# Análisis del impacto del traspaso entre celdas en redes convergentes sobre la calidad de la voz

Alfonso Fernández Durán[(1)], Eugenio Carrera del Pliego[(1)], José Ignacio Alonso[(2)]
[(1)]Alcatel España, c/Ramirez de Prado, 5 Madrid 28045, tel: 91330 4000
[(2)]Depto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, ETSIT UPM, Ciudad Universitaria Madrid 28040, tel: 915495700

**Resumen**

*En los sistemas convergentes inalámbricos, se producen dos tipos básicos de traspaso: traspaso vertical, es decir traspaso entre estaciones de la red móvil y estaciones de la red inalámbrica, y traspaso horizontal, o traspaso entre estaciones de la misma red. El traspaso vertical tiene la ventaja desde el punto de vista de la calidad de la comunicación, de permitir la implementación de un traspaso de tipo "realizar antes de cortar". Por otra parte, el traspaso horizontal entre celdas WLAN puede ser la fuente de degradación en la calidad de las conversaciones de voz, puesto que se basa en "cortar antes de realizar". Esto es debido a que este tipo de redes no fueron concebidas originalmente para soportar movilidad y por tanto traspaso de comunicaciones entre puntos de acceso. El traspaso horizontal inalámbrico producirá por tanto breves interrupciones en las comunicaciones. Estas interrupciones están producidas por el tiempo que necesita el terminal para reasociarse y re-autenticarse en la red. Un diseño adecuado de la red tiene necesariamente que tener este efecto en cuenta. En este artículo se presenta un método para estimar el impacto de los traspasos en la calidad de voz.*

## 1. Instrucciones

Una de las líneas principales de convergencia en las comunicaciones, es la convergencia entre redes fijas y móviles. En la actualidad esta convergencia se está perfilando como una de las características principales de los servicios de telecomunicaciones en el futuro próximo, tanto en el dominio público como en el privado. Esto es posible gracias a la combinación de nuevas generaciones de terminales móviles multifunción celular-inalámbrico, y servidores de aplicaciones integrados en las arquitecturas NGN/IMS, que permiten el traspaso entre redes de distinto ámbito con poco impacto en la calidad percibida de las comunicaciones.

En estas condiciones, en los sistemas convergentes inalámbricos, se producen dos tipos básicos de traspaso: traspaso vertical, es decir traspaso entre estaciones de la red móvil y estaciones de la red inalámbrica, y traspaso horizontal, o traspaso entre estaciones de la misma red. Aunque el traspaso vertical presenta una gran complejidad en la red y los elementos centrales de coordinación entre la red móvil y la fija, tiene la ventaja desde el punto de vista de la calidad de la comunicación, de permitir la implementación de un traspaso de tipo "realizar antes de cortar", es decir que en un intervalo de tiempo puede haber conexión simultánea con la red fija y la red móvil, al disponer de dos terminales en uno, y finalmente realizar el traspaso a la red que se desee sin interrupción en la comunicación. Por otra parte, el traspaso horizontal entre celdas WLAN puede ser la fuente de degradación en la calidad de las conversaciones de voz, puesto que se basa en "cortar antes de realizar". Esto es debido a que este tipo de redes no fueron concebidas originalmente para soportar movilidad y por tanto traspaso de comunicaciones entre puntos de acceso. El traspaso horizontal inalámbrico producirá por tanto breves interrupciones en las comunicaciones. Estas interrupciones están producidas por el tiempo que necesita el terminal para reasociarse y re-autenticarse en la red. Un diseño adecuado de la red tiene necesariamente que tener este efecto en cuenta, y proporcionar los mecanismos necesarios para mitigarlo, reduciendo la duración de las interrupciones al mínimo.

Para evaluar el impacto de las interrupciones producidas por el traspaso horizontal, es necesario relacionarlas con las condiciones de movimiento de los usuarios y con la topología del despliegue, para lo cual se realiza una breve descripción de las topologías mas habituales en entornos de convergencia fijo-móvil.

Los usuarios al desplazarse a través del escenario, experimentarán una frecuencia de traspasos entre puntos de acceso, que dependerá de la velocidad de desplazamiento de los usuarios. Puesto que las dimensiones básicas (tamaño de la celda) son pequeñas, es razonable suponer que se producirá un número relativamente alto de traspasos.

