



# **PLAN DE TRABAJO DE LA TESIS**

**Construcción de un modelo de ingeniería de un radar  
FMCW**



**Soler, José Francisco**

**Director: Ing. Adrián Rosa**

**Co-Director: Ing. Pablo Marino Belcaguy**

Departamento de Ingeniería en Electrónica  
Universidad de Buenos Aires

Tesis de grado de  
*Ingeniería en Electrónica*  
Julio 2017

# Índice

<b>1</b>	<b>Objeto y área de la tesis</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introducción. Antecedentes</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Desarrollo previsto de la tesis</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Resultados previstos</b>	<b>6</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>7</b>

# Capítulo 1

## Objeto y área de la tesis

*En esta sección se presenta un resumen de no más de 200 palabras con el objetivo de la Tesis a desarrollar, indicando explícitamente los aportes creativos y/o novedosos del trabajo. Área profesional de relevancia: señalar el área profesional en que se encuadra el tema y desarrollo de la Tesis dentro de las incumbencias del título de Ingeniero Electrónico de la UBA.*

El presente trabajo de tesis responde a la motivación de modelizar, construir, medir y validar un prototipo de ingeniería de un radar de frecuencia modulada de transmisión continua (FMCW) de modo tal que sirva como prueba de concepto para un desarrollo a futuro con instrumental más preciso para la medición de la matriz de dispersión de los cuerpos iluminados. El principal objetivo de las mediciones realizadas con dicho radar es el de determinar cuáles son las fuentes principales de incertidumbre a la hora de caracterizar el objeto iluminado.

Cabe destacar que el tema propuesto involucra poner en acción los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera Ingeniería Electrónica en lo que respecta a diseño, simulación y construcción y medición de circuitos electrónicos y de antenas. A su vez, resalta a generación, transmisión, recepción, registro, y procesamiento de señales electromagnéticas de variadas frecuencias.

# Capítulo 2

## Introducción. Antecedentes

*En esta sección se presenta una breve introducción al tema y al estado del arte. La extensión no debe superar las 1000 palabras. Se pueden introducir referencias bibliográficas (detalladas en la sección correspondiente).*

La firma espectral de un cuerpo es el tipo de respuesta que el mismo posee cuando es radiado. Cada tipo de superficie interactúa con la radiación de manera diferente, absorbiendo unas longitudes de onda muy concretas y reflejando otras diferentes en unas proporciones determinadas. Actualmente la misma se mide utilizando satélites activos, transmitiendo un tipo de señal conocida, o pasivos, donde el transmisor es u otro satélite o el sol.

Dado que al utilizar al sol como transmisor se desconoce la fase inicial de la señal transmitida, no se puede determinar el desfase que el cuerpo induce sobre la señal. Por lo tanto, se requiere la utilización de un radar activo, el cual, generalmente es un radar pulsado, lo cual implica que la transmisión y recepción se realizan en tiempos distintos.

Como la interacción entre la superficie y la señal varía entre polarizaciones verticales u horizontales, se requiere que el radar pueda transmitir y recibir en ambas polarizaciones para poder caracterizar completamente la respuesta del cuerpo iluminado. Si los datos se ordenan en todas las combinaciones posibles de polarizaciones en forma de una matriz, la misma se llama matriz de dispersión.

Para poder medir la matriz de retrodispersión es necesario tener caracterizado todos los subsistemas del radar, así como conocer la distancia entre el mismo y el cuerpo, para poder eliminar el efecto que el medio induce en la señal.

En este trabajo se construye un modelo de ingeniería de un radar para la determinación de la matriz de dispersión de los cuerpos iluminados. Como la distancia entre el radar y el cuerpo es chica, entre de 2 a 4 metros, la utilización de un radar pulsado no es viable dado que el tiempo de ida y vuelta de la señal resulta comparable con la longitud del pulso transmitido. Es por eso que se utiliza un esquema de frecuencia modulada de transmisión

---

continúa (radar FMCW), lo cual implica que la transmisión y recepción es simultánea. Este tipo de radares son utilizados para diversas aplicaciones como altímetros para medir la altura de un avión, como medidores de velocidad de vehículos y radares de proximidad para evitar choques o para imágenes SAR [1].

Este tipo de radares mide la diferencia de fase entre la señal transmitida y recibida para determinar la distancia y velocidad del cuerpo iluminado. Es por eso que es necesario algún tipo de modulación de la señal transmitida. Las modulaciones mayormente utilizadas son triangular, diente de sierra, cuadrada o escalonada, cada una posee diferentes propiedades [2].

Existen diversas publicaciones que explican el procesamiento de la señal de este tipo de radares con una modulación triangular [3], con modulación escalonada [4], con diente de sierra [5, 6].

La publicación que hace uso de un radar FMCW para medir distancias con precisión del mm haciendo un análisis de la potencia recibida y del desfase requerido que haya en la resolución de distancia para evitar ambigüedades en rango [7]. Otra publicación que hace un análisis de la complejidad del demodulador transmitiendo con una modulación de diente de sierra se puede encontrar en [5]. En [8] se presentan distintos mecanismos para mejorar la resolución en rango utilizando una modulación triangular. En [9] se expone el procesamiento de un radar FMCW para detección de blancos en movimiento.

En [10] se detalla sobre el diseño e implementación de un radar FMCW enfocándose en ruido de fase del generador, de alinealidades del modulador, su relación con el ancho de banda y con la resolución en rango. Otras publicaciones que detallan un diseño de radar son [11, 12].

