

Errores en el procesamiento del dato del radar MRL-5M debido a los regímenes de adquisición, y propuestas de metodologías optimizadas acorde con las situaciones meteorológicas típicas

Autores: Ing. Albio Barreiras García.

Ing. Wilfredo Pozas Pérez.

Laboratorio de Desarrollo Técnico.

Centro Meteorológico de Camaguey.

INTRODUCCIÓN

Los radares meteorológicos tienen un alto nivel de complejidad y el análisis de la información que brindan necesariamente incluye un nivel de compromiso a la hora de hacer la adquisición y el procesamiento del dato. Durante muchos años, los científicos y técnicos han estado buscando la verdad absoluta sobre el mismo sin llegar a resultados relevantes.

Con la aparición de digitalizadores y procesadores de señales más rápidos, conjuntamente con computadoras más potentes se hizo posible la solución de muchos problemas. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión que la verdad absoluta sobre el dato de radar no existe. En dependencia de la aplicación, es posible adquirir distintos tipos de datos, teniendo en cuenta los compromisos entre la resolución espacial y temporal, y la precisión en el tiempo de adquisición. Además, aplicando diferentes conceptos de interpretación para la misma muestra de datos en el momento del procesamiento, pueden obtenerse diferentes resultados (Zawadzki et al., 1999). Algunos datos serán cercanos a una parte de la realidad, sin embargo estos datos adquiridos de otra forma serán cercanos a otra parte de la misma realidad.

Actualmente la problemática se centra en adquirir el dato de manera tal que se preserve lo más puro posible. Por supuesto como propone Fabry (1997), la mejor manera de adquirir el dato es con la mayor resolución posible y posteriormente procesar para las

distintas aplicaciones. Pero casi siempre en estos casos se hacen algunos compromisos entre el número de exploraciones en elevación y el tiempo total de una observación, y entre el tiempo total de una observación y la exactitud (ambos dependen de la velocidad de rotación de la antena).

La modernización del radar meteorológico MRL-5 de Camagüey (Pérez et al., 1999) cambió los conceptos establecidos del procesamiento del dato de radar meteorológico en Cuba. Estos se basaban en el formato de celda rígido de 1 Km. en distancia por 1.5° en ángulo (el ancho del haz). En este momento existe la posibilidad de realizar observaciones en distintos formatos, según la posterior utilización de la información a obtener, y como consecuencia se impone la selección de formatos eficientes que optimicen la información obtenida en aras de aumentar su calidad, valor y posibilidades de uso por el cliente.

OBJETIVOS

La adquisición del dato por parte del radar posee un formato específico para cada tipo de observación según la información que se quiera extraer de la atmósfera. Los formatos están dados por la variación de parámetros que al fin y al cabo deciden las características del dato obtenido.

Estos parámetros son: canal, período de repetición de los pulsos (se refiere al número de veces en un segundo que es iluminado un punto del espacio), velocidad de rotación de la antena, tamaño radial y tangencial de la celda y ángulos de elevación.

La variación de estos parámetros ya sea en incremento o decremento varía la calidad del dato obtenido. Luego, se impone el cálculo de un factor de comparación que cuantifique de alguna medida este hecho, y a partir del cual se pueda hacer un juicio sobre cuán cerca de la realidad se encuentra el procesamiento realizado.

Con este trabajo nos proponemos analizar desde el punto de vista teórico como influyen todos estos parámetros variables del radar en la representación de la información atmosférica.

Teniendo en cuenta los resultados teóricos y la experiencia acumulada por algunos países altamente desarrollados en las temáticas de radares atmosféricos, se definirán los formatos óptimos de exploración para el radar de Camagüey.

Se compararán, mediante simulación en el laboratorio y en la práctica real; ambos tipos de regímenes de exploración para llegar a conclusiones sobre el futuro modo de explotación del radar de Camagüey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el factor de comparación que cuantifique el nivel de calidad de las observaciones, en dependencia de los parámetros del radar, se han realizado profundos estudios estadísticos. Bendat y Piersol, (1968) plantean que la varianza del estimado puede ser usada como medida de la precisión del procesador; Nathanson, (1969) propone como medida de la precisión el Número equivalente de muestras independientes. Walker et al. (1980) recomiendan el uso de ambas. Sin embargo los valores anteriores son evaluaciones puntuales. En la Estadística Matemática se acostumbra a emplear, además de las estimaciones puntuales, la estimación en un intervalo confidencial (Swerling, 1964; Cooper y McGillem, 1989), dentro del cual el estimado se aproxima al valor real con una probabilidad dada, generalmente cercana a la unidad. Rodríguez, (1998) propone como medida de la precisión de los procesadores (δ) la mitad del intervalo confidencial para una probabilidad de 0.95, coincidiendo con Hudlow (1985).