En general la calidad de la voz en las redes inalámbricas ha sido analizada, pero bajo condiciones de pérdida constante y esporádica de paquetes [1], o sólo bajo la perspectiva de la capa física [2]. Estudios recientes [3] incorporan resultados de medidas de calidad de las conversaciones bajo traspaso vertical usando métricas objetivas como PESQ para realizar la calibración de los algoritmos de traspaso.

Es posible determinar el impacto en la calidad de voz de esta secuencia de traspasos, aprovechando el concepto asociado al valor instantáneo del factor de distorsión Ie del modelo E, dentro del intervalo medio entre dos traspasos consecutivos. Cuanto mayor sea la frecuencia de traspasos, y mayor sea el

intervalo de desconexión, mayor será el impacto en la calidad de la conversación, de acuerdo con el modelo E definido en la recomendación ITUR G.107. Para utilizar este modelo es necesario estimar el valor de la probabilidad de pérdida de paquetes asociada al evento del traspaso.

## 2. Arquitectura de referencia

Dentro del amplio abanico de soluciones que pueden incluirse bajo el paraguas de la convergencia son, sin duda, aquellas que permiten la utilización de un mismo terminal y servicios en ambos entornos fijo y móvil las que están siendo objeto de mayor seguimiento y análisis por parte de los proveedores de servicio. El objetivo de este tipo de soluciones es proporcionar movilidad de forma transparente al usuario, sin importar si el usuario se encuentra bajo cobertura celular (GSM o 3G) o bajo cobertura inalámbrica (WiFi), asegurando la continuidad de los servicios de voz y datos en ambos tipos de redes (por ejemplo GSM y WiFi). Estas soluciones ofrecen un alto valor para los usuarios, al suponer un aumento en la comodidad de uso, y proporcionar un único número y un único terminal.

Aunque en la actualidad se encuentran en una fase temprana de adopción, y a la espera de la aparición de una oferta amplia de terminales duales, existen ya algunas iniciativas impulsadas por los principales proveedores de servicio en todo el mundo, algunas de las cuales conllevan despliegues comerciales. Un ejemplo de estas es KT (Korea Telecom) que comercializa el servicio One Phone DU, entre sus abonados residenciales, basado en un concepto de Terminal dual CDMA/Bluetooth [4]. De la misma manera, la oferta BT Fusion, utiliza GSM/bluetooth con arquitectura de acceso UMA [5]. Recientemente, BT ha lanzado su oferta al segmento empresarial, alrededor de una arquitectura SIP/WiFi [6].

En general se han concebido tres arquitecturas para soportar la convergencia celular/inalámbrica.

### 2.1. Arquitectura en el entorno privado de empresa.

Esta arquitectura se basa en el despliegue de extensiones de centralita mediante tecnología WiFi, y por lo general son soluciones propietarias basadas en terminales duales que ejecutan clientes de voz específicos capaces de interactuar con el servidor de comunicaciones de la arquitectura de PBX.

### 2.2. Arquitectura UMA (Unlicensed Mobile Access).

Esta solución está basada fundamentalmente en la red móvil celular, ofreciendo una alternativa de acceso a la red GSM/GPRS. Mediante esta solución se pretende tanto complementar las zonas de cobertura móvil, como liberar parte de la capacidad de la red de acceso móvil hacia la red fija.

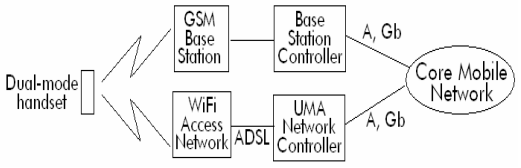


**Figura 1.** Estructuras de red UMA.

### 2.3. Arquitectura SIP/WiFi.

Esta alternativa de convergencia fijo-móvil, es una arquitectura basada en red, alineada con los estándares IMS (IP Multimedia Subsystem).

La siguiente figura muestra, de forma simplificada, la arquitectura de esta solución.

