

# Sistema de alimentación para una antena de haz de seguimiento

**Cristina Suesca Díaz<sup>1</sup>**

**Ignacio Castañeda<sup>2</sup>**

## RESUMEN

El sistema de alimentación que se analiza en el presente artículo, muestra como un desfase en una señal de alta frecuencia se puede lograr mediante modulación de señales. Consiste en dos etapas, la primera se trata de una etapa de modulación de fase a baja frecuencia en donde se logra el desfase de manera relativamente fácil. Esta señal de baja frecuencia se traslada a una señal de alta frecuencia por medio de un modulador balanceado y filtrando la banda lateral superior resultante. Finalmente, se verifica que el desfase obtenido cumple con propiedades de linealidad.

**Palabras clave:** AMDE, Antena Inteligente, Arreglo de fase progresiva, Sistema de desfase, Sistema de traslación.

## FEEDING SYSTEM FOR A PHASED ARRAY

## ABSTRACT

The feeding system, analyzed in this paper, shows how a certain phase angle in a signal of high frequency can be obtained by modulation of signals. It consists in two stages, the first one is about a phase modulation system in low frequency where the angular movement is obtained relatively easy. This signal in low frequency is translate to another signal in high frequency with a balanced modulator and a filter which eliminates the lower side band. Finally, the obtained phase angle is into the properties of linearity.

**Key words:** SDMA, Smart Antenna, Phased Array, Phased System, Frequency Traslation System

## 1. INTRODUCTION

El reciente aumento de usuarios en los sistemas de comunicación inalámbrica, sobretodo de la red de telefonía móvil celular ha llevado a la búsqueda y creación de nuevas tecnologías que aumenten la capacidad del sistema para soportar un mayor tráfico prestando el mejor servicio

posible al usuario. Debido a esto, se crea una nueva forma de multiplexación en el envío de la información: SDMA [14], que en español significa Acceso Múltiple por División de Espacio, la cual es compatible con las ya existentes CDMA, TDMA y FDMA [11]. Esta nueva técnica proporciona cierta cantidad de canales los cuales se reutilizan al cambiar la zona que cobija en su área de cobertura total. Para la implementación de ésta técnica se requiere de Antenas Inteligentes, las cuales no son antenas convencionales como las que se utilizan en Colombia en la actualidad. Su característica más relevante es la movilidad y adaptación de sus haces de radiación de acuerdo a la posición en la que se encuentra el usuario con el que se quiere comunicar, esto desde el punto de vista de una estación base de una red de telefonía celular. Las Antenas Inteligentes se organizan en tres clases [14]: antenas de haz conmutado, antenas de haz de seguimiento y antenas de haz adaptativo. Cada una de estas requiere alimentación independiente en cada uno de los elementos de antena que la conforman. Las primeras tienen un conjunto de haces predefinidos los cuales al sobreponerse uno con otro realizan una cobertura total del área, generalmente el principio de funcionamiento se basa en la conmutación de líneas de transmisión de diferente longitud. Las antenas de haz de seguimiento requieren de un corrimiento angular progresivo en la señales de alimentación de cada elemento, manteniendo la amplitud de la portadora constante. Es también esencial que esta variación de fase se produzca de manera suave y continua para que el lóbulo de radiación producido no presente perturbaciones que puedan hacer perder el sincronismo del sistema. Las antenas de haz adaptativo, cambian el valor de fase y amplitud en cada elemento para generar los nulos y máximos del haz de radiación.

## 2. ARREGLOS DE ANTENAS DE HAZ DE SEGUIMIENTO

Las antenas de haz de seguimiento presentan un movimiento angular continuo del haz princi-

<sup>1</sup> Miembro Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital GITUD.

