

# Uso de FPGA para realizar compresión del pulso de radar

Enrique Escamilla Hernández<sup>1</sup>

Volodymyr Ponomaryov<sup>1</sup>

Arai Ikuo<sup>2</sup>

Hideki Endo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Instituto Politécnico Nacional (IPN) Edificio 2, 3<sup>er</sup> piso, Unidad Culhuacán, Av. Santa Ana 1000, Col. San Francisco Culhuacán, C.P. 04430, México, DF. MÉXICO

<sup>2</sup>University of Electro-Communications, Department of Electronic Engineering, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, #182-8585, Tokio. JAPÓN

<sup>3</sup>KODEN, Electronics Engineering Department 5278 Uenohara, Uenohara-shi, #409-0112, Yamanashi-ken. JAPÓN

Tel. (1) 5656-2058

email: (1) zecmol@calmecac.esimecu.ipn.mx

Recibido el 22 de enero de 2004; aceptado el 29 de junio de 2004.

## 1. Resumen

El presente trabajo muestra el uso de dos FPGA para generar en uno la señal de radar FM lineal o chirp y en otro realizar la compresión del pulso de radar, así como el uso de las funciones ventanas más utilizadas, como son: Hamming, Chebyshev, Hannig, Kaiser-Bessel, Blackman.

## 2. Abstract

In these days the increase of applications of the FPGA for communication systems takes a greater importance. Throughout, in this paper we propose the use of these FPGA for SAR systems generating the radar pulse signal, as well as, it have been realized the pulse compression in radar using the FPGA. We present some radar processing results applying the classical window functions for the side-lobes elimination.

**Palabras clave:** SAR: radar de apertura sintética, SLL: nivel de los lóbulos laterales, FPGA: arreglo de compuertas lógicas programable, ASIC: circuitos integrados de aplicación específica, SNR: relación señal-ruido.

## 3. Introducción

Una forma elemental de presentación de radar consiste en una antena que transmite la radiación electromagnética generada por un oscilador, una antena del receptor, y una energía que detecta el receptor. Una porción de la señal transmitida es interceptada por un blanco y reflejada en todas las direcciones. La antena del receptor recoge la energía emitida por el blanco y la entrega al receptor, donde se procesa para detectar la presencia de un blanco y para determinar su posición y su velocidad relativa. La distancia del blanco es determinada midiendo el tiempo de la señal en ida y vuelta. La dirección, o la posición angular del blanco se puede determinar por la dirección de arribo de la onda frontal reflejada [1,2].

Existe un sinnúmero de métodos para el procesamiento digital de señales en sistemas SAR (radar de apertura sintética) éstos son distinguidos por sus metas (reconocimiento de objetos, cartografía, análisis de humedad, etc.), herramientas matemáticas, métodos usados y manera de procesamiento de señales SAR. Es por eso que se aplican diferentes criterios para el procesamiento de señales SAR, como son: maximizar la SNR (relación señal-ruido), criterio de Neumann-Pearson, criterio de mínimos cuadrados, etcétera.

El SAR es un radar activo y coherente que emite energía en la banda de microondas transmitiendo una portadora en un periodo pequeño de tiempo y recibiendo los ecos provenientes de reflexiones de la señal en los objetos lo cual da lugar a una apertura sintética, es decir, toma un conjunto de señales de radar sucesivas y coherentes que son transmitidas y recibidas por una pequeña antena que se mueve a lo largo de un determinado recorrido y debido a que el blanco permanece en el haz de la antena durante unos instantes y es observado por el radar desde numerosos puntos a lo largo de la trayectoria del SAR, equivale a prolongar la longitud real de la antena [1,2]. La resolución en un sistema de radar es controlada por la longitud del pulso de la señal y el ancho del rayo proveniente de la antena. La longitud del pulso determina la resolución en la dirección de propagación de la energía (dirección del alcance)

en el caso de señales simples de modulación. Pulsos más cortos dan lugar a una alta resolución en el alcance.

La elección de una señal de radar está en función de varios factores que incluyen: consideraciones de potencia, rango máximo de resolución y la distancia de resolución. La búsqueda de una forma de onda que satisfaga estos criterios de una manera óptima, ha sido siempre tema de estudio. El pulso de radar FM lineal o «chirp» ha emergido como una de tantas soluciones [1,2]. Al realizar la compresión de este pulso en el lado del receptor, obtenemos los datos necesarios para el radar. Para lograr la compresión del pulso hacemos uso de un filtro acoplado; las características de este filtro acoplado permiten detectar mejor la señal del pulso transmitido. Este tipo de filtros hacen posible detectar sólo la señal de interés, mientras que otras señales no son detectadas por no tener las propiedades del pulso transmitido. Para disminuir errores hacemos uso de funciones ventana. Estas funciones son un buen método establecido y documentado que permite hacer el análisis espectral de la señal de interés. En este caso podemos utilizar funciones ventana en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia con el fin de disminuir los lóbulos laterales del pulso recibido y con ello disminuir el error de confusión de un lóbulo lateral con un blanco de menos potencia o tamaño.

Varios criterios deben de ser tomados en cuenta al hacer uso de estas funciones ventana, como son: ancho del lóbulo principal, reducir la amplitud de los lóbulos laterales y el decrecimiento de los mismos.

El presente artículo es una muestra de la generación del pulso de radar utilizando la señal FM «chirp», también se muestra cómo un filtro acoplado y funciones ventana se conjugan para realizar la compresión del pulso de radar, todo esto se implementa en FPGA para realizar las mediciones reales al utilizar las limitantes del hardware.

