

# Capítulo V

## Resultados y conclusiones

Nadav Levanon, autor del libro “Radar Principles” dijo: “el estudio de los radares no solo una aplicación práctica, pero también una disciplina científica madura con fundamentos teóricos considerables que presenta una desafío intelectual y educacional”. Estas palabras no podrían representar mejor el área de estudio de propagación de ondas electromagnéticas en los radares. Definitivamente el estudio de propagación de ondas es un desafío. Este documento centra su atención en la propagación de las ondas electromagnéticas a través del espacio libre y de atenuaciones causadas por diferentes tipos de follaje. Como resultado de esta investigación se encontraron diferentes dificultades al realizar la medición de potencia en las señales electromagnéticas. En primer lugar existen las dificultades físicas de la implementación de las mediciones. Las antenas de radar pesan 65 kilos cada una. Para poder utilizarlas se utilizaron tripies de 1.7 metros de altura. La simple colocación de las antenas era una tarea difícil considerando que solo se contaba con dos personas para cargarlas, moverlas a su posición de medición e instalarlas. La cantidad de elementos que se necesitó para hacer las mediciones eran equipos de alta frecuencia, como el oscilador y analizador de espectros los cuales también se tenían que trasladar a la zona de medición. Este equipo es propiedad del INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica), y no se podía transportar el equipo fuera de las instalaciones del instituto. Eso era una gran limitante ya que las pruebas solo se podían hacer en ese lugar y un horario que concordara con el asesor del INAOE en esta tesis.

El tiempo también fue una variable de importancia. En general los modelos de propagación se hacen realizando miles de pruebas en el lugar de interés, a diferentes

horas del día y noche y en diferentes estaciones del año. Esta variedad y cantidad en las mediciones asegura que el modelo funcionará en el ambiente deseado. En el caso de esta tesis el número de mediciones no llegaron a los cientos. Para realizar este tipo de mediciones, en general se utilizan equipos portátiles para tener mayor movilidad con los cuales no se contaban para la realización de la investigación.

Al momento de usar las antenas del radar para las pruebas de propagación es importante resaltar que la potencia a las cuales trabajan estas normalmente es de 1500 watts mientras que las pruebas realizadas se hicieron con una potencia menor a los 100 miliwatts. Como resultado las distancias a las cuales se puede medir la potencia son bastante reducidas, en este caso de metros. La prueba con las antenas de radar demostró que la curva de pérdidas de potencia era muy similar al modelo de friis en el espacio libre. Nos se utilizó el modelo de dos rayos para hacer la comparación con las pruebas medidas por ser una distancia muy corta y como se presentó antes existe una distancia mínima para que este modelo funcione. Sin embargo, el hecho de que sin obstáculos el comportamiento de la energía fuera parecido al modelo de friis es muy interesante.

Otro de los resultados con la medición de las antenas de radar fue que los niveles de potencia medidos bajaban cuando se bajaba la frecuencia de propagación. Esto no tenía razón de ser al comparar con el modelo teórico de friis ya que las pérdidas en espacio libre a menores frecuencias son más bajas. De esta forma se encontró que la ganancia de las antenas no es constante durante toda su banda de operación, aunque la banda de operación del radar es la banda X, transmitir con una frecuencia central menor o mayor a 9.1Ghz resultaba en una pérdida en la ganancia de la antena. En otras palabras la ganancia de la antena de radar no es constante a través de esta banda. Esto complica las mediciones ya que para saber las pérdidas por propagación es de suma importancia conocer la potencia efectiva radiada la cual esta relacionada directamente con la

ganancia de las antenas. De esta forma los cálculos para frecuencias diferentes a 9.1 Ghz no son confiables.

Al utilizar estas antenas de radar uno de los retos más difíciles de solucionar es la alineación de las antenas. En primer lugar se había utilizado un láser en la parte central de las antenas para alinearlas. Pero después de algunas mediciones se tuvo un pico de potencia al aumentar la distancia, esto no coincidía de ninguna forma con el modelo de propagación en el espacio libre de Friis. Tratando de resolver el problema se encontró que sí movíamos el ángulo de la antena de radar, aun teniendo el láser en el centro, había variaciones en la potencia recibida de hasta 20dBm lo cual es mucho ya que la diferencia en potencia de estar a un metro distancia contra 20 metros es casi igual a 20dBm.

Para resolver el problema se utilizaron después 2 láseres en cada uno de los extremos de la antena de radar, de esta forma se pretendía alinear punta con punta la antena para asegurar la alineación. Sin embargo, las características de los soportes de las antenas dificultaban mucho obtener una posición en la cual los extremos estuvieran perfectamente alineados haciéndolo una tarea extremadamente difícil. Para resolver este problema se sugiere utilizar soportes que puedan tener movimientos en 3 ejes para que se pueda apuntar a cualquier punto sin mover el soporte. Esta es la respuesta más clara pero el construir una base con estas características llevaría mucho tiempo por lo cual no se realizó. Además se dejó de realizar pruebas con las antenas de radar al descubrir que la ganancia no era constante en su banda de operación.