En nuestro caso se utiliza la Precisión en la estimación de la potencia promedio (δ) como medida de la calidad de la observación y para una mejor comprensión del análisis realizado se debe agregar que dicho parámetro representa el error con el cual se realiza la estimación de la potencia promedio por lo cual es deseable minimizarlo con vistas a que la información recibida sea más representativa del fenómeno físico.

El análisis práctico realizado se basa fundamentalmente en la simulación de datos espacialmente conocidos. Estos datos son adquiridos con los formatos de adquisición actuales y con los propuestos después del análisis teórico y posteriormente

comparados mediante las distintas herramientas disponibles en el Software "VestaProceso".

El conjunto de observaciones reales, que servirá de muestra para la comparación entre los distintos formatos escogidos, fue adquirido por el software VestaAdquisición. Este es el mismo Software que se usa actualmente para realizar la adquisición de las observaciones en el radar de Camagüey.

RESULTADOS

El radar es un dispositivo de eco sondeo que emite energía electromagnética en forma de radioimpulsos de superalta frecuencia, gran potencia y corta duración que se suceden con un período estable de repetición y son radiados por una antena direccional en un haz que realiza la exploración de la atmósfera.

Debido a que el haz no es infinitamente estrecho, sino que posee un ancho efectivo, el radar en cada pulso emitido explora un volumen atmosférico de forma semicónica (celda), que posee un tamaño tangencial usualmente expresado en grados de azimut y un tamaño radial que se expresa en metros de distancia inclinada.

Cada celda aporta un valor único de posición y reflectividad. Para determinar la posición se utiliza un sistema de coordenadas polares, o sea, cada celda se define en el espacio por su azimut, elevación y distancia inclinada tomando como referencia el radar.

La antena del radar meteorológico gira a una velocidad que oscila entre 1 y 6 revoluciones por minuto, el tamaño tangencial de la celda en grados usualmente se toma de 1.4° , esto a 4rpm representa alrededor de 0.6 segundos explorando una celda lo cual teniendo en cuenta el intervalo de repetición de los pulsos representa 12 rayos (exploraciones en distancia) que se realizan sobre la misma celda, luego el valor de reflectividad de la celda corresponde a la promediación de cada una de estas mediciones.

Teniendo en cuenta estos principios básicos del funcionamiento del radar, y tomando como factor de comparación de la medida de la calidad de la observación a la Precisión

de la Estimación de la Potencia se hará un análisis minucioso de la variación de cada uno de los parámetros básicos del radar MRL-5M de Camagüey.

Análisis teórico

Para realizar un análisis del comportamiento de la Precisión de la Estimación de la Potencia Promedio en el radar MRL-5M con respecto los parámetros básicos antes mencionados se construyeron gráficas a partir de un análisis profundo para cada uno de los mismos. Esta serie de cálculos es bastante extensa; a continuación se pueden apreciar algunos de los resultados más relevantes.

Precisión del dato para cada uno de los canales (Banda X y Banda S) y para el tamaño radial de la celda.

La gráfica 1 muestra la precisión del dato para cada uno de los canales con Pulso Largo, Ancho del espectro de velocidades $\sigma_v = 1$ m/s, distancia de muestreo 300 m y Velocidad angular $n = 2$ rpm. Aquí se puede apreciar como la precisión de la estimación de la potencia promedio empeora con el aumento de la longitud de onda (banda S, longitud de onda 10 cm, banda X, longitud de onda 3 cm). Por esta razón sería aconsejable usar el canal de 3 cm (banda X) para un régimen de exploración en aire claro, con el objetivo de detectar los ecos en formación debido a que en estas condiciones la sensibilidad del radar es mayor. No así para la exploración de medición de precipitaciones debido a la gran atenuación que sufren en estas condiciones las longitudes de ondas menores o iguales que 3 cm.

También se puede apreciar claramente como el aumento de la distancia radial de la celda contribuye al mejoramiento de la precisión de la estimación de la potencia promedio concluyendo que sería deseable tener celdas radialmente lo más grande posible aunque aquí existe el nivel de compromiso que al aumentar el tamaño de la celda se empeora la resolución.

Precisión del dato para diferentes períodos de repetición de los pulsos:

La gráfica 2 muestra la precisión del dato para diferentes períodos de repetición de los pulsos con ancho del espectro de velocidades $\sigma_v = 1$ m/s, distancia de muestreo 300 m, tamaño de celda de $1200\text{m} \times 1.4^\circ$ y canal I ($\lambda=3.13\text{cm}$). Como puede observarse la precisión (δ) empeora con el aumento del período de repetición, la curva de período 2 ms está siempre por debajo de la de 4 ms. Es deseable por tanto usar períodos de repetición menores, pero al disminuir dicho período aumenta la potencia promedio de la señal transmitida. Para contrarrestar este efecto en el MRL-5 y en los demás radares se reduce la duración del pulso, esto trae consigo la reducción de la distancia de trabajo. Por lo antes expuesto podemos concluir que para distancias de trabajo menores que un umbral y con el objetivo de mejorar la precisión de la estimación de la potencia es aconsejable el régimen de pulso corto (período de repetición 2 ms y ancho del pulso 1 μs). Con este régimen de trabajo se puede lograr un alcance de alrededor de 200km en distancia. En la gráfica se usaron distintas velocidades angulares de la antena, la relación entre estas y la precisión (δ) será tratada más adelante.