## 4. Desarrollo

### 4.1 Radar con FM «chirp»

En un sistema SAR la señal transmitida comúnmente usada es una forma de onda FM lineal o «chirp». En sistemas SAR, las señales de transmisión y recepción son de valor real, pero en el procesamiento digital de señales, por razones de eficiencia de análisis, son de valor complejo. En una señal FM lineal la frecuencia es una función lineal del tiempo y la fase es una función cuadrática del tiempo. Esto significa que el retraso de grupo es una función lineal del tiempo, como en la figura 1. La ecuación que representa la forma general de una señal lineal FM o «chirp» es:

$$Linear\_FM(t) = \cos(\Psi(t) + \phi) \quad (1)$$

$$\Psi(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (2)$$

Si manipulamos esta expresión para poder obtener una expresión con respecto al tiempo obtenemos lo siguiente:

$$Linear\_FM(t) = \cos(t^2\pi(B/T) + \phi) \quad (3)$$

Con la ecuación (3) se genera una tabla para enviar dichos valores al DAC.

### 4.2 Filtro acoplado y compresión del pulso

Los conceptos de filtro acoplado (*matched filter*) y compresión del pulso (*pulse compression*) son la base para el procesamiento de señales de los sistemas SAR.

En el sistema SAR, la compresión del pulso está diseñada para minimizar la potencia pico de transmisión, maximizar la SNR y obtener una resolución fina [3].

Estos conceptos son también aplicables a cualquier problema de filtración lo cual implica el problema de recuperar una señal donde la característica en frecuencia es conocida con una mezcla de ruido.

Sea  $h(t)$  la respuesta al impulso del filtro acoplado (4) donde  $k$  es un factor de normalización,  $r(\tau)$  la señal recibida, la expresión general para la compresión del pulso de radar en el caso continuo está representada por ecuación (5), y en el caso discreto por la ecuación (6).

$$h(t) = ks^*(-t) \quad (4)$$

$$g(t) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} r(t-\tau)h(\tau)d\tau \quad (5)$$

$$g(n) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} r(k-\tau)h(\tau) \quad (6)$$

Un filtro acoplado es un filtro lineal diseñado para proporcionar la máxima relación señal a ruido a su salida para una forma de onda transmitida.

En el filtro acoplado se deslizan dos funciones, pasando una sobre otra y se calcula una secuencia de correlaciones (una para cada paso en el deslizamiento). La figura 1 muestra todo el proceso para realizar la compresión del pulso de radar.

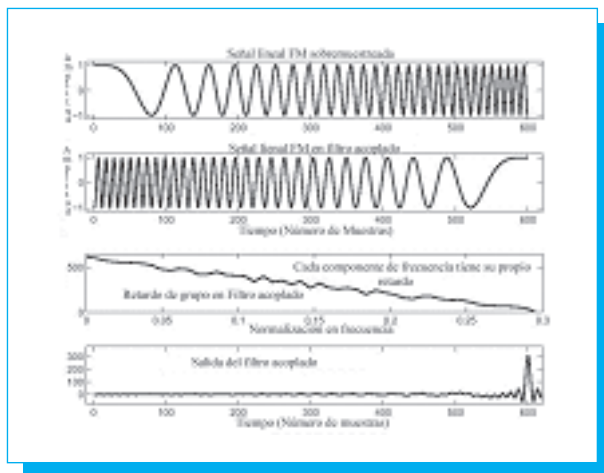


Fig.1. Compresión del pulso de radar.

En efecto, un filtro acoplado para el pulso emitido reconocerá los elementos de la señal distintiva y la retrasa sucesivamente para comprimir en un pulso corto con la intensidad proporcional a el eco recibido. Aunque un filtro acoplado puede parecer ser la solución perfecta, también hay que considerar las necesidades en la capacidad de resolución del sistema, la cual es determinada por la estrechez del lóbulo principal, pero otro factor importante es la amplitud de los lóbulos laterales en la respuesta del filtro acoplado.

Esto implica que los pulsos comprimidos sucesivos tendrán un traslape de los lóbulos laterales y, una cantidad significativa de la intensidad de la imagen entre un blanco y sus vecinos será ambigua. Para compensar esta ambigüedad de los lóbulos laterales, se utilizan funciones de peso para disminuir estos lóbulos laterales, tales funciones se llaman funciones ventana.

### 4.3 Uso de funciones de ventana

En usos del radar, uno necesita estimar los parámetros de un blanco que puede ser oscurecido por los lóbulos laterales adyacentes de un blanco muy grande. Así que la dificultad principal aquí es cómo podemos distinguir un blanco pequeño con respecto a los lóbulos laterales de un blanco de mayores dimensiones. El primer lóbulo lateral del espectro uniforme tiene una atenuación de 13 dB por debajo del lóbulo principal. El uso de funciones de peso (ventanas) en el dominio del tiempo, influye esencialmente en el efecto de pérdida espectral [6].

La ausencia de estas funciones para analizar parte de una señal finita es equivalente a usar una ventana rectangular. El

espectro de una ventana rectangular tiene la forma de  $\text{sen}(x)/x$ , o la función familiar del  $\text{sen } c$ , y así cada componente de la señal es ensanchado por esta forma. Esta ventana no es óptima en el análisis de las señales debido a la discontinuidad en los bordes de esta ventana. La función de peso óptimo debe tener valor de cero en los extremos y variar monótonamente dentro de la región a procesar.

Aunque una cierta porción de la influencia de los datos se elimina o se disminuye, y a pesar de la pérdida de resolución, estas ventanas son a menudo el mejor recurso para la valoración exacta de componentes espectrales, especialmente cuando una alta gama dinámica es necesaria.

