

Antenas Resonadoras Dieléctricas Cilíndricas para Sistemas MIMO: Fundamentos y Evaluación.

Michel Allegue⁽¹⁾, Francisco Marante⁽¹⁾, Reinel Marante⁽²⁾, José A. García⁽²⁾, Ángel Mediavilla⁽²⁾.

michel@electronica.cujae.edu.cu, marante@electronica.cujae.edu.cu, media@dicom.unican.es.

⁽¹⁾ Dpto. Telecomunicaciones. Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”, ISPJAE. Calle 114 e/ 119 y 127, Ciudad Habana, Cuba.

⁽²⁾ Dpto. Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander, España.

Abstract- The analysis and preliminary evaluation of different configurations provided by slot-coupled cylindrical dielectric resonator antenna arrays at one side of ground plane for MIMO systems is the main purpose of this paper. Appropriate envelope correlation values are obtained, and therefore spatial diversity, especially when cross polarization is used.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos actuales imponen desafíos bien definidos: el aumento del ancho de banda disponible con el empleo de sistemas de mayor eficiencia espectral, el incremento de la capacidad y la miniaturización de los sistemas radiantes para que su implementación sea posible en dispositivos móviles personales de pequeño tamaño.

La técnica de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (MIMO) ofrece una adecuada aproximación a los requerimientos planteados.

Un aspecto crucial de los sistemas MIMO, es que convierten la propagación multitrayecto, hasta ahora considerado uno de los principales problemas de las comunicaciones inalámbricas, en un beneficio para el propio sistema. O sea, de lo que anteriormente se protegían las transmisiones inalámbricas, ahora resulta, el multitrayecto, un aliado inseparable de MIMO.

Como en todos los sistemas de comunicaciones que pretendan utilizar ondas radioeléctricas para la transmisión y recepción de información, las antenas que se empleen juegan un papel primordial en el desempeño final de la aplicación. En este trabajo se pretende analizar el comportamiento de una de las antenas más pequeñas que pudiera conformar un sistema de radiación, optimizado para ser utilizado en MIMO, cumpliendo de esta forma con uno de los requerimientos de las aplicaciones inalámbricas actuales, tal es el caso de las Antenas Resonadoras Dieléctricas (DRA).

Se ha demostrado que con el aumento del número de antenas, la capacidad expresada como una función de distribución acumulativa complementaria (cdfm) se incrementa notablemente, [1],[2]. De manera tal que el reto actual será encontrar configuraciones de arreglos de antenas que incluyan el mayor número posible de elementos, ocupando menor área para poder ser incluidos en dispositivos PDA y en Laptops.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se combinarán las potencialidades de dos herramientas informáticas: “CST Microwave Studio” y MATLAB.

El diseño para entornos multitrayectos es considerado en este artículo, en especial para las frecuencias comprendidas entre 5.745GHz y 5.805GHz utilizadas por el estándar IEEE 802.11a, ya que los equipos de interconexión más veloces que existen

actualmente, utilizan la técnica MIMO aunque no estén comprendidos en el estándar.

II. DISEÑO, SIMULACIÓN Y AJUSTE DE UN ELEMENTO

El primer paso de la investigación fue diseñar una DRA que pudiera ser introducida en pequeños dispositivos, para ello la geometría más conveniente es la cilíndrica ya que la altura de la misma puede ser ajustada o prefijada por el diseñador, independientemente del sustrato que se emplee.

El modo más conveniente para trabajar este tipo de antenas y que se logren diagramas de radiación apropiados para entornos multitrayecto y servicios como WLAN, es el modo híbrido HEM₁₁. Una aproximación, evidentemente empírica, a la frecuencia de resonancia de este modo puede obtenerse de la siguiente forma: [3]

$$k_o a = \frac{(1.6 + 0.513x + 1.392x^2 - 0.575x^3 + 0.088x^4)}{\epsilon_r^{0.42}} \quad (1)$$

donde: k_o : constante de propagación de espacio libre.

a : radio del cilindro que conforma la DRA.

x : relación $a/2h$, siendo h la altura de la DRA.

ϵ_r : permitividad dieléctrica relativa del material.