Precisión del dato para diferentes distancias de muestreo

La gráfica 3 muestra la precisión del dato para diferentes distancias de muestreo con pulso largo, ancho del espectro de velocidades $\sigma_v = 1$ m/s, velocidad angular $n = 2$ rpm y canal II (banda S). Un pulso de radiofrecuencia de 2 μs tiene una duración en el espacio de 300m. El muestreo de una señal de este tipo puede efectuarse, en principio, a cualquier distancia. Como se observa en la gráfica de precisión contra distancia de muestreo es mayor la precisión para distancias de muestreo cada vez menores. Aunque la mejoría deja de ser considerable por debajo de la distancia crítica de 300m. La limitante en este sentido está en la capacidad de cómputo y almacenamiento de la información debido al aumento de la frecuencia de muestreo. Para concluir, entonces lo mejor resulta siempre muestrear a distancias tan pequeñas como lo permita la capacidad de cómputo y luego formar celdas secundarias que son mayores en distancia. El tamaño de estas celdas secundarias está regido en general por la aplicación meteorológica en particular. Por supuesto que la tendencia resulta la misma

que se observó en la primera gráfica, mientras mayor se escoja la celda secundaria mejor resultará la precisión.

Precisión del dato para diferentes anchos de Haz:

En el caso del MRL-5M existen dos anchos de haz posibles para el canal de banda X (0.45° y 1.5°) y un solo ancho de haz posible para el canal de banda S (1.5°). La gráfica 4 muestra la precisión del dato para los dos anchos posibles de haz, pulso largo, ancho del espectro de velocidades $\sigma_v = 1$ m/s, distancia de muestreo 300 m, velocidad angular $n = 2$ rpm y canal I (banda X). El comportamiento del canal de banda S es similar al comportamiento del canal de banda X con ancho de haz de 1.5° .

Aquí se aprecia como la variación del ancho de haz, no introduce ninguna mejoría en cuanto a la precisión de la estimación de la potencia. Además puede verse que lógicamente esta precisión sí aumenta a medida que aumenta el tamaño tangencial de la celda. La explicación de este comportamiento es obviamente el hecho de que mientras mayor sea la celda tangencial se promedian mayor cantidad de muestras angulares. Aquí se tropieza nuevamente con la necesidad de tomar una decisión con respecto al tamaño de la celda tangencial. Si se escoge una distancia tangencial menor que el ancho de haz, se tendrán nuevamente muchas muestras poco correlacionadas que mejorarían la precisión; pero precisarían de gran capacidad de cómputo. Si se escoge una distancia tangencial mayor que el ancho de haz entonces se pierde información. De tomarse una distancia tangencial igual que el ancho del haz, se logra una precisión buena aunque por supuesto peor que la del primer caso. Concluyendo, lo mejor resulta escoger la distancia tangencial tan pequeña como lo permita la capacidad de cómputo y luego crear celdas tangenciales secundarias que no deben ser mayores que el ancho del haz. A pesar de lo antes expuesto en general lo que se hace en la práctica es escoger simplemente una distancia tangencial igual que el ancho del haz.

Precisión del dato para distintas velocidades angulares (velocidad de rotación de la antena):

La gráfica 5 muestra la precisión del dato para distintas velocidades angulares con pulso largo, ancho del espectro de velocidades $\sigma_v = 1$ m/s, canal II (banda S) y formato 1.2 Km. x 1.4°. Como se observa mientras menor sea la velocidad de rotación de la antena mejor será la precisión. Pero es obvio que rotar la antena más despacio aumenta el tiempo de duración de una exploración completa. Por tanto se debe llegar a un compromiso que involucre la velocidad de rotación y la cantidad de ángulos de elevación, en dependencia del régimen de exploración que se desee. Esto está dado porque para lograr un seguimiento adecuado de zonas de precipitación debe disponerse de nueva información cada no más de 7 minutos. Por otra parte también resulta imprescindible para este tipo de fenómenos usar velocidades de rotación por debajo de 4 rpm. Solo estas velocidades son las que garantizan una precisión lo suficientemente buena, como la que requieren los productos hidrológicos que brindan información cuantitativa acerca de la intensidad de precipitaciones.