El uso de estas ventanas permite la disminución de los lóbulos laterales pero al mismo tiempo el ancho del lóbulo principal es aumentado y por lo tanto la resolución es degradada. La elección de una ventana en particular está determinada por el compromiso entre el cambio en el nivel de ruido en el dominio de los lóbulos laterales. Así, si los componentes espectrales de la señal, cerrados con respecto a las amplitudes, están situados en las vecindades y lejos de la componente débil, entonces las ventanas con igual nivel en los lóbulos laterales pueden ser elegidas. Señales con espectros suaves no requieren ningún tipo de ventana [3-5].

Aquí se usan las siguientes ventanas clásicas:

Hamming:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (7)$$

Hanning:

$$w(n) = 0.5 \left(1 - \cos\left(2\pi \frac{n}{N-1}\right)\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (8)$$

Blackman-Harris:

$$w(n) = 0.35875 - 0.48829 \cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right) + 0.14128 \cos\left(\frac{2\pi}{N}2n\right) - 0.01168 \cos\left(\frac{2\pi}{N}3n\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (9)$$

Kaiser-Bessel:

$$w(n) = \frac{I_0\left(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1} - 1\right)^2}\right)}{I_0(\alpha)}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (10)$$

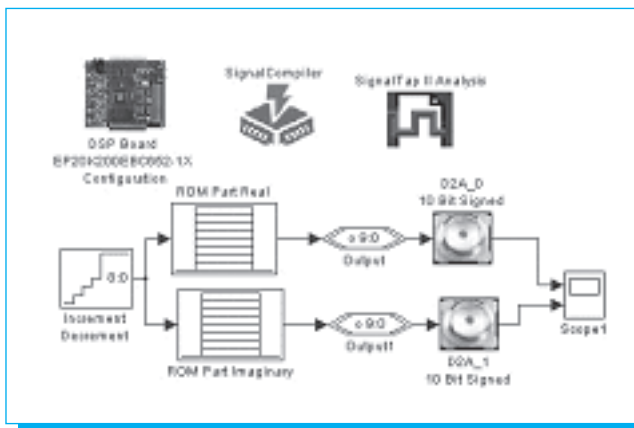


Fig. 2. Modelo para generar señal "chirp".

#### 4.4 Realización del pulso de radar en FPGA

Un FPGA es un arreglo de bloques lógicos programables colocados en una infraestructura de interconexiones programables; es posible programar la funcionalidad de los bloques lógicos, las interconexiones entre bloques y las conexiones entre entradas y salidas. Un FPGA es programable a nivel hardware. Así, un FPGA proporciona las ventajas de un procesador de propósito general y un circuito especializado que puede reconfigurarse las veces que sea necesario para depurar su funcionalidad. El tamaño y velocidad de los FPGA's son equiparables a los ASIC (circuitos integrados de aplicación específica), pero los FPGA son más flexibles y su ciclo de diseño es más corto.

Para esta investigación se utilizaron dos FPGA un VIRTEX XC2V1000 de Xilinx [8] y EP20K200EBC de Altera [9]. El VIRTEX está integrado al equipo Signal Master [10]. Este equipo cuenta con dos ADC, dos DAC y una entrada de reloj externa, El EP20K está integrado a una tarjeta DSP development board de Altera y también cuenta con dos ADC, dos DAC y una entrada externa de reloj, más las salidas en cada pin del FPGA.

Se utilizó la ecuación (3) para generar una tabla con los valores del pulso de radar con los siguientes parámetros:

- Duración del pulso: 3.2  $\mu$ s
- Desviación de frecuencia:  $\Delta f = 9.375$  MHz
- Frecuencia de muestreo en los convertidores: 37.5 MHz

Con estos parámetros y una tabla de 120 valores utilizando la ecuación (3) se genera el pulso de radar, posteriormente se agregan ceros hasta completar una tabla de 512 valores.

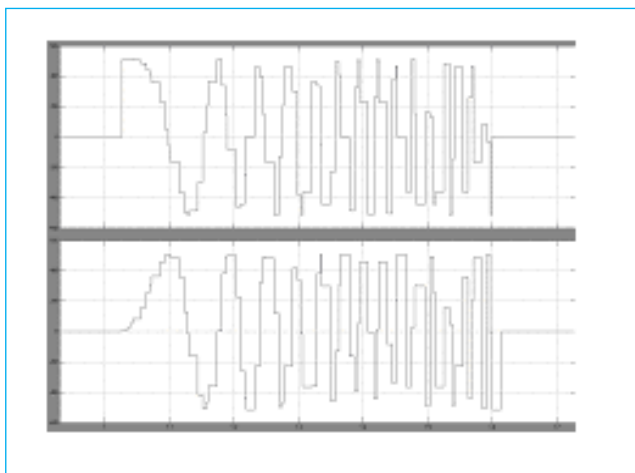


Fig. 3. Simulación de señal "chirp".

Para la generación de este pulso de radar se utiliza el kit de ALTERA el APEX DSP Development kit, la frecuencia máxima de operación del reloj en este kit es de 40 MHz

Los DAC utilizan 10 bits y un rango máximo de un volt pico-pico. Con la tabla de 512 valores obtenida se realiza la conversión primero a valores decimales utilizando la precisión de los convertidores y posteriormente a valores hexadecimales que serán enviados a los convertidores DAC.

El modelo utilizado se basa sólo en un contador y dos bloques de memoria, la cual contiene los valores hexadecimales a ser enviados a los DAC. El modelo se muestra en la figura 2. El contador se pasa en ciclos direccionando las localidades de

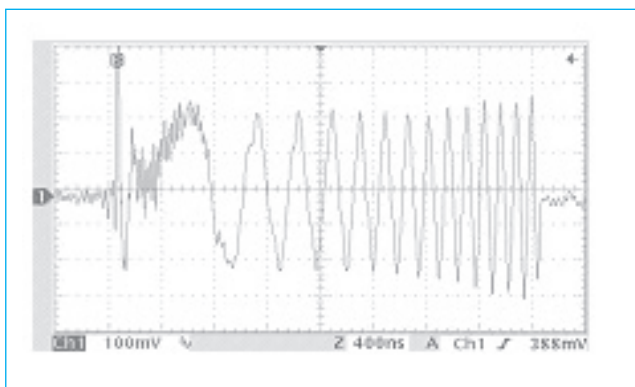


Fig. 4. Resultado de la implementación del pulso en FPGA de Altera.