<sup>2</sup> Miembro Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital GITUD

Las técnicas de modulación se constituyen en herramientas muy útiles para facilitar los procesos de desplazamiento de fase.

pal de la antena. Para esto, requiere que las señales que van a cada elemento de la antena se desfasen progresivamente, es decir, que haya la misma diferencia de fase entre elementos adyacentes. Esto se puede apreciar en la Figura 1. Por tal motivo, a este tipo de arreglos de antenas se les suele llamar *Phased Array* [7].

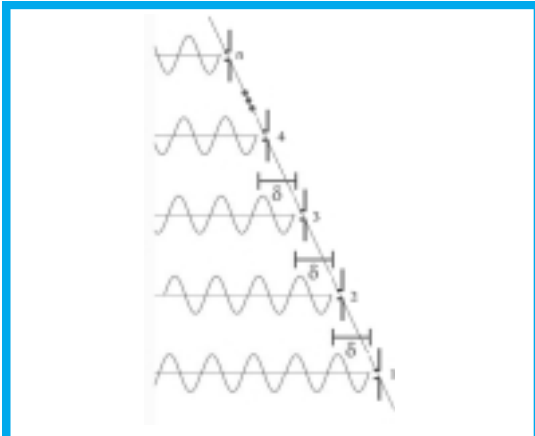


Figura 1. Fases de alimentación de un Phased Array.

La dirección hacia la cual se dirige el haz se determina por la expresión de campo del patrón de radiación en función de la fase de alimentación. Y, al desarrollar un cambio de fase continuo en la onda de alimentación, se logra mover el haz de manera uniforme realizando un seguimiento muy preciso del punto a monitorear.

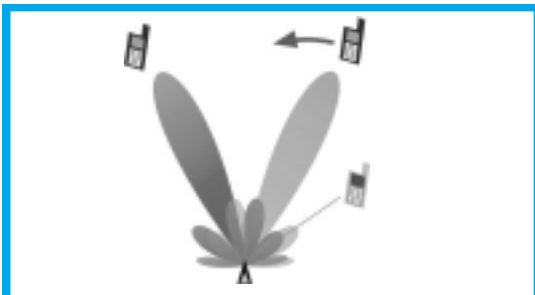


Figura 2. Haz de seguimiento

### 3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Una antena de haz de seguimiento requiere desfase progresivo en la señal portadora que la alimenta [6] [7], generalmente esta portadora corresponde a una señal de alta frecuencia, es decir, que se encuentra en la banda de UHF o microondas, de acuerdo al uso que se le vaya a dar a la antena. Realizar el desfase directamente en la portadora implica la implementación de circuitos complejos debido a que en altas frecuencias se presentan capacitancias parásitas que pueden sacar de sintonía el circuito.

Entre las formas de desfasar una onda de UHF o Microondas se encuentran:

- Desfase logrado a partir de modulación con diodos varicap.
- Desfase a partir del retardo ocasionado en la onda por medio de líneas de transmisión de diferentes longitudes las cuales se conmutan con diodos pin, en algunos casos estas líneas de transmisión corresponden a caminos en una placa de microcinta [12], a guías de onda, a cable coaxial y en nuevos estudios se utilizan líneas ópticas de transmisión [1], [2].
- Desfase ocasionado por la Matriz de Butler, en la cual se emplea phase shifters [4], [10], [2].
- Desfase generado con circuitos integrados los cuales emplean al igual que la Matriz de Butler cambiadores de fase y combinadores de señales [10].
- Desfase ocasionado por modulación, donde se mezcla una señal de alta frecuencia con una señal de baja frecuencia, la cual posee un determinado desfase [5], [9].

#### 3.1. Desfase ocasionado por modulación

En este método se toma una señal senoidal pura de «baja frecuencia» y se modula en fase [3], luego de esto, se realiza una mezcla con una señal de «alta frecuencia» [9]. Así, el sistema de alimentación se compone de 2 etapas fundamentalmente.