Correlación entre muestras en función del tiempo

Una de los parámetros más importantes en la adquisición de la información en la meteorología es la correlación entre muestras (como una función del tiempo o el espacio) ya que esta provee una medida de cuan estadísticamente útil es la información obtenida.

Valores de correlación cercanos a cero implican grandes cambios de un muestreo a otro y esto se traduce en más información útil. Por ejemplo, para estimar la reducción en la varianza con estadística Gaussiana un coeficiente de correlación entre muestras de 0.15 indica que alrededor del 25% de la información obtenida es redundante, 0.5 indica 50% de redundancia y 0.9 equivale a 80% de información sin mucha utilidad.

Para entender este fenómeno se puede decir que el radar, en aras de obtener una información más precisa, ilumina varias veces el mismo punto en el espacio y obtiene un valor cada vez, el valor final de reflectividad se corresponde a la premediación del conjunto, pero si todas las veces se obtuvo el mismo valor entonces no hace falta

promediar y todas las mediciones (excepto una) son redundantes pues no aportan nada al promedio; en este caso la correlación es cercana a la unidad. Por el contrario, si las mediciones oscilan sobre un valor, entonces el coeficiente de correlación disminuye y cada medición aporta información sustancial al resultado final. Las mediciones que aportan al promedio se denominan estadísticamente independientes y su número (Nemi) se convierte en un factor para estimar la calidad del dato.

La correlación es función del tiempo de la adquisición (tiempo total en que se realiza la observación), porque lógicamente las partículas atmosféricas se encuentran en movimiento. Debido a esto un mayor tiempo en la adquisición garantiza la disminución del coeficiente de correlación.

Ángulos de elevación

Los ángulos de elevación definen el volumen a explorar en altura, es obvio que para tener una mejor visión de la atmósfera necesitamos la mayor cantidad de ángulos de elevación posible.

En cuanto a este aspecto se puede decir que su análisis corresponde a un criterio práctico en el cual se puede evaluar el desgaste que sufre la antena al realizar demasiadas exploraciones contra el volumen de información que se obtiene y el tiempo empleado en sondear la atmósfera.

Análisis práctico

Hasta este momento y luego del análisis teórico realizado se ha llegado a la conclusión de que las celdas en la exploración deben ser lo más grandes posibles, que la antena debe girar a la velocidad mínima y que la observación debe de ser preferiblemente extensa en tiempo.

Claro que esto no siempre se logra y se impone un análisis práctico que ponga en la balanza las condiciones reales de trabajo de radar, así como sus características mecánicas para llegar a un consenso que garantice la máxima eficiencia en la explotación con el mínimo de afectaciones.

Para llevar a cabo este trabajo se diseñó un conjunto de observaciones simuladas; con el fin de investigar el error introducido por la adquisición y procesamiento de los datos del radar MRL-5M de Camaguey (con el paquete de programas Vesta), debido a los distintos regímenes de exploración.

El proceso consistió en simular por software una figura de dimensiones conocidas y factor de reflectividad constante, y obtener la observación (archivo) que sobre el mismo realizaría el Vesta | Captura. La figura seleccionada fue un toroide con centro en el radar y las dimensiones siguientes: Diámetro interior: 5 Km., diámetro exterior 300 Km., altura inferior: 0 Km., altura superior: 10 Km. (Figura 1)

Observación Horaria.

Actualmente en el radar de Camagüey se realizan periódicamente dos tipos de observaciones, la observación Horaria cuyo fin es la detección temprana de ecos en formación y la observación Volumétrica que está dedicada a la estimación cuantitativa de precipitaciones (cada una de ellas cuenta con dos formatos).

En la figura 2 se observa un corte vertical de uno de los formatos establecidos para la observación Horaria del radar de Camagüey. Esta observación es usada actualmente para condiciones de aire claro, con el objetivo de detectar los ecos meteorológicos desde los estadios más tempranos de su formación. Por tanto es deseable minimizar el valor de la precisión para aumentar el poder de detección del radar.

La antena para explorar la atmósfera se mueve con una velocidad angular de 4 rpm por lo que toma alrededor de 4 minutos realizar la exploración completa (13 ángulos de elevación), en este punto debemos señalar que se puede minimizar la precisión disminuyendo la velocidad angular, por lo que resulta altamente recomendable encontrar un compromiso adecuado entre la cantidad de exploraciones verticales y el tiempo máximo de la observación, además, aumentar el tiempo de la observación contribuye a disminuir la correlación entre muestras y como consecuencia aumenta el volumen de información útil (no redundante).

En la figura 3 se muestra un corte del Toroide construido a partir del régimen de exploración de la observación VCP 31 del NEXRAD la cual está diseñada con los mismos fines que la observación Horaria del radar de Camagüey. Esta observación tiene sólo 5 ángulos. La exploración completa se realiza en 10 minutos, por lo que la velocidad rotacional de la antena es de alrededor de 0.5 rpm Este régimen de exploración se diseñó con el propósito de detectar los ecos convectivos en formación, detectar discontinuidades en las masas de aire, monitorear el comienzo de las precipitaciones y obtener perfiles de viento para sondeos suplementarios.