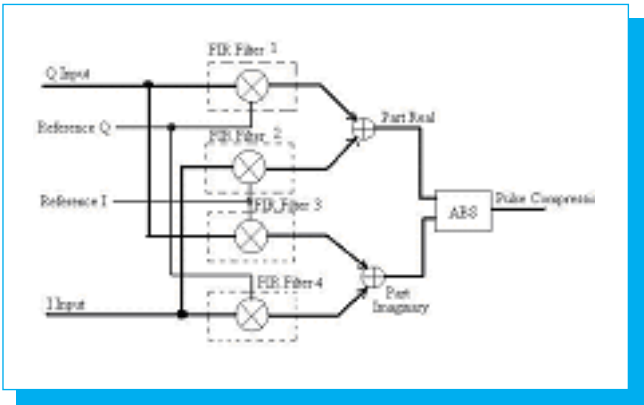


Fig. 5. Modelo para la compresión del pulso de radar.

memoria ROM; como ya se mencionó anteriormente, es de 512 localidades lo que implica que se necesitan nueve bits para direccionar cada una de estas localidades. Tenemos un bloque de memoria para la parte real y otro para la parte imaginaria, el tamaño de palabra de la memoria es de 10 bits, estamos utilizando sólo los convertidores DAC del *kit*.

Se puede observar, al utilizar el modelo, el resultado en la figura 3. En dicha figura se muestran la parte real y la parte imaginaria. El software utilizado para realizar este modelo es Matlab, Simulink, Quartus y DSP Builder [7, 9].

El pulso de radar transmitido y al cual le vamos a aplicar la compresión del pulso de radar se muestra en la figura 4. Esta señal la utilizaremos para simular el pulso transmitido.

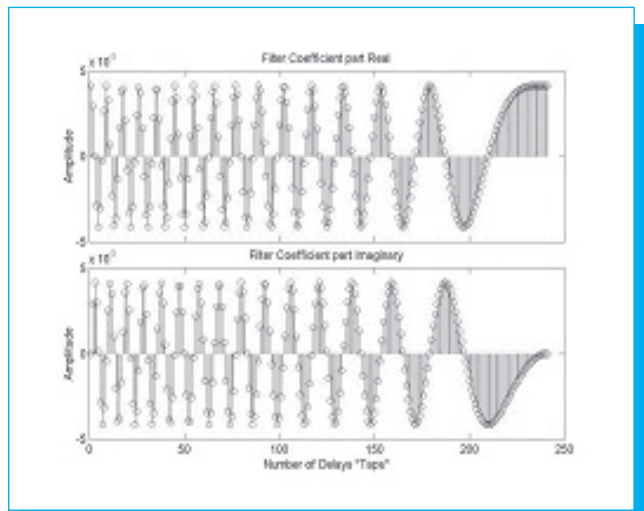


Fig. 6. Coeficientes de filtros FIR sin ventaneo.

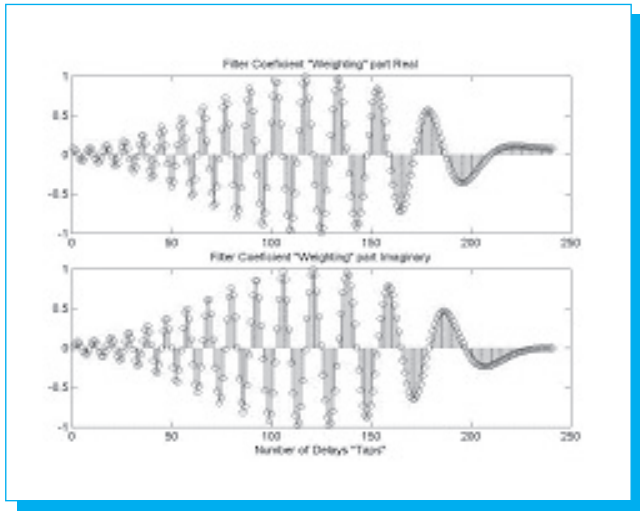


Fig. 7. Coeficientes de filtros FIR con ventana Hamming.

#### 4.5 Implementación de la compresión del pulso de radar

Para la compresión del pulso de radar se utilizó el modelo mostrado en la figura 5. Para la realización de esta compresión del pulso de radar se utiliza un equipo Signal Master, que cuenta con un VIRTEX de XILINX.

Aquí tenemos dos filtros FIR para la parte real y dos filtros para la parte imaginaria. Los coeficientes de los filtros FIR's corresponden a los coeficientes de la señal del pulso de radar transmitida, como se mostró en la figura 1.

Este modelo fue simulado en Matlab para realizar la compresión del pulso de radar, así como también la implementación de las funciones ventanas clásicas.

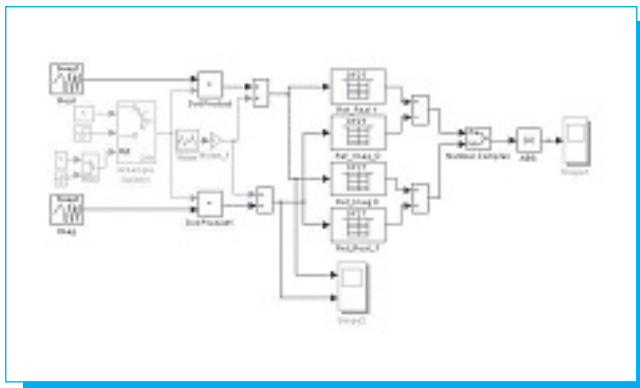


Fig. 8. Modelo utilizando los bloques de Simulink.

