IMPLEMENTACIÓN DEL FOCO PRIMARIO PARA UNA ANTENA PARABÓLICA A LONGITUDES DE ONDA MILIMÉTRICAS

Cristhian Edmundo Mata Gómez

Instituto Tecnológico Nacional de México campus Morelia/Departamento de Ingeniería Electrónica, Avenida Tecnológico 1500, 58120 Morelia, Michoacán, México, l18121672@morelia.tecnm.mx

Resumen

Para la recepción de la señales en un radiotelescopio, la precisión milimétrica de la posición del foco de una antena parabólica es lo más esencial. Solo así se puede obtener una señal fuerte y estable. En este trabajo se desarrolló la caracterización de un reflector parabólico dado para encontrar el foco de su parábola. También se diseñó y construyó un soporte de receptor de radiofrecuencias que pudiera aprovechar el foco obtenido para recepción de señales de entre 3 y 12 GHz. La metodología de caracterización del reflector consistió en varias iteraciones de medidas físicas y un análisis estadístico de la variación de las medidas para obtener un valor con un porcentaje de error bajo. De esta manera se obtuvo un modelo confiable de la antena y se calculó el foco. Para el soporte de receptor, se siguieron unos principios de diseño muy específicos, como permitir el libre movimiento del receptor en los ejes X y Y. Así como la automatización de este movimiento para poder ser ajustado con precisión milimétrica. Como resultado del trabajo, se obtuvo el foco de la antena y un prototipo funcional del soporte, en el cual se puede ajustar la posición de los ejes X y Y con precisión milimétrica.

Palabras Clave: Radiotelescopio; Antena Parabólica; Foco primario; Receptor de radiofrecuencias.

Área del conocimiento: Ingeniería Electrónica - Física

Introducción

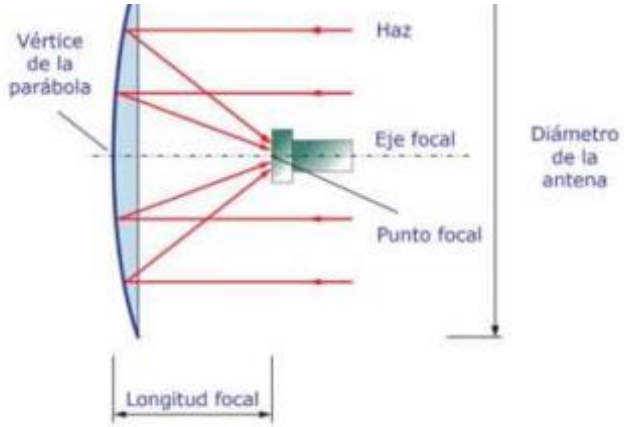
Todo lo que sabemos sobre los astros lejanos en nuestro cosmos es gracias a la radiación electromagnética. Las distintas frecuencias y longitudes de onda que emiten los cuerpos celestes otorgan valiosa información sobre sus propiedades, como composición, temperatura y distancia. Un radiotelescopio es un tipo de instrumento específico que se encarga de captar señales electromagnéticas provenientes del espacio y que se encuentran dentro del espectro de radiofrecuencias (entre los 3 Hz y 300 GHz). La banda Ku, por ejemplo, se encuentra en el rango de entre los 11 y 20 GHz, mientras que la banda C entre los 3.4 y 4.2 GHz. (Cerdá Filiu & Hidalgo Iturralde, 2022, p. 48)

Una parte esencial de un radiotelescopio es la recepción, la cuál sería imposible sin una antena. El tipo más común es la que posee un reflector parabólico, estas son aquellas que tienen forma parabólica y en la cual se reflejan las señales que se buscan captar, de modo que las ondas convergen en un punto, llamado foco. De esta manera la señal se amplifica y tiene más potencia, así como más estabilidad.