Atendiendo a los problemas teóricos encontrados en el diseño de la observación horaria de Camagüey y teniendo en cuenta las dimensiones espacio temporales de los ecos que se desean observar y a partir del análisis de las condiciones prácticas del radar, se propone la observación AireClaroCmw para explorar la atmósfera en condiciones de aire claro.

Las características de la observación son: Banda S, pulso largo; 188 celdas de 2400m x 1.4° para 451 Km.; 6 ángulos de elevación y velocidad angular 1 rpm para un tiempo total de exploración de alrededor de 7 minutos.

Aunque es preferible realizar esta observación en banda X, se escogió banda S por razones operativas, debido a los graves problemas que presenta en estos momentos el canal de 3 cm del radar camagüeyano y de que este canal está inoperativo en los restantes radares de nuestro país.

En la figura 4 se muestra un corte vertical del mapa de máximos de potencias generado con el toroide de prueba y el régimen de exploración propuesto. Para justificar la selección del formato escogido, específicamente los ángulos de elevación, se diseñaron toroides a diferentes alturas y se compararon con la observación horaria que se emplea actualmente. Se construyeron mapas de máximos de potencias y sus cortes verticales con varios toroides a diferentes alturas.

Los radioecos de baja altura en ambos formatos de exploración aportan casi la misma cantidad de información. Sólo después de los 150 Km. se aprecia en el corte de la

observación AireClaroCmw la ausencia de información por debajo de cierta altura. Esto se debe a que en AireClaroCmw no se usaron ángulos por debajo de 0.5° , debido a que para la zona cercana al radar (alrededor de 40 Km. de radio para Camagüey) estos ángulos de exploración están muy contaminados con ecos fijos producto de los lóbulos laterales de la antena y con el objetivo de disminuir la emisión de radiofrecuencias al medio.

La ausencia de información por debajo de cierto radio con respecto al radar es producido por el cono de silencio de cada formato de exploración (por encima de 7.0° para AireClaroCmw y de 13.5° para Horaria). Para el diseño del formato AireClaroCmw se tuvo en cuenta que esta pérdida de información cercana al radar y por encima de los 7 Km. de altura es despreciable si lo que se pretende es detectar la formación de los ecos meteorológicos en formación. En otras palabras este formato de exploración para condiciones de aire claro tiene como ventajas fundamentales, que mejora el nivel de detección y reduce el desgaste mecánico que sufre la antena al disminuir la cantidad de exploraciones y la velocidad angular de la antena. Además se disminuye el tamaño del archivo de la observación.

Después de la comparación entre los formatos actual y propuesto muestreando el mismo fenómeno meteorológico se determinó que no existe una diferencia apreciable en el nivel de información obtenido, por el contrario se logra una reducción drástica del tamaño de las observaciones y una cierta mejoría en el nivel de detección; además un aspecto importante a considerar es el desgaste mecánico que venía sufriendo la antena, que se reduce enormemente.

Observación volumétrica

Cuando se presentan ecos significativos, mayores que cierto umbral de reflectividad previamente escogido, el operador debe cambiar el régimen de exploración a medición (estimación) de precipitaciones (observación volumétrica). Esta observación tiene 26 ángulos de elevación y fue diseñada con dos formatos, uno con 300 celdas de 600m x 1.4° para un alcance de 180 Km. y otro con 375 celdas de 1200m x 1.4° para 450 Km.

El primer formato es el fundamental y se diseñó para dar el servicio de acumulado de lluvia por áreas a los distintos usuarios.

Similarmente a la observación horaria se pueden apreciar el mismo tipo de problemas, la celda de 600 aunque garantiza una buena resolución se puede agrandar un poco (1200 m) para minimizar la precisión y aumentar la calidad del dato ya que este nuevo tamaño brinda una resolución aceptable en concordancia con las dimensiones espaciales de los ecos meteorológicos.

Las características de esta observación exigen que la misma se realice lo más rápido posible, pues es objetivo de la misma la estimación cuantitativa de las lluvias caídas. Por lo tanto sería conveniente eliminar algunos ángulos de elevación para disminuir el tiempo total de la observación, esto teniendo en cuenta que muchos de ellos se superponen debido al ancho del haz y no aportan mucha información útil adicional.

El segundo formato se hace también innecesario por no aportar datos adicionales de gran valor, con su eliminación se garantiza una considerable disminución del tamaño en disco del archivo final.