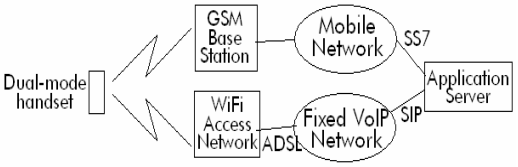


**Figura 2.** Estructuras de red SIP-WiFi.

El elemento clave en esta solución es el Servidor de Aplicaciones IMS donde reside la lógica de servicio que se encarga del control del enrutamiento conforme a un número único, gestión de la localización del terminal dual, e implementación del traspaso vertical entre áreas GSM y WiFi.

## 3. Calidad de voz basada en el modelo E

La estimación de la calidad de voz se basa en el modelo E, este se basa a su vez en la estimación de un factor de determinación de transmisión *R*, que combina todos los parámetros de transmisión pertinentes para la conexión considerada. Este factor de determinación de índice *R* está constituido por:

$$R = R_o - I_S - I_d - I_e + A$$

$R_0$ representa en principio la relación señal/ruido básica que incluye fuentes de ruido como ruido de circuito y ruido ambiente. El factor $I_s$ es una combinación de todas las degradaciones que aparecen de forma más o menos simultánea con la señal vocal. El factor $I_d$ representa las degradaciones producidas por el retardo y el factor de degradación de equipo $I_e$ representa las degradaciones producidas por codecs de velocidad binaria baja. El factor de expectativa *A* permite compensar los factores de degradación cuando existan otras ventajas de acceso para el usuario. El término $R_0$ y los valores $I_s$ e $I_d$ se subdividen en valores de degradación específicos más detallados.

El codec de voz específico utilizado, junto con la probabilidad de pérdida de paquetes, pueden tener una influencia significativa en el factor de

determinación de la transmisión, y por tanto en la calidad percibida de la voz.

La mayor dificultad en este parámetro proviene de la estimación del factor $I_e$ En función de la probabilidad de pérdida de paquetes $P_{pl}$. La aproximación presentada en ITU-T G.107 [11], como relación lineal con el porcentaje de paquetes perdidos, no produce apenas influencia, y es presentado como una regla provisional de estimación.

Afortunadamente, la recomendación ITU-T G.113 [12], presenta valores para diferentes condiciones de los codecs de voz y diversos valores de pérdida de paquetes. Los codecs de voz presentados son los de uso mas habitual en voz sobre IP (VoIP), es decir G.729, G.723.1 y G.711, este último caracterizado en función de la disponibilidad o no de técnicas PLC (Packet Loss Concealment), que introducen mejoras en las prestaciones a costa de carga de proceso adicional. Entre estas técnicas se encuentran ciertas técnicas de interpolación de paquetes erróneos.

Teniendo en cuenta los valores en forma tabular de ITU-T G.113, es posible comprobar que todos ellos son aproximables mediante funciones polinómicas de tercer orden en sus rangos de uso respectivos, con un factor de correlación mejor que 0.99.

$$I_e^{G729} = 0.0051P_{pl}^3 - 0.2197P_{pl}^2 + 4.5869P_{pl} + 10.788, \text{ para } P_{pl}<20\%$$

$$I_e^{G723.1} = 0.0087P_{pl}^3 - 0.3094P_{pl}^2 + 5.2348P_{pl} + 14.598, \text{ para } P_{pl}<20\%$$

$$I_e^{G711-PLC} = 0.0037P_{pl}^3 - 0.1376P_{pl}^2 + 3.4978P_{pl} + 0.6663, \text{ para } P_{pl}<20\%$$

$$I_e^{G711} = 0.6289P_{pl}^3 - 6.8396P_{pl}^2 + 29.418P_{pl} + 0.3774, \text{ para } P_{pl}<5\%$$

El comportamiento de $I_e$ para los codecs típicos utilizados en voz sobre WLAN (VoWLAN) se muestran en la Figura 3. El efecto mas acusado es la utilización de técnicas PLC en G.711, ya que si estas técnicas no se utilizan, el factor de degradación del equipo crece muy rápidamente, incluso para tasas relativamente pequeñas de pérdida de paquetes.

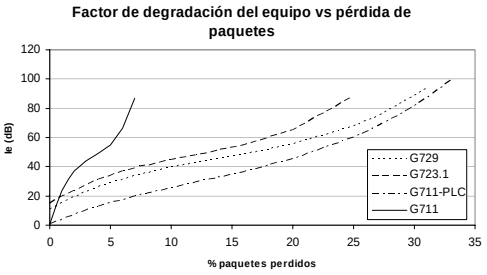


**Figura 3.** Efecto de la pérdida de paquetes en distintos codecs de voz.

A partir de las expresiones anteriores, es posible obtener el factor de determinación de la transmisión R como función de las pérdidas de paquetes para cada uno de los codecs de voz, y para las distintas variantes de capa física de IEEE802.11.