Programando las funciones necesarias en MATLAB para la síntesis y análisis de este tipo de antenas pudo obtenerse que para una frecuencia de resonancia de 5.775GHz será necesario un dieléctrico de permitividad relativa $\epsilon_r = 9.9$, radio del cilindro $a = 8.3$ mm y altura $h_1 = 5.2$ mm, su geometría se muestra en la Fig. 1.

Para lograr la excitación del modo necesario es común utilizar el acoplamiento por apertura practicando una ranura en el plano tierra y alimentando el cilindro conformado por dieléctrico con una línea de microcinta que comparte el mismo plano de tierra que la antena. Este tipo de acoplamiento posibilita una integración directa con los circuitos de radiofrecuencia próximos al sistema radiante, además de mantener un alto nivel de integración. La longitud de la ranura es $L = 13.5$ mm, su ancho $W = 1$ mm.

Para el ajuste final de impedancia de la DRA con una línea de microcinta diseñada para 50Ω fue necesario un stub de longitud $L_s = 11.6$ mm en el plano opuesto de la antena como una continuación de la línea de alimentación. Se agregó también una base dieléctrica entre el plano tierra y la DRA de altura $h_2 = 0.6$ mm con el objetivo de ajustar la parte real de la impedancia como se muestra en [3], además de obtenerse un ancho de banda mayor y de concentrar el diagrama de radiación perpendicularmente al plano tierra.

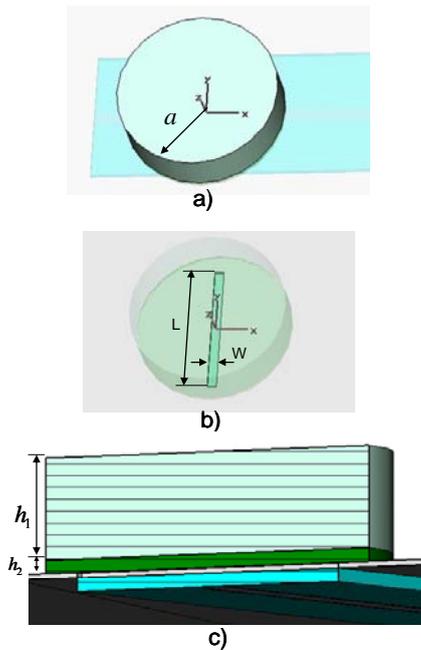


Fig. 1. Geometría de la DRA cilíndrica, a) Vista con plano de tierra transparente, b) Vista con dieléctrico transparente, c) Plano de corte en y.

La línea de microcinta que alimenta la DRA cilíndrica está calculada para 50Ω de impedancia característica. De la Fig.2 se tiene que la frecuencia de resonancia es 5.832GHz y que el ancho de banda para -10dB es 400MHz.

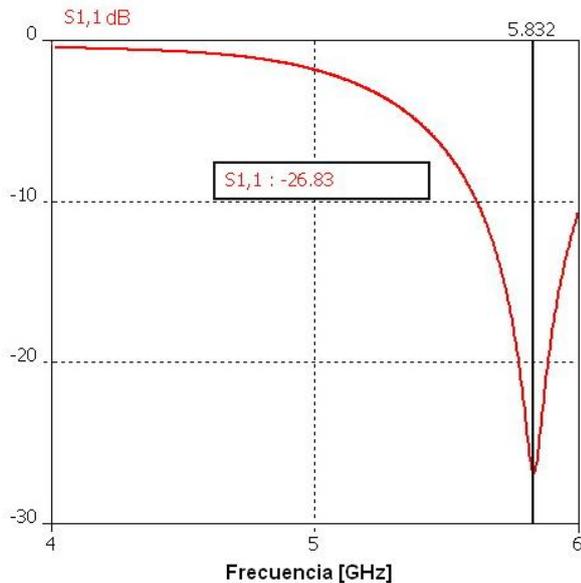


Fig. 2. Parámetro S_{11} en dB de la DRA cilíndrica alimentada por ranura de apertura.

El diagrama de radiación es semejante a un dipolo de media longitud de onda en paralelo al plano tierra, compruébese lo anterior en la Fig. 3 en tres dimensiones.