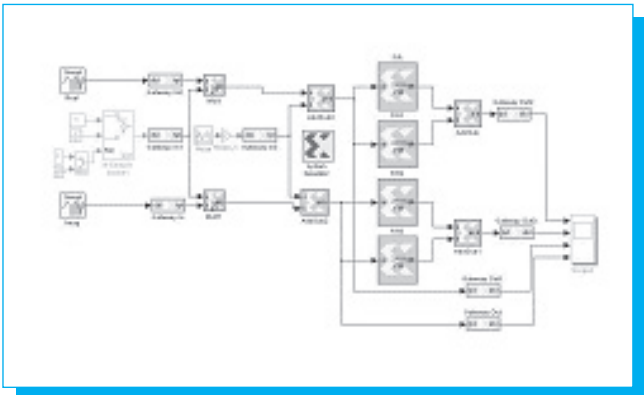


Fig. 9. Implementación del pulso de radar utilizando los bloques de Xilinx.

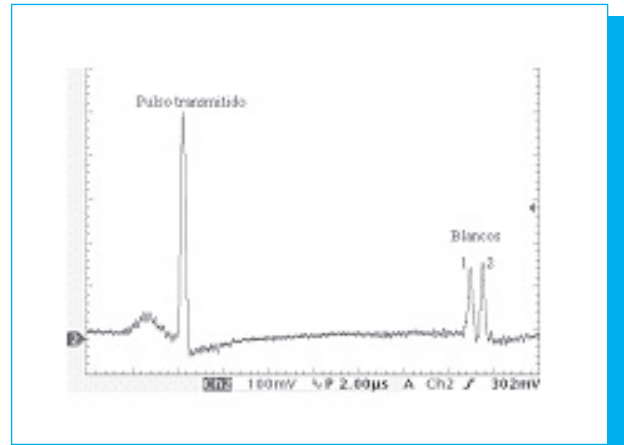


Fig. 11. Ventana de Blackman.

En la figura 6 se muestran los coeficientes de los filtros FIR utilizando 250 retardos (*taps*) en cada filtro FIR. Estos coeficientes son los utilizados en la simulación de Matlab. Para realizar la implementación de las funciones de ventana es suficiente multiplicar la función de ventana por los coeficientes, es importante señalar que cada función ventana debe tener el mismo número de puntos en el intervalo por evaluar. Este proceso de implementación de ventanas se muestra en la figura 7, aquí mostramos la ventana Hamming. Se realizaron experimentos con varias ventanas clásicas que se presentan en este artículo.

El modelo utilizado en Simulink es mostrado en la figura 8 en la cual se observan todos los bloques que conforman la compresión del pulso, los cuales son: la generación del pulso

de radar, la suma de señal con ruido, los cuatro filtros FIR y la salida de la compresión del pulso de radar.

El modelo anterior sólo representa la simulación en Simulink, para implementarlo en un FPGA se utiliza el modelo mostrado en la figura 9, donde los bloques *Gateway in* y *Gateway out* determinan los límites de los componentes que serán implementados en el FPGA. Para este caso sólo se realiza la suma y resta de las partes real e imaginaria, debido a que los bloques de Xilinx no tienen ningún bloque para realizar operaciones con números complejos.

El modelo final implementado en el FPGA VIRTEX se muestra en la figura 10. Aquí, los filtros FIR tienen 67 *taps*; al no ser posible colocar los cuatro filtros FIR, sólo se muestran dos

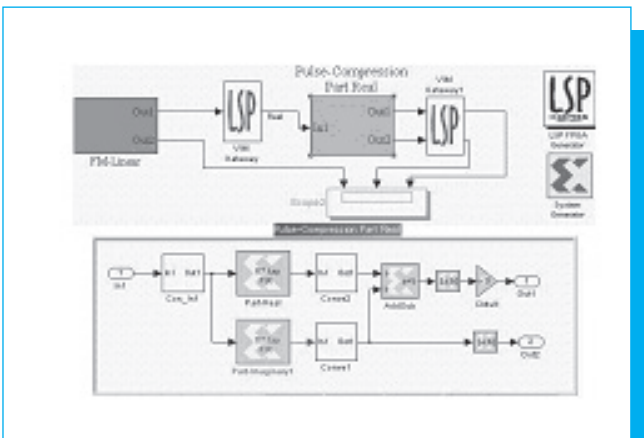


Fig. 10. Modelo final implementado en el FPGA.

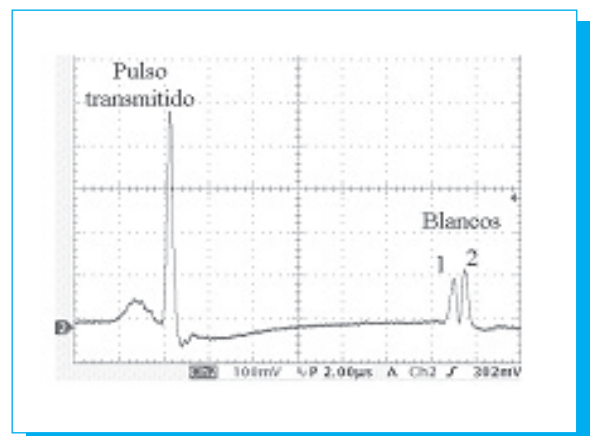


Fig. 12. Ventana de Blackman-Harris.