Aunque el factor R representa por si mismo la calidad de la transmisión, la forma mas común de representar la calidad percibida por los usuarios es el MOS (Mean Opinion Score), que procede de prospecciones estadísticas de la calidad percibida por los usuarios, con graduación de 1 a 5 o de mala calidad a calidad excelente.

La recomendación G.107 proporciona una expresión para relacionar el factor R con el MOS, donde este último se denomina $MOS_{CQE}$ (Conversational Quality Estimated), para distinguir los valores estimados de los medidos., utilizando la siguiente expresión:

Para $R < 0$: $\text{MOS} = 1$

Para $0 < R < 100$: $\text{MOS} = 1 + 0{,}035R + R(R-60)(100-R)7\cdot10^{-6}$

Para $R > 100$: $\text{MOS} = 4{,}5$

Los valores obtenidos se pueden utilizar para valorar el comportamiento del sistema en distintas condiciones y tomar decisiones sobre el diseño y despliegue de redes.

Las prestaciones en términos de MOS para cada uno de los codes de voz mas habituales, en combinación con las distintas variantes del estándar de WLAN IEEE802.11, se muestran de la Figura 4 y la Figura 5

En general se produce una degradación del MOS según aumenta el número de usuarios simultáneos, debido principalmente al número de retransmisiones. Como puede apreciarse, después de un comportamiento relativamente plano, se produce una rápida caída de la calidad hasta los valores aceptables más bajos. Una vez que el comportamiento se encuentra en la zona de caída rápida, el efecto es una clara y perceptible degradación de la calidad de la voz, con sólo incorporar un usuario adicional. Este comportamiento es fácilmente reproducible en el laboratorio, simplemente escuchando una locución o un patrón de audio e incrementar el número de llamadas gradualmente.

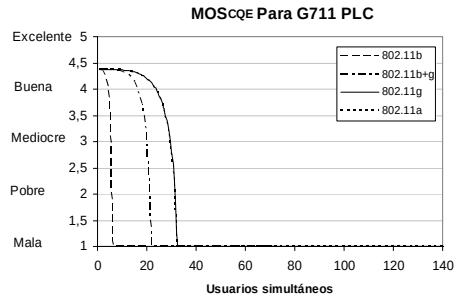


**Figura 4.** Prestaciones en términos de MOS para G.711-PLC en las distintas variantes de IIEE802.11

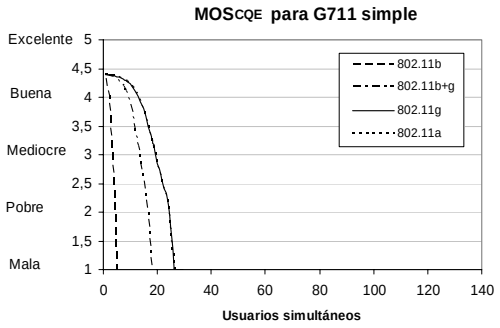


**Figura 5.** Prestaciones en términos de MOS para G.711sin PLC en las distintas variantes de IIEE802.11

## 4. Efectos del traspaso en la calidad de las conversaciones

En los sistemas convergentes inalámbricos, se producen dos tipos básicos de traspaso: traspaso vertical, es decir traspaso entre estaciones de la red móvil y estaciones de la red inalámbrica, y traspaso horizontal, o traspaso entre estaciones de la misma red. Aunque el traspaso vertical presenta una gran complejidad en la red y los elementos centrales de coordinación entre la red móvil y la fija, tiene la ventaja desde el punto de vista de la calidad de la comunicación, de permitir la implementación de un traspaso de tipo "realizar antes de cortar", es decir que en un intervalo de tiempo puede haber conexión simultánea con la red fija y la red móvil, al disponer de dos terminales en uno, y finalmente realizar el traspaso a la red que se desee sin interrupción en la comunicación. Por otra parte, el traspaso horizontal entre celdas WLAN puede ser la fuente de degradación en la calidad de las conversaciones de voz, puesto que se basa en "cortar antes de realizar". Esto es debido a que este tipo de redes no fueron concebidas originalmente para soportar movilidad y por tanto traspaso de comunicaciones entre puntos de acceso. El traspaso horizontal inalámbrico producirá por tanto breves interrupciones en las comunicaciones. Estas interrupciones están producidas por el tiempo que necesita el terminal para reasociarse y el tiempo que necesita para re-autenticarse en la red. Un diseño adecuado de la red tiene necesariamente que tener este efecto en cuenta, y proporcionar los mecanismos necesarios para mitigarlo, reduciendo la duración de las interrupciones al mínimo.