El formato de exploración "VCP 11" del NEXRAD tiene 14 ángulos de elevación y fue diseñado para detectar y dar seguimiento a tormentas, alertar la formación de mesociclones y otros fenómenos peligrosos, dar un estimado cuantitativo de precipitaciones y obtener un perfil de vientos para sondeos suplementarios.

Basado en los requerimientos de este tipo de observación y en las características técnicas del radar MRL-5M de Camagüey, se propone la Observación LluviaCmw con las siguientes características: Banda S, pulso largo; 375 celdas de 1200m x 1.4° para 450 Km.; 13 ángulos de elevación y Velocidad angular 3 rpm para un tiempo total de exploración de alrededor de 5 minutos.

Con este conjunto de ángulos de elevación, 13 en vez de 26, se logra tener un producto con similar cantidad de información, en el mismo tiempo y con una mejor precisión de la estimación de la potencia promedio. La velocidad angular de la antena se disminuyó de

4 a 3 rpm. Este juego de ángulos escogido para la propuesta LluviaCmw satisface en su totalidad el área de cobertura del radar.

CONCLUSIONES

A partir de la información recopilada, el análisis teórico, los cálculos realizados, las pruebas prácticas, la bibliografía consultada y los experimentos llevados a cabo durante el tiempo de la investigación para optimizar los formatos de las observaciones en el radar MRL-5M de Camagüey se arribó a las siguientes conclusiones:

Los formatos de observaciones actualmente implementados en el radar no son óptimos pues no aportan el máximo de información que puede obtenerse (en las condiciones actuales) presentando lagunas teóricas que se traducen en ineficiencia en la defensa meteorológica de nuestro país.

Se han diseñado nuevos formatos de observaciones optimizados desde el punto de vista teórico y práctico para la detección de ecos meteorológicos en formación (AireClaroCmw) y para la estimación cuantitativa de precipitaciones (LluviaCmw) en el radar de Camagüey.

Con las propuestas realizadas se garantiza el aumento de la calidad del dato obtenido y el nivel de detección, lo cual se logra a través de la disminución del factor de reflectividad mínimo discernible, con el aumento del tamaño de celda y la disminución de la velocidad angular de la antena. Se Disminuye el desgaste mecánico de la antena al disminuir la cantidad y velocidad de exploraciones horizontales prolongando la vida útil del radar. Y además se disminuye el tamaño de los archivos de las observaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberty, R., T. Crum y F. Toepfer (1991): The NEXRAD program past, present and future: A 1991 perspective. En Preprints 25th International Conference on Radar Meteorology Paris, France (AMS, Boston, Mass.) pp. 1-8.

Atlas, D. (Ed.) (1990): Radar in Meteorology AMS, Boston, 814 pp.

Battan, L.J. (1973): Radar Observations of the Atmosphere. University of Chicago Press, 3rd Edition, 324 pp. [citado por Clift, 1985].

- Burba, J. A., (1996): News and Notes: NEXRAD and its evolution progress. Bull. of the AMS. 77(9):2125-2126.
- Clift, G. A. (1985): Use of Radar in Meteorology. Technical Note No. 181. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 90 pp.
- Collier, C. G. (1996): Applications of weather radar systems. A guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. John Wiley and Sons, 294 pp.
- Cooper, G. R. y C. D. McGillem (1989): Probabilistic methods of signal and system analysis. CBS College publishing, 376 pp.
- Dombai, F., y J. Nagi (1998): Exploitation of digital radar data measured on X and S band simultaneously with the MRL-5 radar for operational purposes. COST-75 Final International Seminar "Advanced Weather Radar Systems". 23-27 March, 1998, Locarno, Switzerland, pp. 155-166.
- Fabry, F. (1997): Rethinking radar data collection for the computing era. En Preprints 28th Conference on Radar Meteorology. Austin, Texas, September 1997. Published by AMS, Boston, Mass, 2 pp.
- Hudlow, M. D. (1985): Video digitization, integration and processing techniques. En Report of the Seminar on the application of radar data to tropical cyclone forecasting. WMO/TD No. 26.
- Marshall, J. S. y E. H. Ballantyne (1975): Weather Surveillance Radar. Journal of Applied Meteorology. 14(7):1317-1338.
- Meischner, P., C. Collier, A. Illingworth, J. Joss y W. Randeu (1997): Advanced Weather radar systems in Europe: The COST 75 action. Bull. AMS 78(7):1411-1430.
- Nathanson, F. E. (1969): Radar Design Principles. McGraw Hill Book Co., New York [citado por Sirmans y Doviak, 1973].
- Pérez, M. A., O. L. Rodríguez, A. Peña, R. Naranjo, L. Fernández, A. Barreiras (1999): Reengineering MRL-5 for the Cuban Weather Radar Network. 29th Conference on Radar Meteorology. Montreal, Canada (AMS, Boston, Mass.).
- Rodríguez, O. L. (1998): "Optimización del procesamiento de las señales de video en los radares MRL-5". Tesis presentada en opción del grado de Doctor en Ciencias Técnicas.
- Sauvageot, H. (1992): Radar Meteorology, Artech House, Boston, London, 366 pp.
- Swerling, P (1964): Parameter estimation accuracy formula. IEEE Trans. IT-10:302-314 [citado por Skolnik, 1962].
- Walker, G. B., P. S. Ray, D. Zrníc, R. J. Doviak (1980): Time, angle and range averaging of radar echoes from distributed targets. J. Applied Meteor. 19:315-323.

FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1: Eco meteorológico simulado.

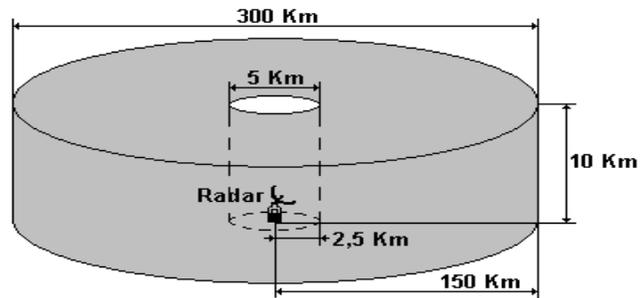


Figura 2: Corte vertical de una observación del tipo Horaria del radar de Camagüey, celdas de 1200m x 1.4° para 450 Km. de alcance

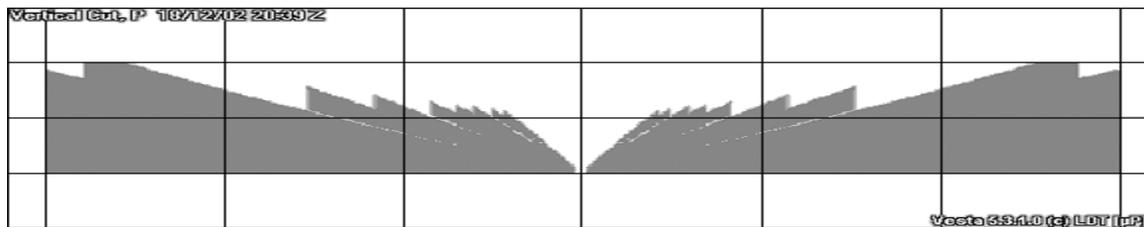


Figura 3: Corte vertical a partir de una observación del tipo VCP 31 del NEXRAD.

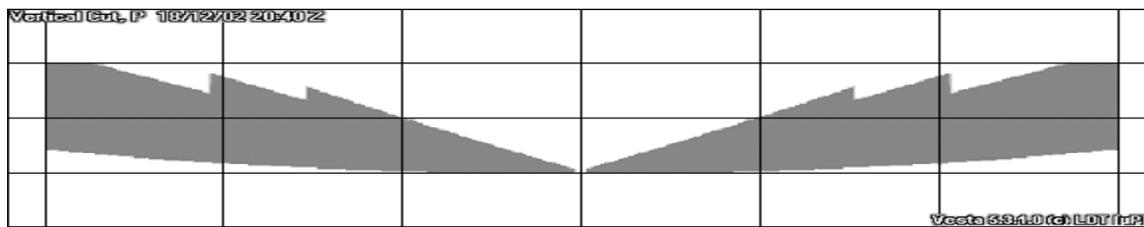


Figura 4: Corte vertical a partir de una observación del tipo AireClaroCmw propuesta para el radar de Camagüey.