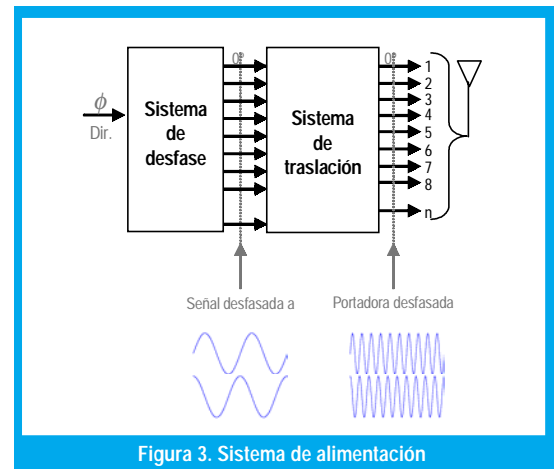


Figura 3. Sistema de alimentación

La primera etapa se compone de  $n-1$  moduladores PSK, de acuerdo a la cantidad  $n$  de elementos que se tienen en el arreglo de antena, por tanto, de cada modulador se obtiene una señal desfasada, haciendo que la diferencia de fase sea igual entre las señales que alimentan

dipolos adyacentes, lo que asegura un desfase progresivo, a esta etapa se le llama *Sistema de Desfase*.

Para realizar la modulación en fase el sistema requiere conocer la dirección hacia la cual se va a dirigir el haz, después de obtener este dato el sistema realiza internamente los respectivos cálculos para determinar el corrimiento de fase necesario para cada una de las señales que alimentan los respectivos elementos que conforman el arreglo y a partir de esta información calcula los valores de «I» y «Q» realizando la correspondiente modulación en fase [3]. Estos cálculos se realizan en un algoritmo diseñado en LabView y dependen del tipo de antenas que se utilice en el arreglo, por ejemplo, para un arreglo lineal de  $n$  dipolos [6] el desfase progresivo está dado por:

$$\delta = -\frac{2\pi}{\lambda} k\lambda \cos\phi \quad (1)$$

donde  $k\lambda$  es la distancia de separación de los elementos,  $\phi$  es la dirección hacia la que se quiere dirigir el haz y  $\delta$  es el desfase progresivo.

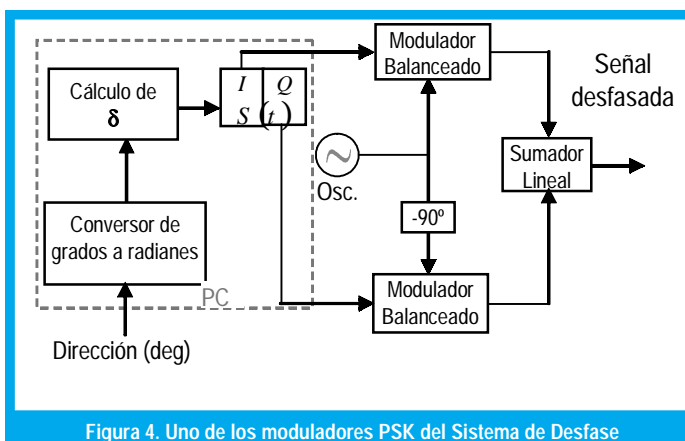


Figura 4. Uno de los moduladores PSK del Sistema de Desfase

El ángulo de dirección se ingresa por teclado al programa (Figura 5) y éste, además de realizar la simulación del desfase, entrega a un circuito externo el valor de las constantes «I» y «Q». Estos valores son digitales y están en serie, por tanto en el circuito se tiene una etapa que acondiciona estos valores en paralelo y los convierte en señales análogas para realizar la modulación PSK. Ésta última se realiza con una celda de Gilbert, en el caso de una modulación de una onda de máximo 10 MHz [8], o un modulador balanceado si se trata de frecuencias mayores y un amplificador operacional en configuración sumador.

Las técnicas de desplazamiento de fase son idóneas si se conserva la linealidad en las diferentes componentes espectrales.