Otro intento por alinear las antenas de radar fue el de utilizar a dos personas que sostuvieran la antena para tomar las mediciones. Al utilizar a dos personas para cargar las antenas se volvía aparentemente sencillo alinear las antenas. Pero al observar el analizador de espectros se dio a conocer que las pequeñas variaciones en el pulso de las

personas que cargaban las antenas provocaban diferencias de potencias de 10 dBm. Es decir las antenas son tan directivas que diferencias muy pequeñas en el ángulo de línea de vista contribuía a variaciones muy grandes en la potencia recibida. De esta se hicieron las mediciones utilizando una antena bipolar para la recepción. Al medir la potencia recibida y utilizar una antena bipolar se encontró que estas antenas son poco sensibles en ángulos paralelos al suelo. Esto es de gran ayuda por que de esta forma fue que se encontró que la ganancia de la antena transmisora no era constante para las frecuencias de la banda X.

Utilizar las antenas de radar para un análisis de propagación de señal EM resultó una tarea difícil, llevaba mucho tiempo y con resultados que no eran confiables. Por esta razón los resultados se basan solo con las mediciones de las antenas bipolares para la transmisión y la recepción. Las antenas utilizadas no fueron diseñadas para operar con una frecuencia central de 9.1Ghz. Su frecuencia de operación es de 1 Ghz, lo que quiere decir que la ganancia de la antena a una frecuencia de 1Ghz es de 2.15 dBi. Al utilizar estas antenas a una frecuencia de 9.1 Ghz, la ganancia de la antena baja haciendo que la potencia efectiva radiada fuera menor que al utilizar una antena de radar de 33 dB de ganancia a 9.1 Ghz como la del radar. Como resultado la distancia para recibir potencia de una antena a otra estaba sumamente limitada.

Se utilizan las antenas bipolares para medir las pérdidas por propagación sin obstáculos. Haciendo las pruebas sin obstáculos obtuvimos como resultado que la curva de las pérdidas a través de la distancia era sumamente similar a la curva del modelo teórico de Friis con una diferencia de 3 dBm en la potencia de recepción cuando se trabaja a 9.1 Ghz.

Se utilizan estas para medir las pérdidas por propagación a través de obstáculos. Estos obstáculos están definidos como ambientes “follaje denso”, “follaje muy denso” y

“árboles sin follaje”. Al medir la pérdidas por propagación cuando se trasmite a follaje denso obtuvimos como resultado que las pérdidas a través de distancias 2 y 4 metros era mucho mayor que la pérdidas en espacio libre. En promedio, las pérdidas a través de follaje denso por cada metro son de 5.75 dB. Esto quiere decir que por cada metro, la potencia de la señal baja un 75 %. Esto resultados indican que para follaje denso la potencia a una frecuencia de 9.1Ghz se reduce a 25% por cada metro de follaje que atraviesa. Es decir a 2 metros la potencia se abrá reducido al 6%.

Las antenas bipolares también se utilizaron para medir el ambiente que se denomino como “follaje muy denso”. Este ambiente se caracteriza por tener hojas muy de aproximadamente seis centímetros cuadrados. Las pérdidas por propagación a través de 1 metro de este ambiente resultaron en pérdidas de 23 dB por metro. Prácticamente la señal completa se pierde cuando se entra en este tipo de ambientes. Otras mediciones en follaje muy denso se realizaron dando como resultado una pérdida de 16.8 dB por metro lo cual sigue siendo mucho.

Cuando se realizaron pruebas a través de troncos de árboles las pérdidas por propagación también fueron muy altas. Prácticamente la señal no puede atravesar este tipo de obstáculos y las pérdidas por propagación eran de 7.64 dB por metro que recorre la onda.

Para obtener más información de los medios es necesario hacer las pruebas en una banda de frecuencias muy amplia. El reto que involucra esto es el cálculo de las ganancias para cada una de las frecuencias. Hay que recordar que se tiene una ganancia diferente para cada frecuencia y el cálculo de esta ganancia se vuelve más complicado. Desafortunadamente no se pudieron realizar pruebas en un espectro más amplio de frecuencias por la falta de tiempo.

El trabajo a futuro para este proyecto es el de recopilar más información estadística sobre la propagación de las ondas y utilizar los resultados para una aplicación de un radar marítimo. Para hacer esto se necesita que cada medición tome menos tiempo. Para esto es recomendable utilizar equipo de medición de alta frecuencia portátil o una fuente de alimentación portátil, como la batería de un coche encendido. Es recomendable que las antenas sean pequeñas para su fácil transporte o que las bases tengan alta movilidad además de un equipo técnico para el transporte y la instalación del equipo. Una forma de tener un modelo más adaptado a la realidad de la situación sería utilizar el radar en plena operación, la potencia a la cual opera normalmente es decir 1500 Watts e implementar en software una captura de datos de la potencia recibida variando la frecuencia a una velocidad alta, sin necesidad de cambiar la frecuencia manualmente. Esto requiere de un apoyo mucho más grande ya que es necesario utilizar las antenas a en un barco y se necesita modificar muchas partes de toda la estructura del radar.