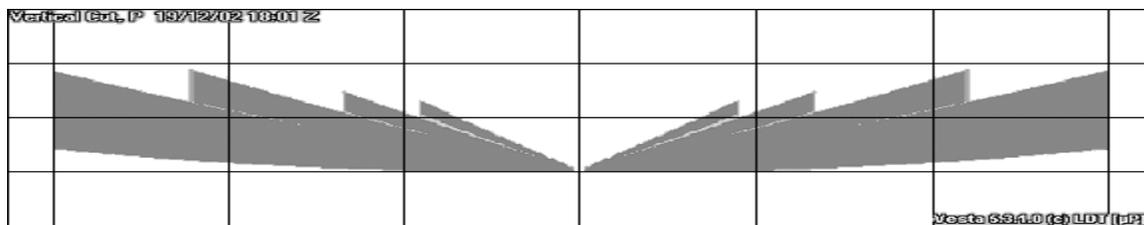
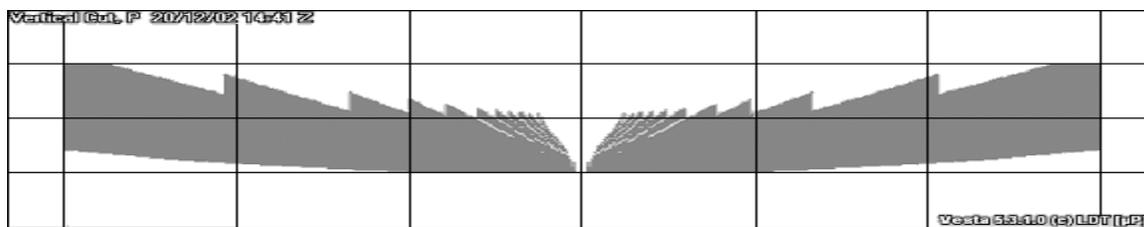
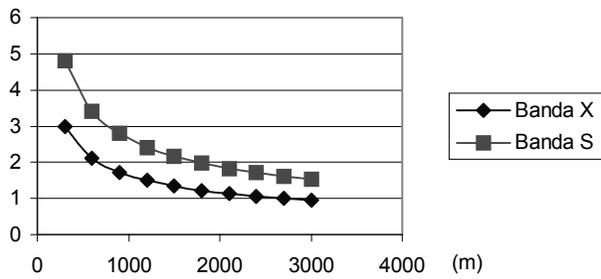
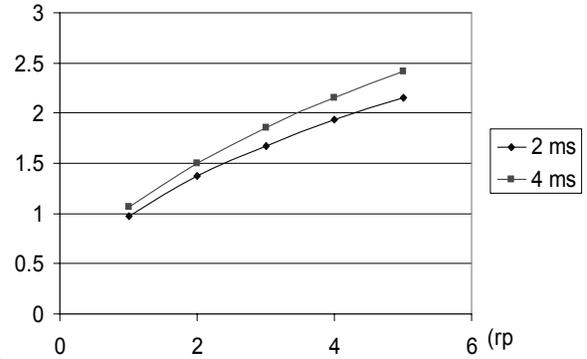


Figura 5: Corte vertical de una observación del tipo LluviaCmw propuesta para el radar de Camagüey.

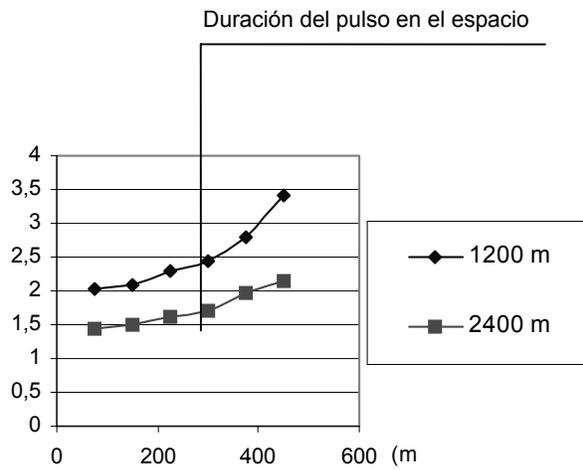




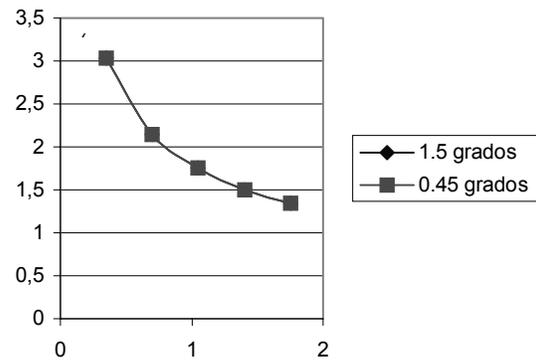
Gráfica 1: Precisión en la estimación de la potencia promedio por canales según el tamaño radial de la celda.



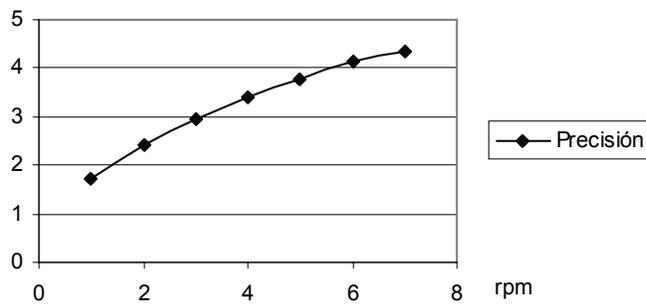
Gráfica 2: Precisión en la estimación de la potencia promedio para pulso largo y pulso corto según la velocidad de la antena



Gráfica 3: Precisión en la estimación de la potencia para tamaño radial de celda de 1200 m y 2400 m según la distancia de muestreo



Gráfica 4: Precisión en la estimación de la potencia promedio con y sin reflector chico según el tamaño tangencial de la celda (se aprecia una sola gráfica debido a que son idénticas)



Gráfica 5: Comportamiento de la precisión en la estimación de la potencia promedio según la velocidad de la antena.