

# Últimos Avances en Emulación de Cámaras de Reverberación de Modos Agitados para la evaluación MIMO OTA de Dispositivos de Comunicaciones Móviles

MIGUEL A. GARCÍA-FERNÁNDEZ<sup>1</sup>,  
ANTONIO M. MARTÍNEZ-GONZÁLEZ<sup>1</sup> Y DAVID SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ<sup>1</sup>

1. Grupo de Ingeniería de Microondas, Radiocomunicaciones y Electromagnetismo (GIMRE).

Universidad Politécnica de Cartagena, Antiguo Cuartel Antigonos, E-30202 Cartagena, Spain.

`garciafernandez.ma@upct.es;toni.martinez@upct.es;`  
`david.sanchez@upct.es`

## Resumen

Recientemente se ha hecho una llamada final a la presentación de propuestas respecto al documento TR 25.9xx para pruebas MIMO OTA [1]. Documentos previos incluyen las metodologías para varias cámaras anecoicas candidatas [2, 3, 4] y una cámara de reverberación de modos agitados candidata [5, 6]. El objetivo de esta contribución es presentar los avances recientes en el uso de cámaras de reverberación de modos agitados para pruebas MIMO Over-The-Air inalámbricas.

**Proyecto/Grupo de investigación:** Título: Integración de antenas multibanda con técnicas MIMO en terminales móviles de cuarta generación. Entidad financiadora: Ministerio de Educación y Ciencia. Código: TEC2008-05811.

**Líneas de investigación:** *Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) systems; Mode-Stirred Chambers (MSC).*

## 1 Introducción

Una cámara de reverberación (RC) es una cavidad cerrada altamente conductiva equipada típicamente con palas metálicas y placas giratorias. El movimiento independiente de palas y placas giratorias cambia dinámicamente las condiciones de contorno del campo electro magnético. De este modo se agita el entorno electromagnético multimodo natural en el interior de la única cavidad [7]. Con este modo de agitación continuo, el resultado es que la cámara provee

la misma distribución estadística de campos independiente de la ubicación, excepto por aquellos puntos de observación en proximidad a las paredes y objetos cercanos. En una RC agitada perfectamente, las partes real e imaginaria de las componentes rectangulares del campo eléctrico y magnético en toda la cámara son independientes y normalmente distribuidas, con varianzas idénticas. Por tanto, el campo eléctrico y magnético en el interior de una RC agitada perfectamente sigue una función de densidad de probabilidad de Rayleigh de un único grupo en amplitud y distribución uniforme de fase, lo que se asemeja al desvanecimiento multicamino en escenarios urbanos de sistemas de comunicaciones inalámbricas. Sin embargo, los escenarios de propagación experimentados por los usuarios en entornos externos raramente siguen el comportamiento de un escenario de desvanecimiento de Rayleigh uniforme con dispersión isotrópica. Por consiguiente, los últimos años han presenciado un número relativamente grande de artículos describiendo conceptos novedosos usando cámaras de reverberación de modos agitados (MSCs) [8] más generales, con modificaciones respecto a RCs de una única cavidad simples, para vencer sus limitaciones innatas. En MSCs, un término que fue acuñado en 1995 [8], los campos no tienen necesariamente que estar constreñidos a una única cavidad o incluso ser proporcionados en un modo reverberante al investigador. Por consiguiente, MSCs pueden contener más de una cavidad metálica que podrían estar acopladas mediante una variedad de maneras, incluyendo guías de onda, ranuras o placas metálicas, entre otras. Asimismo, la forma de estas cavidades no tiene que estar restringidas a las canónicas, lo que permite avances extraordinarios al ingeniero sobre RCs de una única cavidad convencionales.

Esta contribución destaca los avances recientes en pruebas MIMO OTA usando MSCs complejas en vez de RCs simples.

## **2 Cámaras de reverberación con emulación de desvanecimiento de Rayleigh mejorado**

Una de las primeras mejoras estaba relacionada a la habilidad de agitar modos más eficientemente. Hay muchas contribuciones respecto a la forma y tamaño de los agitadores para asegurar un modo de agitación casi perfecto. Palas efectivas deberían ser grandes y asimétricas, y algunas formas específicas han sido analizadas [9]. Más aún, descubrimientos recientes han mostrado que palas complejas y movimientos del dispositivo bajo prueba (DUT) proveen también algunas mejoras adicionales. Se han propuesto movimientos de los agitadores tanto no lineales como complejos para mejorar la uniformidad del campo más aya de movimientos circulares o lineales simples en RCs convencionales [10].