## Capítulo 3

### Desarrollo previsto de la tesis

*En esta sección se presenta un resumen del desarrollo del trabajo*

El trabajo comienza con la búsqueda bibliográfica en publicaciones especializadas en los distintos ámbitos del tema de Tesis. Con dicha información se irá trabajando en paralelo entre el diseño de componentes de radio frecuencia para la transmisión y recepción, y el simulador del esquema completo de modulación, transmisión, recepción y procesamiento de la señal recibida para obtener el desfase del cuerpo simulado.

Se utilizará al simulador para desarrollar al procesador de señales de la señal recibida del radar real. El cual será utilizado para realizar las mediciones reales de un corner reflector a diferentes distancias, y de esta forma obtener su matriz de retrodispersión. Para ello se realizan las siguientes hipótesis de base:

- Todos los elementos del sistema son lineales e invariantes en el tiempo.
- El medio de propagación es homogéneo.
- Se asume al ruido con una distribución gaussiana.
- El comportamiento de los distintos componentes no se modifica al variar su temperatura.

Una vez construido el radar, se procederá a medir cada uno de sus subsistemas para evitar cualquier tipo de problemas entre sus interfaces así como para caracterizarlos en el rango de frecuencia de funcionamiento. Para ello se utilizarán un osciloscopio para medir la forma de onda de la señal del modulador, un analizador de redes vectorial para obtener los parámetros S de las antenas, divisores de potencias, atenuadores y conectores, un analizador de espectro para obtener la potencia generada por el generador, la transmitida por el radar, su ancho

de banda y el diagrama de radiación. Por último, con un generador y un osciloscopio se caracteriza la respuesta del filtro pasa bajos.

Los resultados de estas mediciones son utilizados en el receptor del radar para disminuir el error sistemático al realizar las mediciones de la matriz de retrodispersión del cuerpo iluminado. A la hora de medir el diagrama de radiación, los parámetros S de las antenas y las mediciones con el radar es importante que el radar esté dentro de una cámara anecoide o en un ambiente libre de otros cuerpos, en caso contrario, se estarán recibiendo ecos de cuerpos cercanos, deteriorando dichas mediciones.

Se programó al receptor del radar para suprimir el clutter del ambiente de una forma experimental, la misma consiste en realizar dos mediciones consecutivas, primero sin el cuerpo a ser iluminado y luego con el mismo. En base a todas las mediciones tanto del radar como de otros cuerpos, se definirá la eventual necesidad de efectuar experiencias adicionales o modificaciones al radar.

A continuación se presenta el cronograma de actividades propuesto.

# Capítulo 4

## Resultados previstos

A partir de las actividades propuestas en el plan se prevé:

1. Obtener un simulador del funcionamiento del radar completo en donde se puedan modificar propiedades tanto de transmisión y recepción del radar como de distancia y propiedades del cuerpo iluminado.
2. Armar el prototipo de ingeniería del radar FMCW.
3. Validar y caracterizar los distintos subsistemas del radar construido.
4. Identificar las principales fuentes de incertidumbres para la determinación experimental de la matriz de dispersión de un blanco con el radar construido.
5. Establecer criterios de mejoras para disminuir y mantener controladas dichas fuentes de incertidumbres.



# Bibliografía

- [1] Mark A. Richards, James A. Scheer, and William A. Holm. *Principles of Modern Radar*. 2010.
- [2] Christian Wolff. Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar (FM-CW Radar). 1997.
- [3] Wu Chang, Li Huan, and Li Yubai. A Practical FMCW Radar Signal Processing Method and Its System Implementation. *6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, pages 1195–1199, 2006.
- [4] C Fukushima and N Hamada. A Study on Stepped Frequency Radar by Using Intra-Pulse Phase Coded Modulation. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2008.
- [5] Wei Shen and Biyang Wen. EFFICIENT DEMODULATION METHOD FOR FMCW RADAR SYSTEM. 2:9–12, 2005.
- [6] A. V. Varavin, G. P. Ermak, A. S. Vasilev, and I. V. Popov. The signal digital processing in the millimeter band FMCW radar. *MSMW'07 Symposium Proceedings - The 6th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves and Workshop on Terahertz Technologies*, 2(Hs Cc):858–860, 2007.
- [7] Paul V. Brennan, Keith Nicholls, Lai Bun Lok, and Hugh Corr. Phase-sensitive FMCW radar system for high-precision Antarctic ice shelf profile monitoring. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 8(7):776–786, 2014.
- [8] Sinan Kurt. *RANGE RESOLUTION IMPROVEMENT OF FMCW RADARS*. PhD thesis, 2007.
- [9] Belinda Lipa and Donald Barrick. FMCW Signal Processing, 1990.

- 
- [10] Graham M Brooker. Understanding millimetre wave fmcw radars. *1st International Conference on Sensing Technology*, (2):152–157, 2005.
  - [11] Yee Kit Chan, C. Y. Ang, Voon Chet Koo, and C. S. Gan. Design and Development of A FMCW Ground Based Imaging Radar System. *PIERS Online*, 5(3):265–268, 2009.
  - [12] Inview Wavemaker, Uavs About, Contact Uav, List Mod, Grand Challenge, Milestones Engines, U A V Design, U A V Applications, Pipeline Monitoring, Features Thermal, Imaging Sar, Avoid Ground Control, Synthetic Aperture Radar, While Sar, and By William Matthews. Miniature Radar Developed for Lightweight Unmanned Aircraft. (March 2008), 2015.