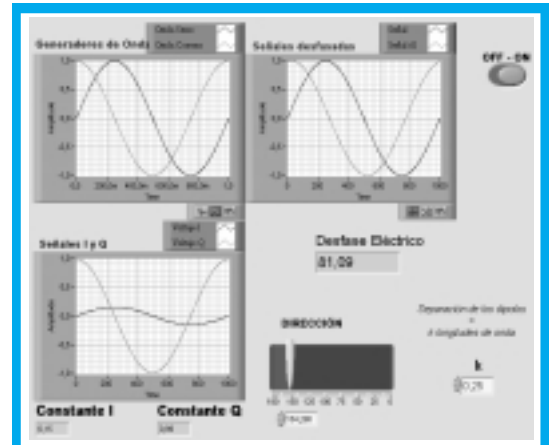


Figura 5. Panel de control en LabView

Luego de tener las señales desfasadas en baja frecuencia, éstas ingresan a la segunda etapa llamada: *Sistema de Traslación* (Figura 6). Este sistema se compone de un mezclador de *up converter* [3] y [13], donde se realiza la conversión de frecuencias llevando el desfase de la señal senoidal pura de baja frecuencia a la señal portadora que alimenta la antena.

El mezclador a su vez se compone de un modulador balanceado o multiplicador análogo y un filtro pasabanda [13].

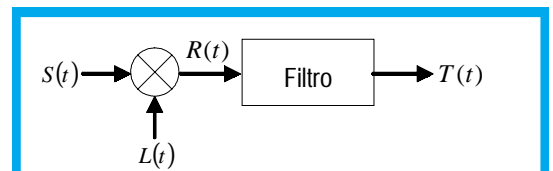


Figura 6. Uno de los mezcladores del Sistema de Traslación

El multiplicador o modulador balanceado elimina la componente espectral de la portadora y deja las dos bandas laterales resultantes en la modulación, por tanto, a la salida del multiplicador se ve una señal equivalente a la suma de éstas dos componentes [3] y [13]. En este caso ambas componentes corresponden a señales de mayor frecuencia que la señal de baja frecuencia, a causa de la gran diferencia en frecuencia entre la señal desfasada y la señal portadora.

La señal entregada por el sistema de desfase es  $S(t)$  y la correspondiente al oscilador local del mezclador es  $L(t)$ , y están dadas por:

$$S(t) = A \cos(\omega_1 + \delta_1) \quad (2)$$

$$L(t) = B \cos(\omega_2 t + \delta_2) \quad (3)$$

Las aplicaciones de estos sistemas se encuentran principalmente en antenas de seguimiento o antenas exploradoras.

A la salida del multiplicador se tiene la siguiente señal:

$$R(t) = K_m S(t)L(t) \quad (4)$$

Si se reemplazan las ecuaciones 2 y 3 en 4, se obtiene:

$$R(t) = K_m [A \cos(\omega_1 t + \delta_1)] \cdot [B \cos(\omega_2 t + \delta_2)] \quad (5)$$

Utilizando la identidad trigonométrica:

$$\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x + y) + \cos(x - y)] \quad (6)$$

se obtiene que R(t) en la ecuación 5 equivale a:

$$R(t) = \frac{K_m AB}{2} \{ \cos[(\omega_1 t + \omega_2 t) + (\delta_1 + \delta_2)] + \cos[(\omega_1 t - \omega_2 t) + (\delta_1 - \delta_2)] \} \quad (7)$$

Si se asegura que no hay corrimiento de fase en el oscilador local, el término  $\delta_2$  es constante y se puede tomar como referencia, es decir  $0^\circ$ . Reemplazando  $\delta_2 = 0^\circ$  en la ecuación 7, se tiene:

$$R(t) = K_m \frac{AB}{2} \{ \cos[(\omega_1 t + \omega_2 t) + \delta_1] + \cos[(\omega_1 t - \omega_2 t) + \delta_1] \} \quad (8)$$