## **3 Cámaras de reverberación con emulación de desvanecimiento de Rice**

Una mejora importante está relacionada con la habilidad de emular entornos de desvanecimiento de Rice. El caso de desvanecimiento de Rayleigh ( $K=0$ )

emulado típicamente por una RC es un caso especial de un caso de desvanecimiento de Rice más general ( $K > 0$ ). De hecho, cuando la RC no se agita perfectamente, la componente de campo que permanece sin agitar define un campo de Rice en coexistencia con el campo de Rayleigh generado por las componentes agitadas. La superposición estocástica de ondas planas y las teorías de separación se puede emplear para obtener contribuciones tanto agitadas (equivalentes a las componentes fuera de la línea de visión o con desvanecimiento de Rayleigh) como sin agitar (equivalentes a las componentes con desvanecimiento de Rice). Sin embargo, en la mayoría de los casos la separación de estas dos componentes se ayuda del empleo de una fuente de excitación que es apuntada hacia el DUT, y entonces se asume que todas las reflexiones interactúan con las palas [11]. Con una sola antena transmisora, otras maneras de controlar el factor K son posibles en la actualidad en una MSC. Esto incluye que la antena transmisora, con un diagrama de radiación bien definido (cambio en acimut), se puede rotar con respecto al DUT, alterando la distancia entre la antena transmisora y el DUT (cambio en la distancia), cambiando la orientación de la polarización de la antena transmisora (cambio en la polarización) o variando el factor de calidad Q de la cavidad cargando la cámara (cambio en el factor Q) [11]. Algunos resultados de factor K variable en [11] se ilustran en la Figura 2. Si se usan dos antenas transmisoras, se puede obtener un amplio rango de factores K apuntando una de ellas hacia el DUT y la otra hacia los agitadores [11]. Además, se ha descubierto que el factor K obtenido en una cámara de reverberación de modos agitados es dependiente del número y posición de los absorbentes colocados en el interior de la cavidad principal [12].

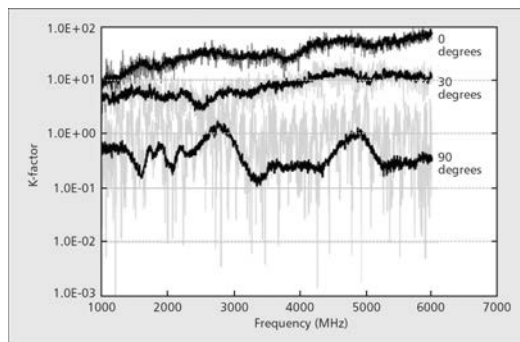


Figura 1: Factor K variable en una MSC cuando se altera la orientación en acimut de la antena transmisora [11].

## 4 Cámaras de reverberación con emulación de desvanecimiento Hiper-Rayleigh

Mientras los desvanecimientos de Rayleigh y de Rice son usados comúnmente en la emulación de propagación inalámbrica, los desvanecimientos de pequeña escala encontrados en varios nuevos escenarios como los sistemas vehículo a vehículo presentan desvanecimientos frecuencial y espacialmente dependientes cuya severidad excede de la predicha por el modelo de desvanecimiento de Rayleigh. Estos escenarios son acuñados como Hiper-Rayleigh, y se han emulado recientemente de manera precisa usando una cámara de reverberación modificada [13]. En [13], se añadió una agrupación de antenas multielemento conectada eléctricamente a una RC, y el tamaño de la cavidad cerrada se hizo considerablemente más pequeña que una RC convencional para el mismo rango de frecuencia probado. La Figura 2 ilustra las trazas de señales experimentando escenarios de desvanecimiento de Rayleigh, de Rice e Hiper-Rayleigh en la MSC de [13].