### 4.1. Impacto del traspaso horizontal en la calidad de las conversaciones

Para evaluar el impacto de las interrupciones producidas por el traspaso horizontal, es necesario relacionar las condiciones de movimiento de los usuarios con la topología del despliegue. Supongamos que el escenario del despliegue está compuesto por celdas con un promedio de 15 metros de radio. En estas condiciones, los usuarios al desplazarse a través del escenario, experimentarán una frecuencia de traspasos entre puntos de acceso, que dependerá de la velocidad de desplazamiento de los usuarios. Puesto que las dimensiones básicas (tamaño de la celda) son pequeñas, es razonable suponer que se producirá un número relativamente alto de traspasos. Un extremo podría ser equivalente a 9 traspasos por minuto, que podría alcanzarse a una velocidad entorno a 8Km/h.

Es posible determinar el impacto en la calidad de voz de esta secuencia de traspasos, aprovechando el concepto asociado al valor instantáneo del factor Ie, dentro del intervalo medio entre dos traspasos consecutivos. Cuanto mayor sea la frecuencia de traspasos, y mayor sea el intervalo de desconexión, mayor será el impacto en la calidad de la conversación, de acuerdo con el modelo E definido en la recomendación ITUR G.107. Para utilizar este modelo es necesrio estimar el valor de la probabilidad de pérdida de paquetes asociada al evento del traspaso. Suponiendo que el usuario se desplaza a una velocidad v, la duración de los traspasos es $t_h$, la duración de la trama es $t_f$, el radio de la celda R, y el codec genera c tramas por segundo, la probabilidad de pérdida de paquetes en el intervalo entre traspasos vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_{pl} = \frac{vt_h}{t_f Rc}$$

La Figura 6 muestra el efecto producido por la interrupciones de los traspasos entre celdas para los codecs de voz mas habituales. Como puede preciarse, es conveniente mantener el intervalo de interrupción por debajo de unos 50ms para poder asegurar un nivel mínimo de calidad.

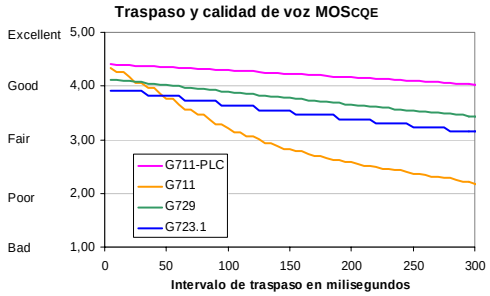


**Figura 6.** Efecto de la duración del traspaso en la calidad de voz.

### 4.2. Impacto del traspaso vertical en la calidad de las conversaciones

En caso de entrar y salir de zonas de traspaso, o que los propios traspasos se produzcan de forma esporádica, hay que tener en cuenta el efecto de anterioridad asociado a las pérdidas de paquetes a ráfagas.

El efecto de anterioridad consiste en la dependencia temporal de la percepción de la calidad, a medida que transcurre el tiempo desde que se produzco un

evento de degradación. Siguiendo este principio, es fácilmente imaginable que la valoración de calidad dada por un locutor ante una perturbación puntual, será distinta si esta acaba de ocurrir, o tuvo lugar hace mucho tiempo.

El efecto de anterioridad en la degradación de la calidad, como se describe en [15] puede verse en el traspaso horizontal entre las redes celular (GSM) y WiFi, ya que al tener codecs de voz condiciones de trabajo distintas, la calidad percibida dependerá del tiempo de antigüedad del traspaso.