Tomando, por ejemplo, que la señal de baja frecuencia es de 200 MHz y la señal de alta frecuencia de 1700 MHz, reemplazando en 8 se tiene que:

$$R(t) = \frac{K_m AB}{2} \{ \cos[2\pi \cdot t \cdot (200 + 1700) \text{MHz} + \delta_1] + \cos[2\pi \cdot t \cdot (200 - 1700) \text{MHz} + \delta_1] \} \quad (9)$$

igual a:

$$R(t) = \frac{K_m AB}{2} \{ \cos[2\pi \cdot t \cdot 1900 \text{MHz} + \delta_1] + \cos[-2\pi \cdot t \cdot 1500 \text{MHz} + \delta_1] \} \quad (10)$$

Como

$$\cos(-\theta) = \cos(\theta) \quad (11)$$

el segundo término de la ecuación 10 es:

$$\begin{aligned} & \cos[-2\pi \cdot t \cdot 1500 \text{MHz} + \delta_1] \\ &= \cos[-(2\pi \cdot t \cdot 1500 \text{MHz} - \delta_1)] \\ &= \cos[(2\pi \cdot t \cdot 1500 \text{MHz} - \delta_1)] \end{aligned} \quad (12)$$

Reemplazando el resultado de la ecuación 12 y el valor de las constantes  $K_m$ , A y B igual a 1, la ecuación 10 queda así:

$$R(t) = \frac{1}{2} \{ \cos[2\pi \cdot t \cdot 1900 \text{MHz} + \delta_1] + \cos[2\pi \cdot t \cdot 1500 \text{MHz} - \delta_1] \} \quad (13)$$

Para obtener una señal senoidal pura con el corrimiento en fase igual al de baja frecuencia se aplica un filtro que elimine la componente a 1500 MHz debido a que ésta invierte el signo de la fase de la señal de baja frecuencia. A la señal resultante se le llamará T(t).

$$T(t) = \frac{1}{2} \cos[2\pi \cdot t \cdot 1900 \text{MHz} + \delta_1] \quad (14)$$

La cual mantiene la linealidad en la fase.

### 3.2. Simulación en MATLAB

Para llevar a cabo la simulación del método que se describió anteriormente para ocasionar desfase en una onda senoidal de alta frecuencia, se definieron cuatro señales senoidales, tres de ellas son de 5 kHz y la otra señal es de 50 kHz, se tomaron estos valores de frecuencia debido a que 1700 MHz y 200 MHz son frecuencias muy altas que causan una gran carga computacional, por tanto la señal de 50 kHz representa una señal de alta frecuencia y las tres señales de 5 kHz representan tres señales de baja frecuencia. Cada una de las señales de baja frecuencia (5 kHz) presentan un corrimiento en fase diferente, una es la referencia, es decir que su fase es  $0^\circ$ , las otras dos se adelantan  $90^\circ$  y  $180^\circ$ , mostrando fase progresiva de  $90^\circ$  para un arreglo de 3 elementos.

El primer paso de la conversión de frecuencias es la multiplicación de cada una de las señales de 5 kHz con la señal de 50 kHz, aquí se obtienen dos componentes espectrales, la banda lateral inferior en 45 kHz ( $50 \text{ kHz} - 5 \text{ kHz}$ ) y la banda lateral superior en 55 kHz ( $50 \text{ kHz} + 5 \text{ kHz}$ ). En la Figura 6 se pueden observar estas componentes con los picos de mayor amplitud.

Luego de realizar la multiplicación se procede a hacer el filtrado, dejando pasar la componente de 55 kHz. En la figura 8 se ve la respuesta en frecuencia de un filtro FIR de fase lineal en MATLAB en el que se utilizan los comandos `remez` y `remezord`. El espectro en frecuencia resultante se observa en la Figura 7 como un pico de menor amplitud ubicado a la derecha de los gráficos. Es de notar, que la potencia se reduce al 50% debido a que ésta se distribuye uniformemente en las dos componentes.