Como resultados adicionales de la simulación se obtuvo que la directividad máxima de la antena diseñada es 5.013 dBi con eficiencia de radiación de 0.99. Además de comprobarse la forma del diagrama de radiación previsto, conveniente para aplicaciones en interiores que favorezcan el multitrayecto.

III. CONFIGURACIONES ANALIZADAS

Obtenida la DRA cilíndrica se procedió al análisis de las posibles configuraciones que pudieran utilizarse en un sistema de radiación que logre dimensiones pequeñas y que permita a su vez

la inclusión del mayor número de elementos individuales, de modo tal que pueda ser incrementada la capacidad del sistema MIMO. En la Fig.4 se muestran una de estas configuraciones que tienen lugar en una cara del plano tierra.

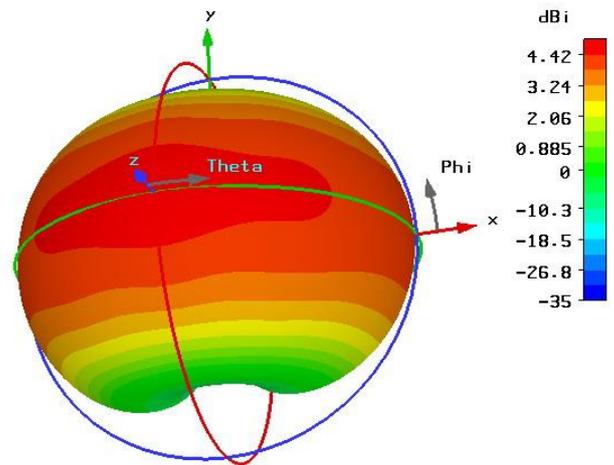


Fig. 3. Característica direccional de la DRA cilíndrica alimentada por ranura de apertura.

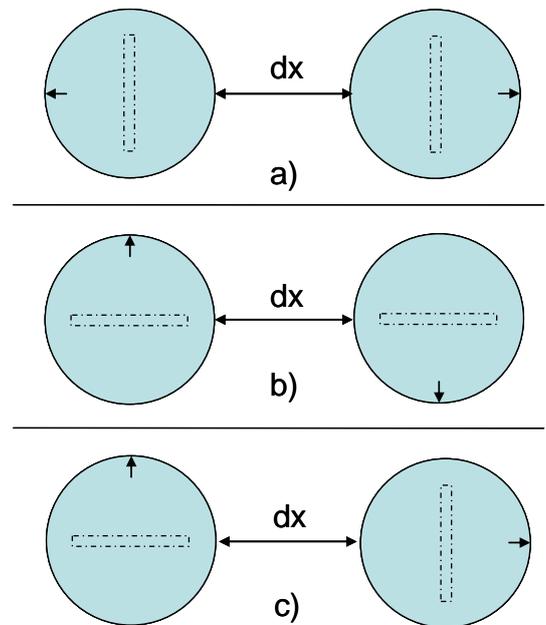


Fig. 4. Variación de la distancia entre bordes en un eje (dx), a) Configuración 1, b) Configuración 2, c) Configuración 5. La flecha sobre las antenas indica la dirección y sentido de la fuente.

Con la ayuda de los barridos paramétricos que pueden obtenerse mediante simulaciones en *CST Microwave Studio*, se procedió a variar la distancia entre bordes para las configuraciones planteadas en la Fig.4. Nótese que incluyen todas las posibilidades existentes de variación a lo largo de un eje.

Para la configuración 1 se realizó la simulación con 16 valores diferentes de la variable dx , aunque no todos son mostrados por razones de espacio. Los valores oscilan entre 1.026 longitudes de onda en espacio libre (λ) correspondiente a la frecuencia central de la banda seleccionada y 0.218 longitudes de onda.

El parámetro a observar ha sido S_{12} ya que nos informa sobre el grado de acoplamiento que puede existir entre los dos puertos que alimentan a cada una de las antenas. El resultado principal a resaltar es que a medida que se acercan los elementos radiantes el acoplamiento entre ellos es mayor, tal y como se esperaba. No se ha graficado el parámetro S_{21} debido a la simetría de la estructura,

por lo que se obtuvieron los mismos valores que para el parámetro anterior.