Siguiendo la lógica descrita en [15] el efecto del tiempo se manifiesta en los valores de $I_e$. El valor medio de $I_e$ puede determinarse tomando el valor medio de la calidad percibida en la llamada. Para cada intervalo, como se ha descrito para el caso de las interrupciones por traspaso, la calidad instantánea vendrá dada por la medida de los paquetes perdidos en el intervalo de tiempo t y su mapeo en los valores de $I_e$. A lo largo de N muestras, la calidad media percibida vendrá dada por:

$$I_e = \frac{\sum_i I_{per}(i)}{N}$$

El efecto de anterioridad puede modelarse asumiendo que la calidad percibida decrece exponencialmente con una constante de tiempo $t_3$ desde un valor de salida $I_{sl}$ desde una ráfaga de calidad inferior hacia el valor medio $I_e$, para lo cual se puede utilizar el siguiente modelo:

$$I_e(Fin_llamada) = I_e + \left(k\left(I_{sl} - I_e\right)\right)e^{-\frac{y}{t_3}}$$

Al producirse las situaciones de calidad degradada en ráfagas, podemos distinguir dos situaciones:

- Ráfaga de calidad degradada
- Intervalo limpio.

Denominamos a los valores de $I_e$ para estos dos tipos de intervalos $I_{eb}$ e $I_{eg}$ respectivamente.

Si $I_1$ es el nivel de calidad en el momento de cambio de la ráfaga ala situación limpia ($I_{eb}$ a $I_{eg}$) e $I_2$ el nivel de calidad en el instante de transición de $I_{eg}$ a $I_{eb}$, entonces:

$I_1 = I_{eb} - \left(I_{eg} - I_2\right)e^{-\frac{b}{t_1}}$ donde $t_1$ es típicamente 5 segundos

$I_2 = I_{eg} - \left(I_1 - I_{eg}\right)e^{-\frac{g}{t_2}}$ donde $t_2$ es típicamente 15 segundos

Combinando las expresiones anteriores resulta:

$$I_2 = \frac{I_{eg}\left(1 - e^{-\frac{g}{t_2}}\right) - I_{eb}\left(1 - e^{-\frac{b}{t_1}}\right)e^{-\frac{g}{t_2}}}{1 - e^{-\frac{g}{t_2}-\frac{b}{t_1}}}$$

Integrando las expresiones para $I_1$ e $I_2$ para obtener los promedios, resulta:

$$I_e(av) = \frac{bI_{eb} + gI_{eg} - t_1(I_{eb} - I_2)\left(1 - e^{-\frac{b}{t_1}}\right) + t_2\left(I_1 - I_{eg}\right)\left(1 - e^{-\frac{g}{t_2}}\right)}{b+g}$$

Esta expresión puede utilizarse para estimar el factor R del modelo E como:

$$R=94-I_e(av)$$

El efecto de anterioridad puede estimarse como:

$$I_e(Fin_llamada) = I_e(av) + \left(k\left(I_{sl} - I_e(av)\right)\right)e^{-\frac{y}{t_3}}$$

Donde t3 es una consra¡tante de tiempo con valor comprendido entre 30 y 60 segundos, y k toma típicamente el valor 0.7. Por tanto para el modelo E tendremos:

$$R=94-I_e(fin_llamada).$$

Este principio puede utilizarse para estimar el efecto de cambio de calidad en el traspaso vertical de la red WiFi a GSM y vice-versa.

Puesto que el valor de referencia de Ie en la red GSM es conocido, si sumimos una duración del intervalo de traspaso horizontal de 100ms, la variación de la calidad percibida en función del tiempo para el traspaso de la redGSM a WiFi será como se muestra en la Figura 7. Sólo se consideran los codecs G711-PLC y G729, ya que con el resto de los codesc no se produce mejora de la calidad.

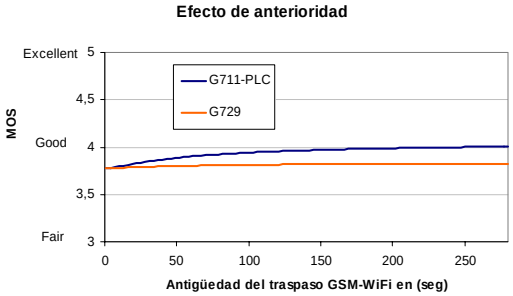


**Figura 7.** Efecto de anterioridad en el traspaso entre de la red GSM a WiFi

Al pasar de la red WiFi a la red GSM, se obtiene una mejora de la calidad cuando se utilicen los codecs G711 o G723.1 en condiciones de traspaso de 100ms, tal y como se muestra en la Figura 8.