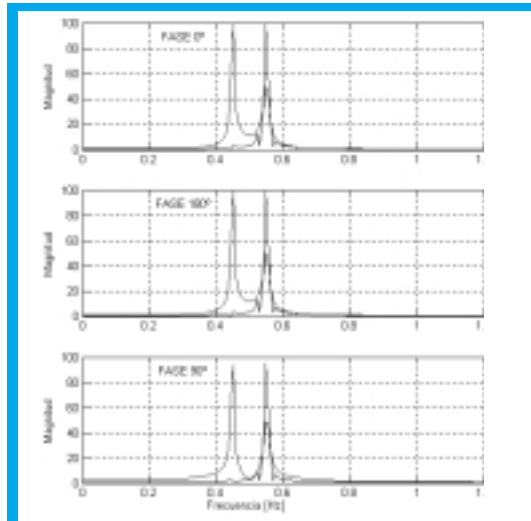


Figura 7. Espectro de frecuencias de las señales multiplicadas (los dos picos mayores en cada gráfica) y las señales filtradas (pico de menor tamaño a la derecha en cada gráfica).

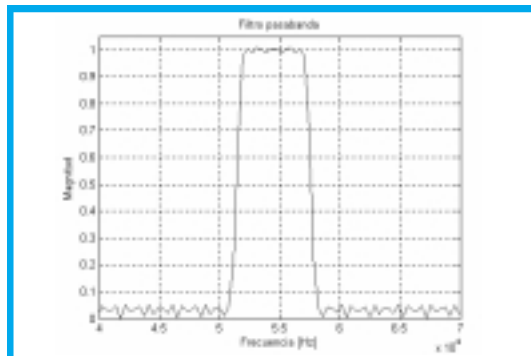


Figura 8. Respuesta del filtro pasabanda

A continuación se muestra lo que sucede con cada una de las señales en este proceso.

Las Figuras 9, 10 y 11 se componen de cuatro gráficas. La primera de ellas es la señal de baja frecuencia, es decir, de 5 kHz, y cada una presen-

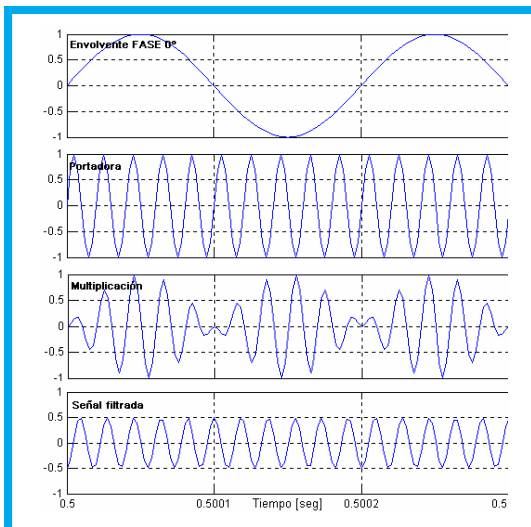


Figura 9. Traslado de la fase de 0° a la señal de 55kHz.

Los filtros utilizados definen la calidad de la señal obtenida.

ta un corrimiento de fase distinto; la segunda gráfica corresponde a la señal portadora o de alta frecuencia (50 kHz), ésta no presenta corrimiento de fase, sino que es la misma para cada caso; la tercera gráfica muestra la señal resultante de la multiplicación entre las dos ondas; y en la cuarta gráfica se observa la señal filtrada de 55 kHz.