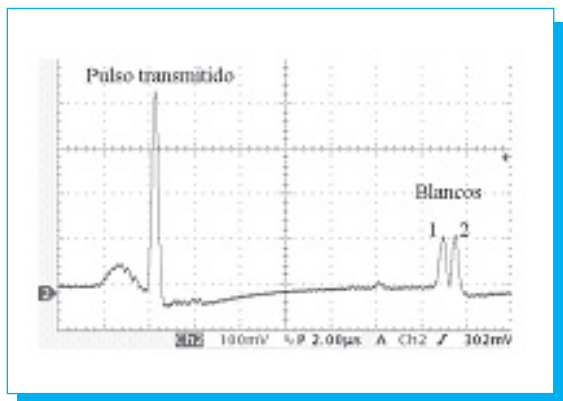


Fig. 13. Ventana de Chebyshev.

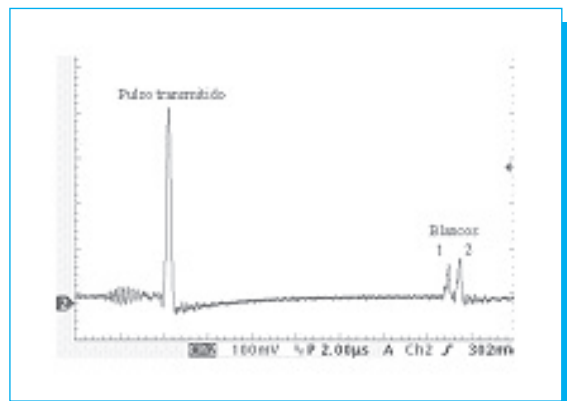


Fig. 15. Ventana de Hanning.

filtros FIR para realizar la compresión del pulso de radar de la parte real. El bloque *Con\_In1* sólo realiza el formato de los bits a ser enviados a los convertidores, los bloques *Conve1* y *Conve2* calculan el valor absoluto de la muestra en cuestión, son sumados, limitados en bits y amplificados por un factor de tres.

Para la implementación de este modelo se utilizó el siguiente software: Matlab, Simulink, System Generator, LSP [7,8,10].

Para ver el desempeño de nuestro modelo utilizamos un radar marítimo en techo y lo fijamos a un blanco con una ganancia de antena de 40 dB. Los resultados al utilizar el sistema completo en la transmisión y recepción del pulso de radar se muestran en las figuras 11 a 17. En dichas figuras aparecen los dos blancos, que son dos edificios localizados a una distancia aproximadamente de 2.5 km del radar.

Se probaron varias ventanas clásicas algunas de ellas como la ventana Kaiser, la cual tiene un factor  $\alpha$  que nos permite aumentar o disminuir el ancho de la ventana, aquí se muestra para  $\alpha = 1.5$  y  $\alpha = 3.5$ . Podemos observar de las figuras que al aumentar el valor de  $\alpha$  se puede detectar mejor los blancos vecinos.

Posteriormente se probó todo el modelo de generación del pulso y compresión del pulso de radar con un radar marítimo, la ganancia utilizada fue de 10 y un rango de 0.75. Estos resultados se muestran en las figuras 18 a 20.

De estas figuras observamos que la ventana Kaiser ofrece mejor resolución, pero en el primer círculo concéntrico se ve que es la peor ventana, esto se debe a que al hacer la compresión del pulso de radar se obtiene un pulso antes del

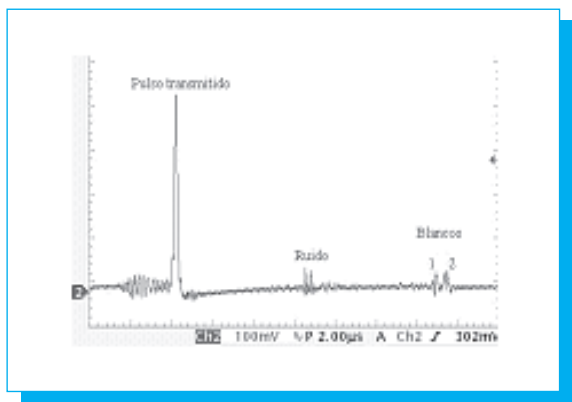


Fig. 14. Ventana de Hamming.

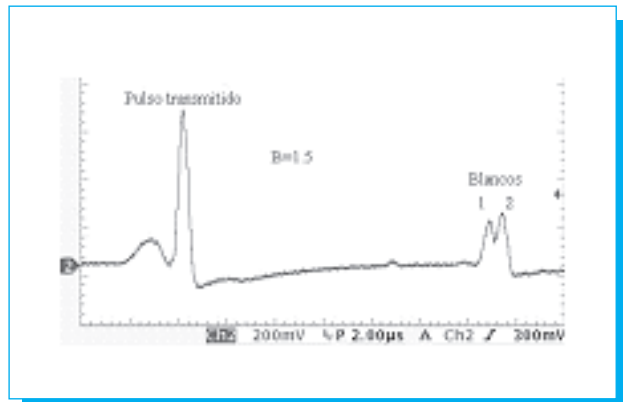


Fig. 16. Ventana de Kaiser  $\alpha = 1.5$ .

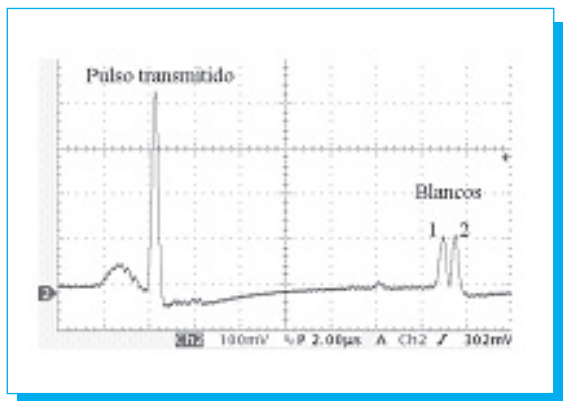


Fig. 13. Ventana de Chebyshev.