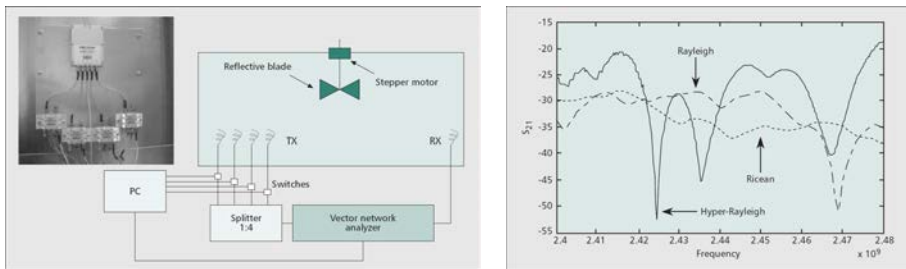


Figura 2: Diagrama de bloques e ilustración de la RC modificada (izquierda) y trazas de las señales que experimentan desvanecimiento de Rayleigh, de Rice e Hiper-Rayleigh (derecha) en [13].

## 5 Cámaras de reverberación no canónicas y emulación de grupos múltiples

Controlando cuidadosamente la fuente de excitación de una RC, se puede controlar la homogeneidad y la isotropicidad características del campo en una posición específica. La clave para obtener un rendimiento mejorado es la habilidad para cambiar y ponderar cada modo dentro de la cámara, y se propuso un array de antenas alimentadas para aliviar los requerimientos mecánicos de las RCs [14]. Esto se deriva directamente si se tiene en cuenta que la intensidad del campo en cualquier punto de observación en la cámara puede ser obtenido por integración en la fuente. Por tanto, cambiar las fuentes cambia las intensidades de campo resultantes. Para excitar modos electromagnéticos transversales adicionales, se han propuesto otras configuraciones de cámaras no

canónicas. Excitando la cámara con líneas de transmisión [15], por ejemplo, se pueden excitar nuevos modos TEM, transversales a aquellas, incrementando aún más el rango de frecuencias de operación. En particular, para el mismo tamaño de cavidad, se reduce la menor frecuencia utilizable. Otras configuraciones no canónicas son también posibles, incluyendo aquellas contribuciones que emplean una geometría variable, una pared móvil [16] o paredes no paralelas [17]. En tales MSCs no canónicas no existen modos propios y se crea un campo difuso, estadísticamente uniforme, sin el uso de un agitador de modos mecánico. Como resultado, los tiempos de prueba se pueden reducir drásticamente.

Con la manipulación disponible de diversas características multicamino con desvanecimiento espacial utilizando MSCs, otro paso importante fue la habilidad de controlar las características del desvanecimiento dependiente del tiempo mediante la posibilidad de emular dispersiones del retardo variables. Efectos como dispersión Doppler y desvanecimiento, que son una consecuencia de un entorno en movimiento dinámico, se pueden emular también en una MSC moviendo los agitadores con diferentes velocidades o usándolos en modos por pasos o no lineales. Con el uso de absorbentes en [18], se pueden conseguir perfiles de dispersión del retardo diferentes. La media conjunta de la magnitud cuadrática de la respuesta al impulso de la MSC se denomina perfil retardo potencia (PDP) y es la forma de incluir efectos debidos a multicamino variable en el tiempo. La forma del PDP puede tener efectos adversos en el rendimiento de sistemas de comunicaciones digitales. La dispersión del retardo del PDP se usa con frecuencia para caracterizar un entorno de comunicaciones inalámbrico ya que está directamente relacionado con el rendimiento de un canal en términos de tasa de error de bit (BER). Los modelos de canal estándar están caracterizados típicamente por dispersiones del retardo. Que se haya descubierto que la dispersión del retardo en una MSC sea proporcional al factor de calidad  $Q$  de la cámara a una frecuencia dada es otro signo más de que la emulación precisa del desvanecimiento de canales estándar es posible con MSCs. Esto incluye emular el comportamiento del BER para diferentes velocidades de los agitadores [19, 20] y cargas de la cámara [18, 20], como se ilustra en la Figura 3. En [21] se inyectó la señal de excitación del transmisor a un emulador de desvanecimiento antes de introducirla en la cámara. De esta forma se creó una respuesta de canal con múltiples distribuciones de grupos discretos, encontrados típicamente tanto en configuraciones urbanas como suburbanas donde las estructuras reflectantes pueden estar localizadas lejos del receptor. La emulación de grupos múltiples llegó al mundo de la MSC. Una ventaja clara de este método respecto del empleado en la siguiente sección es el uso de una sola cámara. La desventaja es claramente la necesidad de un emulador de desvanecimiento.