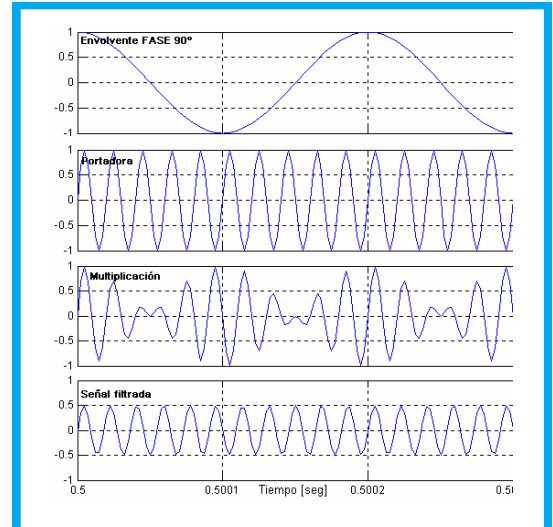


Figura 10. Traslado de la fase de 90° a la señal de 55 kHz.

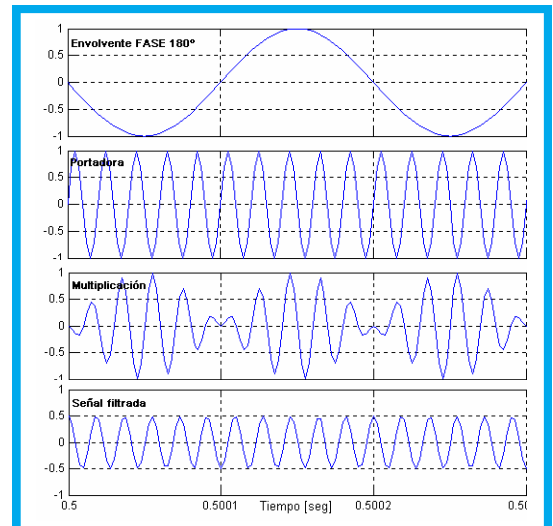


Figura 11. Traslado de la fase de 180° a la señal de 55kHz.

Finalmente, las señales mantienen linealmente la fase de las señales a baja frecuencia en la siguiente figura se puede observar que las señales filtradas de las Figuras 10 y 11 se adelantan progresivamente de la señal filtrada de la figura 9.

Si por el contrario se hubiera eliminado la banda lateral superior, las señales tendrían el signo de la fase invertido, en la siguiente figura se puede observar como las señales de las Figuras 10 y 11 en vez de adelantarse 90° y 180° respectivamente, se atrasan esa misma cantidad de grados.



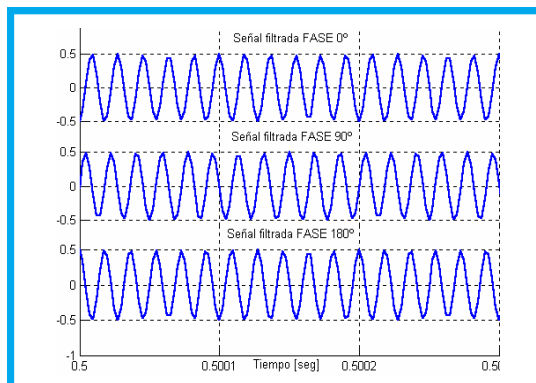


Figura 12. Señales con frecuencia de 55 kHz y sus respectivas fases



Figura 13. Señales con frecuencia de 45 kHz y sus respectivas fases

#### 4. CONCLUSIONES

Es de destacar que el corrimiento de fase de una señal de alta frecuencia que se obtiene con el método de modulación, se puede hacer de forma continua sin cambios bruscos en el ángulo de fase de la onda, lo que permite que el haz de radiación de una antena de phased array pueda hacer un seguimiento eficaz al móvil con el que se está comunicando manteniendo siempre máxima potencia para este último. Esto se debe a que la modulación en fase se hace sobre una señal de baja frecuencia donde las señales son mayores en longitud y los componentes y elementos necesarios para su implementación son más económicos.