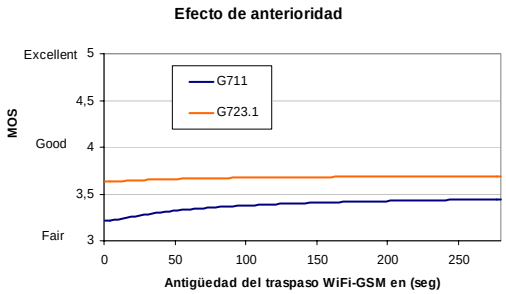


**Figura 8.** Efecto de anterioridad en el traspaso entre de la red GSM a WiFi

De las gráficas anteriores, se desprende que las mejora de calidad en la VoIP en WiFi se obtiene sólo con los codecs G711-PLC o G729, ano ser que se acorte el intervalo de interrupción por traspaso horizontal.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con las arquitecturas de referencia descritas para las redes de convergencia inalámbrica, se ha descrito el efecto del traspaso en la calidad de las conversaciones. Se ha modelado la calidad de la voz sobre redes inalámbricas, tanto en condiciones de traspaso vertical como horizontal, de tal forma que pueden tenerse en cuenta en la planificación y dimensionado de las redes convergentes celulares-inalámbricas. Se ha mostrado como el intervalo traspaso horizontal puede tener un impacto significativo en la calidad percibida de la voz, debido a la pérdida de paquetes. El traspaso vertical introduce una discontinuidad en la calidad percibida, que se traduce en una inercia por los usuarios para percibir una mejora en la calidad, debido al efecto de anterioridad.

## Agradecimientos

Al Ministerio de Educación y Ciencia dentro del marco del proyecto: TEC2005-07010-C02-01/TCM.

## Referencias

[1] Hole, P., Tobagi, F., “Capacity of an IEEE 802.11b wireless LAN supporting VoIP”, Proceedings of ICC 2004.

[2] Olufunmilola, A., Tobagi, T., “Effect of fading on the performance of VoIP in IEEE 802.11 WLANs”, Proceedings of ICC 2004

[3] Björn Grönvall, Ian Marshm, “Performance Evaluation of Voice Handovers in Real 802.11 Networks”, The Second International Workshop On Wireless Network Measurement (WiNMee 2006) April 3, 2006.

[4] KT website, http://147.6.114.70/kthome/eng/u_kt/u_home/du.jsp

[5] BT website, http://www.btfusionorder.bt.com/

[6] BT website, http://www.btplc.com/News/, press release May 11, 2006

[7] 3GPP, “Generic Access to the A/Gb Interface”, Stage 2, Release 6, Technical Specification 43.318, May 2006.

[8] FMCA, “Convergence Services over Wi-Fi GAN (UMA)”, FMCA Product Requirement Definitions, Release 2.0, may 8, 2006.

[9] 3GPP, “Voice Call Continuity between CS and IMS Study”, Release 7, Technical Specification 23.806, December 2005.

[10] FMCA “Convergence Services using SIP over Wi-Fi”, FMCA Product Requirement Definitions, Release 2.0, may 8, 2006.

[11] ITU, “The E-Model, a computational model for use in transmission planning,” ITU, Geneva, Switzerland, ITU-T Rec. G.107, 2003.

[12] ITU, “Tranmision impairments due to speech processing,” ITU, Geneva, Switzerland, ITU-T Rec. G.113, 2001.

[13] John Fitzpatrick, Sean Murphy, John Murphy, “An Approach to Transport Layer Handover of VoIP over WLAN”, IEEE consumer Communications and Networking Conference CCNC, January 2006.

[14] Ahmed Hasswa, Nidal Nasser, Hossan Hassanein, “Generic Vertical handoff Decission Function for Heteregeneous Wireless Networks”, IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Natworks (WOCN) Dubai, March 2005, p.239-243.

[15] Clark, A.D.,”Modeling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality”, IP telephony workshop 2001.