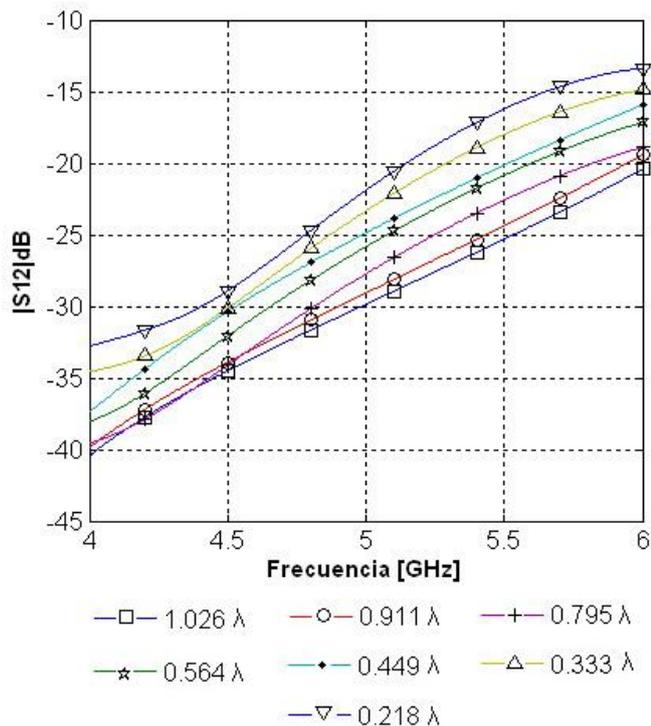


Fig. 5. $|S_{12}|$ expresado en decibelios para la configuración 1 en la banda de 4 GHz a 6 GHz variando la distancia entre bordes.

Si se selecciona la frecuencia central de trabajo 5.775 GHz, puede obtenerse la Fig.6, comprobándose el crecimiento del nivel de desacoplamiento entre ambas estructuras con el incremento de la separación entre ellas. Debe señalarse que no fue utilizada función alguna de MATLAB para suavizar posible picos de la característica $|S_{12}|$ dB debido al paso de muestreo utilizado, en este caso fueron empleados los 16 puntos de la variable dx.

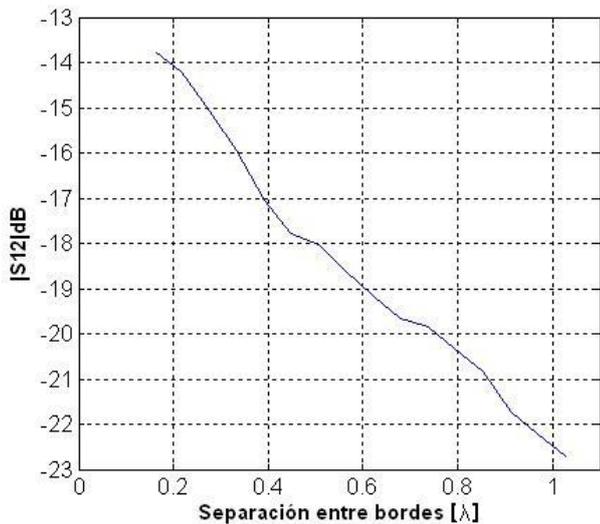


Fig. 6. Comportamiento de $|S_{12}|$ expresado en decibelios para la configuración 1 a la frecuencia central de la banda seleccionada.

Si se procediera de manera similar con la configuración 2 y configuración 5, al unir los resultados se obtiene la Fig.7. La configuración 2 ofrece un mejor desempeño que la primera para ser empleada en aplicaciones MIMO. Obsérvese que para 0.5λ existe un valor apropiado de S_{12} , no se ha graficado el parámetro S_{21} ya que al igual de la estructura anterior, ambas son simétricas. Se destaca que al utilizarse la polarización cruzada, como es el caso

de la configuración 5, S_{12} y S_{21} caen considerablemente, algo muy ventajoso para este tipo de aplicaciones, obteniéndose que las estructuras pueden ser acercadas tanto como prácticamente, desee el diseñador.