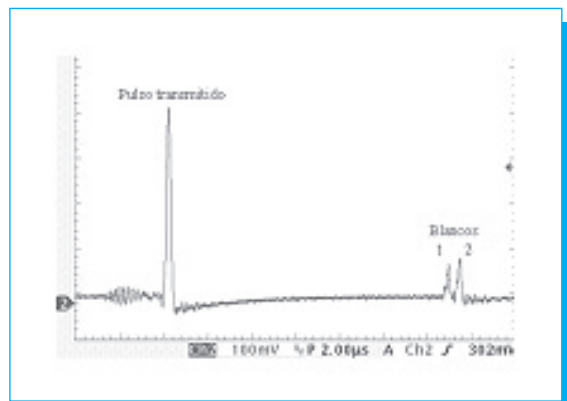


Fig. 15. Ventana de Hanning.

filtros FIR para realizar la compresión del pulso de radar de la parte real. El bloque *Con\_In1* sólo realiza el formato de los bits a ser enviados a los convertidores, los bloques *Conve1* y *Conve2* calculan el valor absoluto de la muestra en cuestión, son sumados, limitados en bits y amplificados por un factor de tres.

Para la implementación de este modelo se utilizó el siguiente software: Matlab, Simulink, System Generator, LSP [7,8,10].

Para ver el desempeño de nuestro modelo utilizamos un radar marítimo en techo y lo fijamos a un blanco con una ganancia de antena de 40 dB. Los resultados al utilizar el sistema completo en la transmisión y recepción del pulso de radar se muestran en las figuras 11 a 17. En dichas figuras aparecen los dos blancos, que son dos edificios localizados a una distancia aproximadamente de 2.5 km del radar.

Se probaron varias ventanas clásicas algunas de ellas como la ventana Kaiser, la cual tiene un factor  $\alpha$  que nos permite aumentar o disminuir el ancho de la ventana, aquí se muestra para  $\alpha = 1.5$  y  $\alpha = 3.5$ . Podemos observar de las figuras que al aumentar el valor de  $\alpha$  se puede detectar mejor los blancos vecinos.

Posteriormente se probó todo el modelo de generación del pulso y compresión del pulso de radar con un radar marítimo, la ganancia utilizada fue de 10 y un rango de 0.75. Estos resultados se muestran en las figuras 18 a 20.

De estas figuras observamos que la ventana Kaiser ofrece mejor resolución, pero en el primer círculo concéntrico se ve que es la peor ventana, esto se debe a que al hacer la compresión del pulso de radar se obtiene un pulso antes del

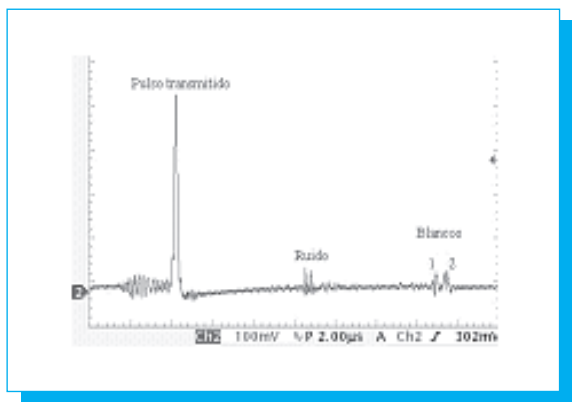


Fig. 14. Ventana de Hamming.

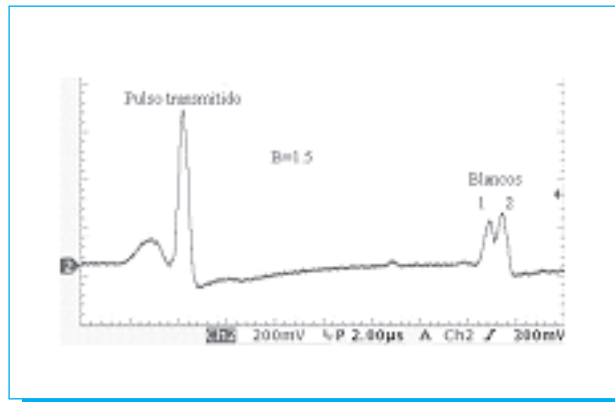


Fig. 16. Ventana de Kaiser  $\alpha = 1.5$ .



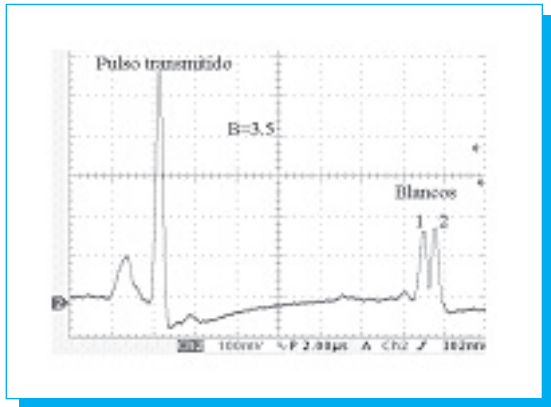


Fig. 17. Ventana de Kaiser  $\alpha = 3.5$ .

pulso transmitido y en el caso de la ventana Kaiser este lóbulo es de mayor amplitud que en las otras ventanas. Pero la ventana Kaiser nos ofrece una buena resolución en los puntos lejanos con mayor nitidez y la forma del blanco está muy bien definida.

Como trabajo futuro, se propone investigar un nuevo tipo de ventanas para poder mejorar la resolución y obtener una buena eliminación en los lóbulos laterales, cambiar la forma del pulso y ver si nos ofrece una mejor ventaja respecto al pulso «chirp».