En el mezclador de la segunda etapa del sistema de alimentación se tienen dos bandas laterales resultantes de la modulación entre la señal desfasada y la señal de alta frecuencia. Para obtener a la salida una señal senoidal pura es necesario filtrar una de estas dos bandas, pero la fase de la señal depende de cual componente espectral se deje pasar en el filtrado, si la superior o la inferior. Para mantener linealmente en la señal de alta frecuencia el corrimiento de fase que se

tiene en la señal de baja frecuencia, se debe aplicar un filtro que elimine la banda lateral inferior, puesto que la señal correspondiente a esta componente espectral tiene invertido el signo de la fase, mientras que la señal correspondiente a la banda lateral superior mantiene linealmente el corrimiento en fase de la señal.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CORRAL, J.L., MARTÍ, J. y FUSTER, J.M. Optical beamforming network based on chirped fiber gratings continuously variable true-time-delay lines. ETSI Telecomunicación. Camí de Vera S/N, 46071. Valencia España.
- [2] CORRAL, J.L., MARTÍ, J., VIDAL, B. y POLO, V. Multibeam optical beamforming Architectures for Broadband Wireless Access Networks. Universidad Politécnica de Valencia, Fiber Radio Group (FRG). Valencia España.
- [3] COUCH, Leon W. Digital and analog communications systems. 6 ed. Estados Unidos, Prentice Hall, 2000. 758 p.
- [4] DERNERYD, Anders y JOHANNISSON, Björn. Sistemas adaptativos para antenas de estaciones base. Ericsson Review, No. 3, 1999. pág. 132 – 137.
- [5] Dispositivos de Microondas. Modulación en Microondas. Portalgsm, Telecomunicaciones online Spain, versión 002 Enero de 2003. [http://portalgsm.com/documentacion\\_extendida/104\\_0\\_17\\_0\\_C/](http://portalgsm.com/documentacion_extendida/104_0_17_0_C/)
- [6] KRAUS, John D. Antennas. Ed McGraw Hill. Págs. 118 – 150.
- [7] MORENO, Oscar, FRANCO, Ignacio y MIRANDA, Jose Luis. Introducción a la tecnología de antenas inteligentes. Aplicación a UMTS. Comunicaciones de Telefónica I+D, No. 21, Junio 2001. pág. 43 – 56.
- [8] NATIONAL SEMICONDUCTORS. Analog Products Databook. Estados Unidos, Edición 2004.
- [9] NISHIO, Takahide., WANG, Yuanxun., y ITOH, Tatsuo. A Frequency – Controlled Beam – Steering Array with Mixing Frequency Compensation for Multichannel Applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 32, No. 4, Abril 2004.
- [10] OHIRA, Takashi. Analog Smart Antennas: An Overview. ATR Adaptive Communications Research Laboratories. 2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto 619-0288 Japan. IEEE. 2002
- [11] PAULRAJ, A. J., GESBERT, D. y PAPANIAS, C. Smart Antennas for Mobile Communications. Encyclopedia for Electrical Engineering. John Wiley Publishing CO., 2000. Pág. 11
- [12] SANTA ANA ALVAREZ, Javier Alejandro. Diseño, construcción y evaluación de una antena microstrip paced array para conformación de Haz de Banda de 6.5 GHz. Universidad Técnica Federico Santa María. Noviembre 2003.
- [13] TOMASI, Wayne. Electronics communications systems. Edición Estados Unidos, Prentice Hall, 1992. 414 págs.
- [14] USECHE, Juan Carlos y ZABARAIN Hernan. Estudio preliminar sobre antenas inteligentes en acceso múltiple por división de espacio S.D.M.A. Bogotá D.C., Universidad Distrital, 2000

#### José Ignacio Castañeda Fandiño

Ingeniero Electrónico Universidad Distrital. Especialista en Telecomunicaciones Móviles. Docente de la Especialización en Telecomunicaciones Móviles, Universidad Distrital [jicnacio@udistrital.edu.co](mailto:jicnacio@udistrital.edu.co)

#### Cristina Susca Díaz

Ingeniera Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas [cristina\\_susca@yahoo.com](mailto:cristina_susca@yahoo.com)