El cálculo y colocación del foco primario en una antena es algo esencial para el rendimiento de un radiotelescopio, pues es el punto donde se concentran las ondas reflejadas por el reflector parabólico, a mayor cantidad de ondas recibidas, mejor el procesamiento y calidad de la señal que se busca. Mientras más alta sea la frecuencia de la señal que se desea recibir, más precisa tiene que ser la posición del receptor, ya que es más difícil rebotar e interceptar las longitudes de onda más pequeñas que las grandes. Es por esto que las antenas de radiotelescopios de frecuencias más altas tienen una mayor área que las antenas de radiotelescopios que reciben frecuencias bajas. Por ejemplo, una antena en la banda C (4-8 GHz aprox.) es más pequeña que una antena para la banda Ku y por ello la precisión debe ser mayor para la banda Ku que para esta última. La corneta, por su parte, también debe ser optimizada para la banda de frecuencia que se quiere recibir. (Snell R. L. et al., 2021, p. 87)

En este tipo de antenas de foco primario, el foco está situado en el sentido de incidencia de la energía electromagnética que recibe el reflector. En la zona central se crea una sombra que no es operativa , (Cerdá Filiu & Hidalgo Iturralde, 2022, p. 55); como se muestra en la figura 1.

Figura 1 - Modelo de los componentes de una antena de foco primario.



Fuente: Cerdá Filiu & Hidalgo Iturralde, 2022, p. 55

Metodologia

Foco primario

Para realizar el modelado del foco primario, era necesario hacer una mesura de las dimensiones de la antena con la que se va a trabajar. Para dicha tarea, se decidió hacer uso de un medidor láser para obtener el diámetro del plato. Cabe mencionar aquí que, debido a las condiciones de almacenaje a las que el reflector parabólico fue sometido durante los últimos meses y también gracias a su manufactura, las dimensiones de su altura y diámetro no son consistentes a lo largo de su estructura. Por ello y para mejorar la precisión del resultado obtenido se hicieron 90 mediciones del diámetro a lo largo del perímetro del plato, cada 4° aproximadamente.

Otra característica que fue importante obtener, es la altura del reflector (figura 3), pues solo así era posible crear el modelo matemático del foco, para ello se realizaron 60 mediciones cada 6°. Se puede apreciar el reflector parabólico en las imágenes de la figura 2.

Figura 2 - A la izquierda, vista lateral del reflector parabólico con el que se está trabajando. A la derecha, vista en picada

Fuente: Fotos tomadas por el autor

Una vez realizadas las reiteradas mediciones con el láser, se procedió a organizar los datos usando software de hojas de cálculo. Gracias a esto fue posible obtener la frecuencia relativa de las mediciones y con estadística obtener los cuartiles, sigma y omega de las muestras de diámetro y altura del reflector parabólico. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 1 - A la izquierda, los resultados del análisis de datos del diámetro de la antena. A la derecha, los resultados del análisis de datos de la altura. (Todos los valores están en metros)

Diámetro		Altura	
n	90	**n**	60
Media	2.085	**Media**	0.386
σ	0.015	**σ**	0.034
S	0.015	**S**	0.034
$\sum x$	187.474	$\sum x$	23.194
$\sum x^2$	390.538	$\sum x^2$	9.036
Mínimo	2.052	**Mínimo**	0.3
Q1	2.075	**Q1**	0.37
Mediana	2.084	**Mediana**	0.387
Q3	2.094	**Q3**	0.409
Máximo	2.121	**Máximo**	0.448