## 6 Cámaras de reverberación con múltiples cavidades

Otro importante avance es el uso de múltiples cavidades para proporcionar algún control de un entorno multicamino complejo consistente en diversos grupos con diferentes características de desvanecimiento. Una posibilidad es usar una placa

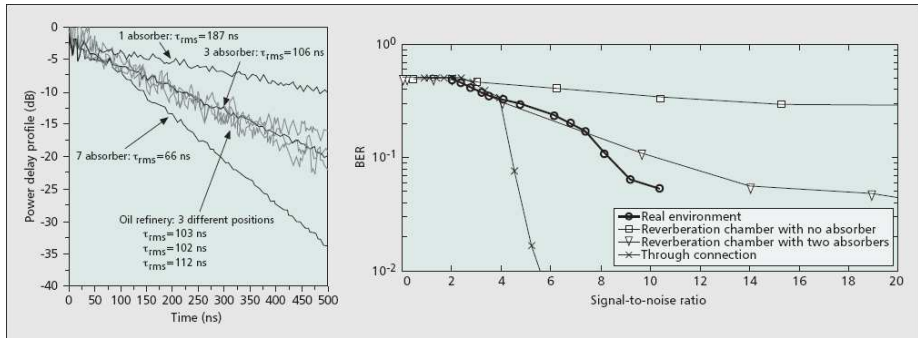


Figura 3: Diferentes PDPs (izquierda) y BER (derecha) medidos usando una MSC [18].

metálica con iris de diferentes tamaños separando dos cavidades. Esto puede dar algún control sobre qué modos se acoplan a la cavidad principal [22]. Otra posibilidad es conectar dos cavidades con guías de onda o cables [23], como se ilustra en la Figura 4.

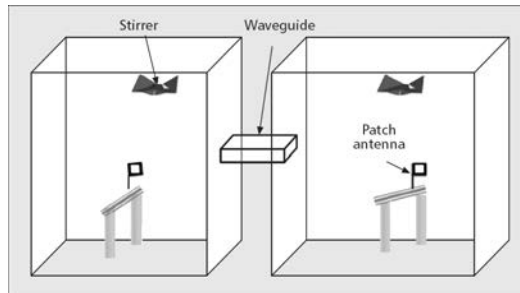


Figura 4: Una MSC con dos cavidades acopladas [23].

Con esta modificación se puede alterar el rango del canal, y se pueden también emular características de desvanecimiento MIMO complejas como ojos de cerradura (keyholes). Esto enriquece las posibilidades de emulación de la MSC, que ahora incluye la habilidad de emular matrices  $H$  degeneradas como ocurre en túneles, por ejemplo. Con múltiples cavidades, no sólo se pueden modificar las características de propagación del transmisor y receptor independientemente, sino también que las MSCs pueden reducir la dispersión angular típicamente elevada de las RCs. Se han obtenido también dispersiones del retardo variables con cavidades acopladas, lo que ha demostrado su habilidad para emular entornos de interior, entornos en vehículo de banda ancha [24] o ventanas metálicas, copas de los árboles, paredes y otros artefactos en edificios [25]. Éstas mejoras han pavimentado el camino a nuevos sistemas de prueba con

MSC capaces de emular canales con desvanecimiento estandarizado.

## 7 Conclusiones

En este documento se destacan los avances recientes más preeminentes en pruebas MIMO OTA usando cámaras de reverberación de modos agitados (MSC). Estos avances resuelven las limitaciones inherentes de las cámaras de reverberación (RC) de una única cavidad para la evaluación del rendimiento de comunicaciones inalámbricas. Está claro ahora que las MSCs han mejorado considerablemente respecto a los sistemas convencionales de una única cavidad, lo que unido a la emulación de desvanecimiento arbitrario multi-grupo y a medidas de parámetros de radiación usando MSCs, ha dado comienzo a una nueva era para la investigación, desarrollo y pruebas MIMO OTA.