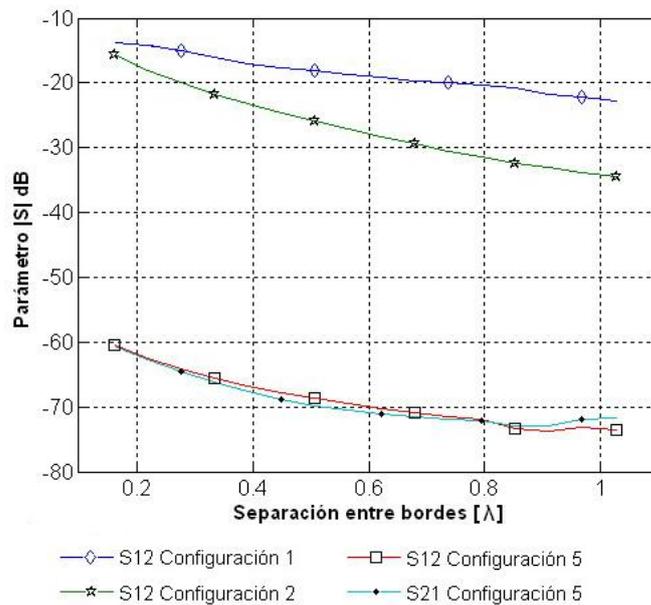


Fig. 7. Comportamiento de los parámetros S para las configuraciones analizadas.

También se realizó el análisis de las configuraciones mostradas en la Fig. 8, las cuales tienen variación en dos ejes ortogonales del plano. La distancia entre bordes fue recalculada ya que no coincide con las configuraciones anteriores.

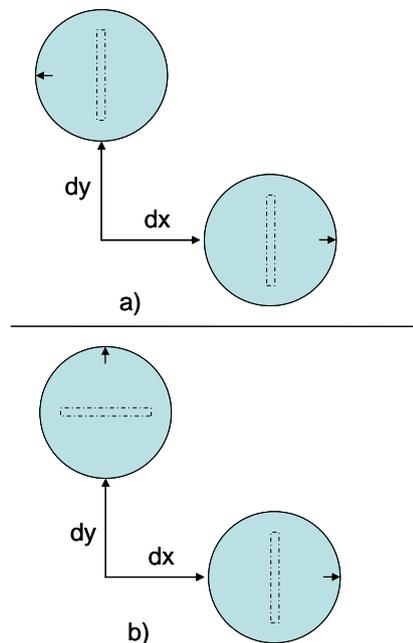


Fig. 8. Variación de la distancia entre bordes en dos ejes, a) Configuración 3, b) Configuración 4. La flecha sobre las antenas indica la dirección y sentido de la fuente.

Se procedió de manera similar que para los casos de estudio de variaciones de distancia a lo largo de un eje hasta que no existió superposición entre las estructuras. Los resultados son graficados en la Fig. 9. Para ambas configuraciones los parámetros S_{12} y S_{21} son simétricos y no se obtuvieron desplazamientos considerables en los valores propios de impedancia.

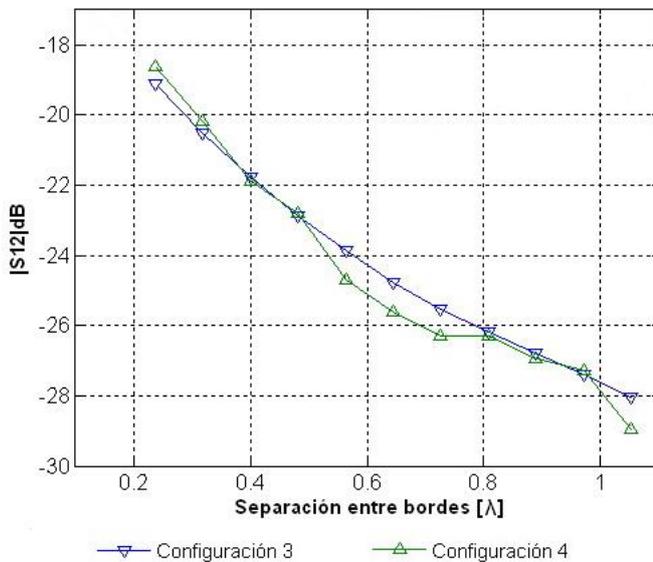


Fig. 9. Comportamiento de los parámetros S para las configuraciones analizadas.