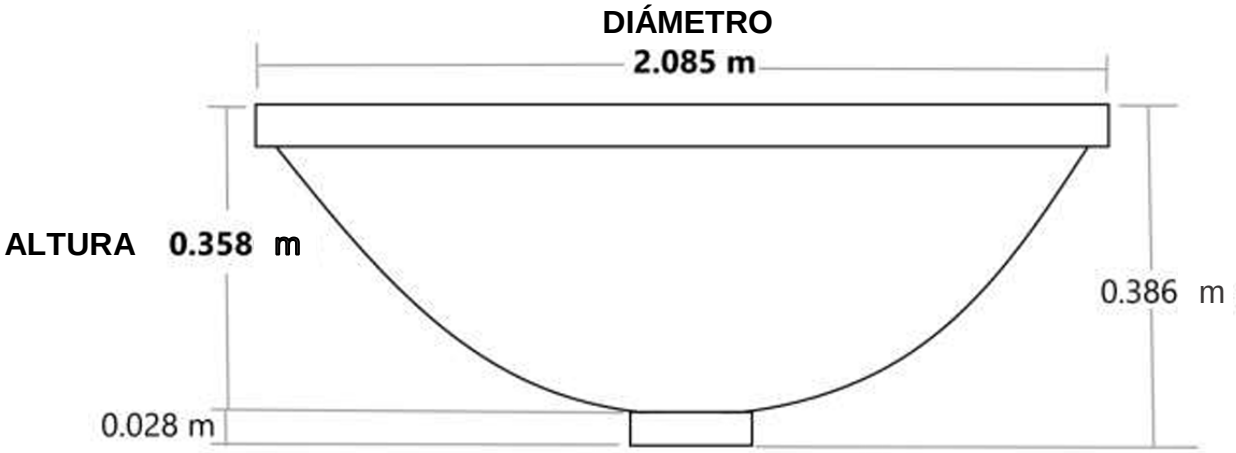
Fuente: Datos tomados por el autor

De acuerdo a los datos observados en la tabla 1, se decidió tomar el valor más cercano a las medias de los datos, y que a su vez representan la medida más repetida. En el caso del diámetro de la antena se considerarán 2.085 m para su diámetro, y para la altura se tomarán 0.3586 m.

NOTA: Para el valor final de la altura, se restó la elevación que hay entre la base de la parábola del plato y el suelo sobre la cual se sostenía. Más información sobre esto en la figura 3, donde se muestran las medidas del reflector.

Con las dimensiones de la parábola del reflector obtenidas, es posible realizar el siguiente modelo del plato:

Figura 3 - Modelo del reflector parabólico con dimensiones acotadas



Soporte de Receptor

La metodología para el diseño y manufactura del soporte del receptor será la siguiente:

Se tomará como punto de partida un cuadro de aluminio proporcionado. Esta estructura servirá de base para realizar todos los cambios que sean necesarios para cumplir con las condiciones que debe tener el prototipo final, los cuales son los siguientes:

- Debe permitir al receptor un movimiento libre en 3 ejes (X,Y,Z).
- El movimiento en cada eje debe ser de al menos 15 cm para poder compensar los posibles errores de cálculo en el foco basado en las deficiencias del reflector parabólico.
- Debe ser resistente y versátil para posibles añadidos posteriores a su manufactura.

Figura 4 - Izquierda: Modelo tridimensional del reflector parabólico. Derecha: Prototipo temprano de un soporte de receptor

Fuente: Modelo y foto realizados por el autor

Para cumplir la primera condición de diseño, se concibieron carriles en el marco de aluminio, lo cual nos permitirá poner guías para los motores que se encargarán del movimiento de los ejes X y Y. Para el eje Z se manejará un sistema manual de movimento com un tornillo en medio. Para sostener el eje Z donde se montará el receptor, se creó el llamado “Prisma Central”. El cual es clave pues será la intersección de los 3 ejes.

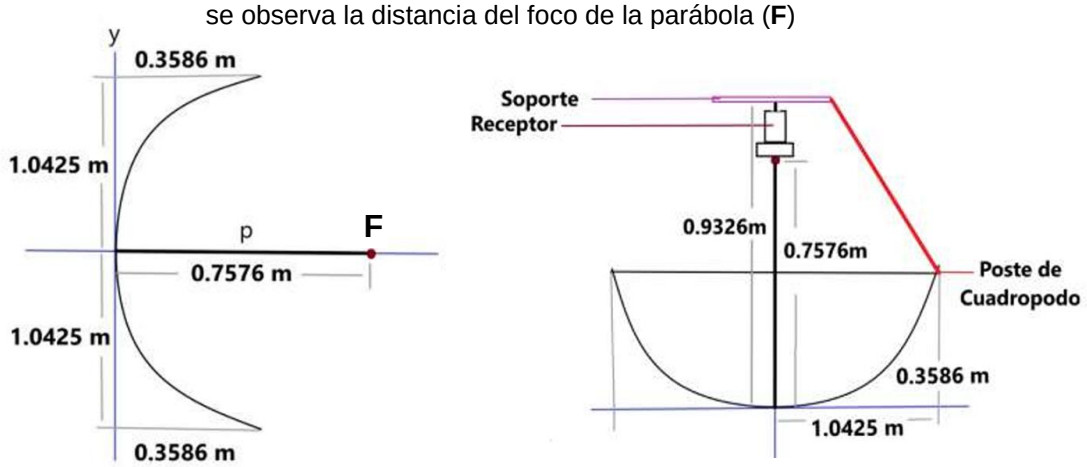
Figura 5 - Izquierda: Vista trasera del modelo de soporte propuesto; Derecha: Vista delantera del modelo