## 5. Conclusiones

En el presente trabajo se mostró una de tantas aplicaciones que pueden tener los FPGA en el procesamiento digital de

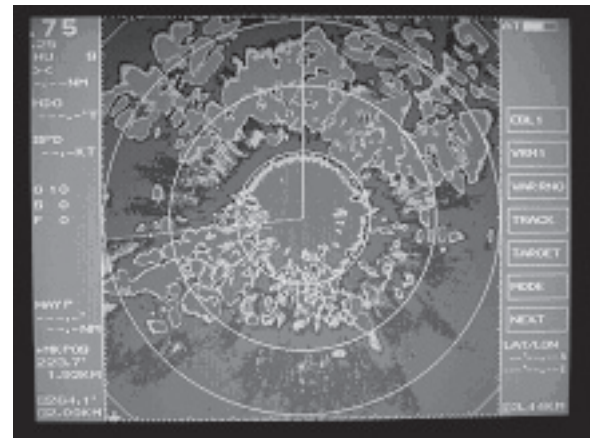


Fig. 19. Ventana de Kaiser  $\alpha = 3.5$ .

señales, utilizamos dos diferentes FPGA, uno para generar el pulso de radar y el otro para realizar la compresión del pulso de radar. La elección de estos FPGA se debió a los requerimientos que se necesitaban para cada una de las tareas.

También se muestran resultados del uso de las diferentes funciones de ventana clásicas para la reducción de los lóbulos laterales, observando que las ventanas de Blackman y Kaiser-Bessel nos ofrecían mejores resultados para dicho proceso.

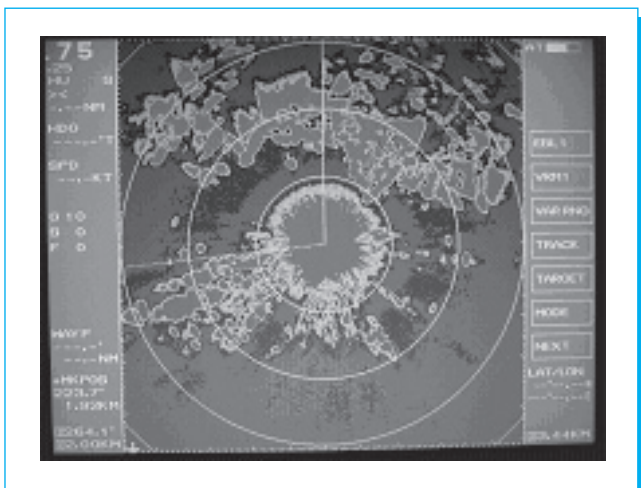


Fig. 18. Ventana Blackman.

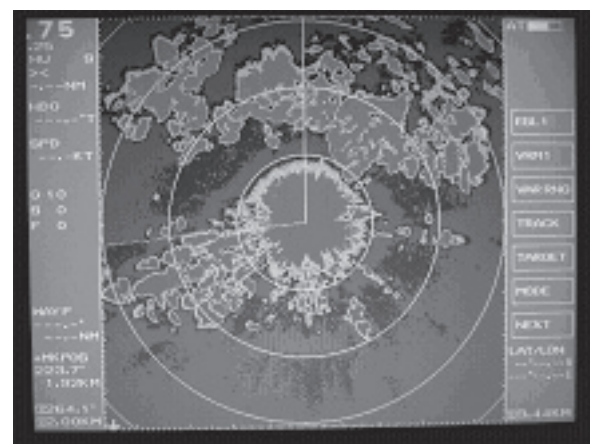


Fig. 20. Ventana de Chebyshev.

### Agradecimientos

Los autores desean reconocer y agradecer al JUSST Program de la Universidad de Eletro-Comunicaciones de Tokio, Japón y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (proyecto 42790) por el apoyo financiero a este trabajo.

### 6. Referencias

- [1] Soumekh, M., *Synthetic Aperture Radar Signal Processing*, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [2] Charles E. C. and Marvin B., *Radar Signals: An Introduction to Theory and Application*, Artech House, 1993.
- [3] Performance of Weighting Function in Pulse Compression Radar Conference UEC Tokyo, Japan. 2003.
- [4] F. J. Harris, «On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier Transform», *Proceedings of the IEEE*, Vol. 66, no. 1, January 2003
- [5] A. H. Nuttall, «Some Windows with Very Good Sidelobe Behavior», *IEEE Transactions on Acoustics, speech, and signals*, vol. ASSP-29, no. 1, February 1981.
- [6] E. Escamilla, V. Ponomaryov, Pulse compression radar processing based on atomic function windows, MSMW'04 Symposium proceedings, pp. 919-921, Kharkov, Ukraine. June 21-26, 2004
- [7] [www.matlab.com](http://www.matlab.com)
- [8] [www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)
- [9] [www.altera.com](http://www.altera.com)
- [10] [www.signal-master.com](http://www.signal-master.com)

SE EXTIENDE UNA CORDIAL INVITACIÓN A PARTICIPAR ACTIVAMENTE EN EL

# 4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y DE SISTEMAS

QUE SE CELEBRARÁ EN LA CIUDAD DE MÉXICO  
DEL 14 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 2005.

INFORMES E INSCRIPCIONES

[www.4ciies2005.ipn.mx](http://www.4ciies2005.ipn.mx)  
Miroslava Castelán Olguín  
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"  
Edificio 5 planta baja, Biblioteca SEPI,  
Col. Lindavista, México D.F., CP 07738.  
Tel. (55) 5729 6000 ext. 54591 y 54592  
[sepi\\_congreso@ipn.mx](mailto:sepi_congreso@ipn.mx)