IV. EVALUACIÓN PRELIMINAR PARA SISTEMAS MIMO

Como es bien conocido, el aumento en la capacidad de los sistemas MIMO está estrechamente relacionado con el concepto de diversidad, uno de los parámetros que lo caracteriza es la variable ρ . Una manera muy sencilla pero efectiva y aplicable a redes de dos puertos es considerada en [4] y [5] donde la correlación de envolvente puede ser cuantificada mediante la expresión 2:

$$\rho_e = \frac{|S_{11}^* \cdot S_{12} + S_{21}^* \cdot S_{22}|^2}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]} \quad (2)$$

Para la evaluación de este parámetro se ha seleccionado una distancia entre bordes de 0.5λ . Utilizando la ecuación 2 y simulando las configuraciones analizadas a lo largo del estudio para obtener los parámetros S pudo completarse la tabla 1.

Tabla 1. Correlación de envolvente.

Configuración	ρ_e
1	0.000023
2	0.000094
3	0.000038
4	0.000005
5	8.475×10^{-10}

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Un primer resultado es que para las cinco configuraciones analizadas los coeficientes de transmisión directo e inverso aumentan su valor a medida que se aproximan los elementos radiantes.

La configuración 5 exhibe los menores valores de S_{12} y S_{21} , permitiendo la proximidad de las antenas resonadoras cilíndricas tanto como se desee sin afectar la capacidad del sistema MIMO, claro está, la distancia mínima a utilizar entre bordes estará definida entonces por la forma del diagrama de radiación que se necesite. Para los escenarios o aplicaciones donde no deba utilizarse la polarización cruzada que genera esta configuración, deberá optarse entonces por uno o dos. Obsérvese como para las dos primeras disposiciones de DRA el valor de correlación es apropiado si tenemos en cuenta que para valores menores de 0.5 la ganancia por diversidad puede considerarse elevada, siempre que

la potencia utilizada por ambas señales sea aproximadamente la misma como se afirma en [5].

Tomando la distancia entre elementos considerada en IV, el sistema de radiación ocupará el área de una superficie rectangular de $60 \times 16.7\text{mm}$ aproximadamente y una altura sobre el plano tierra de 6 mm.

VI. CONCLUSIONES

Con este trabajo se realizan consideraciones sobre la factibilidad de implementación de antenas resonadoras cilíndricas alimentadas por ranura de apertura en dispositivos móviles de pequeño y mediano tamaño. Las dimensiones que ocuparían estos sistemas de radiación son muy alentadoras, sin considerar aún la posibilidad de utilizar DRA de bajo perfil, posibilitando la miniaturización de las antenas y la obtención de aplicaciones de bajas pérdidas a frecuencias más elevadas.

Debe señalarse lo dificultoso que resulta el acoplamiento de las estructuras radiantes utilizadas debido a la falta de expresiones en forma cerrada para su diseño y ajuste a la línea de alimentación.

En el futuro se deberán continuar analizando implementaciones que pueden ser empleadas para obtener sistemas radiantes con mayor número de antenas, incrementando la capacidad de las aplicaciones MIMO.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Dr. Alejandro Valero de la Universidad Politécnica de Valencia por alentar esta investigación y por la gentileza mostrada. Este trabajo ha sido posible además, gracias al soporte brindado por la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID) a través de la Acción Integrada D/7723/07.

REFERENCIAS

- [1] G.J. Foschini, M.J. Gans, "On limits of Wireless Communications in a Fading Environment Using Multiple Antennas", *Wireless Personal Communication*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, March 1998.
- [2] D. Gesbert, M. Shafi, D. Shiu, P.J. Smith and A. Naguib, "From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems", *IEEE Selected Areas in Communication*, vol. 21, no. 3, April 2003.
- [3] D. Kajfez and A.A. Kishk, "Dielectric Resonator Antenna-Possible Candidate for Adaptive Antenna Arrays". <http://www.ee.olemiss.edu/darko/dra-pcfaaa.pdf>
- [4] S. Blanch, J. Romeu and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description", *IEEE Electronic Letters*, vol.39, no.9, May 2003.
- [5] N. Belmar, A. Valero, M. Cabedo, E.A. Daviu, "Simple Design for Cost-Effective Diversity Antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 4, pp. 994-996, April 2007.