## 8 Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Ministerio de Educación, bajo el proyecto TEC2008-05811, y la Fundación Séneca (Agencia Regional de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia), bajo el proyecto 11783/PI/09.

## Referencias

- [1] Call for Text Proposals. TR 25.9xx. 3GPP\_TSG\_RAN\_WG4\_MIMOOTA. February 10th, 2010.
- [2] R4-092438, Elektrobit, “Text Proposal for MIMO OTA report (TR 25.xxx)”.
- [3] R4-092515, Spirent, “TP: Methodology for MIMO OTA TR”.
- [4] R4-100381, Panasonic, Tokyo Institute of Technology, “Text proposal to MIMO OTA TR for RF-controlled spatial fading emulator”.
- [5] R4-091979, Vodafone Group, “MIMO OTA testing based on Reverberation Chamber Technique”.
- [6] R4-092319, Orange, “MIMO OTA testing using reverberation chambers”.
- [7] EMC Part 4-21: Testing and Measurement Techniques Reverberation Chamber. IEC Standard 61000-4-21, 2003.
- [8] T.A. Loughry and S.H. Gurbaxani, “The effects of intrinsic test fixture isolation on material shielding effectiveness measurements using nested mode-stirred chambers”, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 37, No. 3, pp. 449-452, 1995.

- [9] J. Clegg et al., "Optimization of stirrer designs in a reverberation chamber", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 47, pp. 824-832, Nov. 2005.
- [10] P. Plaza-Gonzalez et al., "New approach for the prediction of the electric field distribution in multimode microwave-heating applicators with mode stirrers", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 40, No.3, pp. 1672-1678, May 2004.
- [11] C.L. Holloway et al., "On the use of reverberation chambers to simulate a Rician radio environment for the testing of wireless devices", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 54, No. 11, pp. 3167-3177, 2006.
- [12] A. Sorrentino et al., "The reverberating chamber as a line-of-sight wireless channel emulator", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 56, No. 6, pp. 1825-1830, June 2008.
- [13] J. Frolik et al., "A compact reverberation chamber for hyper-Rayleigh channel emulation", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 57, No. 12, December 2009.
- [14] J.S. Hong, "Multimode chamber excited by an array of antennas", *Electronics Letters*, Vol. 22, No. 19, pp. 1679-1680, 1993.
- [15] D. Weinzierl et al., "Numerical evaluation of noncanonical reverberation chamber configurations", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 44, No. 6, pp. 1458-1461, June 2008.
- [16] Y. Huang and D.L. Edwards, "An investigation of electromagnetic fields inside a moving wall mode-stirred chamber", *Proceedings of the Eighth IET Int. Conf. on Electromagnetic Compatibility*, pp. 115-119, 1992.
- [17] F.B.J. Leferink, "High field strength in a large volume: The intrinsic reverberation chamber", *Proceedings of the IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility*, pp. 24-27, 1998.
- [18] E. Genender et al., "Simulating the multipath channel with a reverberation chamber: Application to Bit Error Rate measurements", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 52, No. 4, pp. 766-777, 2010.
- [19] A. Sorrentino et al., "Characterization of NLOS wireless propagation channels with a proper coherence time value in a continuous mode stirred reverberating chamber", *Proceedings of the 2nd European Wireless Technology Conference*, pp. 168-171, 2009.
- [20] A. Sorrentino et al., "On the coherence time control of a continuous mode stirred reverberating chamber", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 57, No. 10, pp. 3372-3374, 2009.



- [21] H. Fielitz et al., “Reverberation-chamber test environment for outdoor urban wireless propagation studies”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 9, pp. 52-56, 2010.
- [22] J.F. Valenzuela-Valdés et al., “Diversity Gain and MIMO Capacity for Non-Isotropic Environments using a Reverberation Chamber”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 8, pp. 112-115, 2009.
- [23] M. Lienard and P. Degauque, “Simulation of dual array multipath channels using mode-stirred reverberation chambers”, *Electronics Letters*, Vol. 40, No. 10, pp. 578-580, 2004.
- [24] O. Delangre et al., “Modeling in-vehicle wideband wireless channels using reverberation chamber theory”, *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2149-2153, 2007.
- [25] Z. Yun and M.F. Iskander, “MIMO capacity for realistic wireless communications environments”, *Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1231-1234, 2004.