Fuente: Modelo realizado por el autor

Resultados

Para el foco primario, después de obtener el modelo de la figura 3, usando geometría se obtiene el modelo final de la antena:

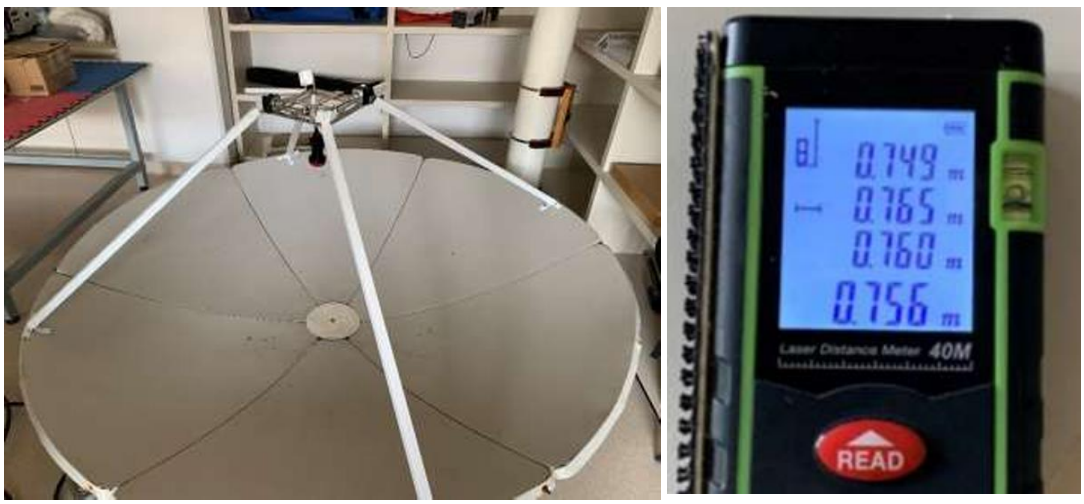
Figura 6 - Modelos geométrico del reflector parabólico donde se observa la distancia del foco de la parábola (**F**)



Fuente: Modelos realizado por el autor

El soporte diseñado posteriormente se manufacturó en alumínio y se montó en el reflector parabólico y se corroboró que el receptor se ubicara justo en el foco.

Figura 7 - Antena con el soporte y el receptor montados en el cuadrópodo. Derecha: Altura del receptor una vez colocado



Fuente: Fotos tomadas por el autor

Discusión

El aspecto en el cual se podría realizar una amplia discusión es sobre el diseño del soporte del receptor. Pues hay muchas maneras de lograr resultados similares con componentes o diferentes metodologías de diseño. Sin embargo, se trabajó de esta manera, partiendo de la estructura de

aluminio, porque los recursos eran limitados y para el proyecto se solicitó un diseño que partiera de esto. Es entendible que se dude sobre la eficiencia del comportamiento del soporte, pero este realiza correctamente su función sobre el foco de la antena, y no superó el presupuesto dado, por lo que, para un dispositivo que fue diseñado desde cero, se considera exitoso el resultado obtenido.

Conclusión

Para la primera parte del trabajo fue necesaria mucha paciencia y ser metódico. Las mediciones del reflector parabólico debían ser lo más precisas posibles para minimizar el error escalado al cálculo del foco. A pesar de lo minucioso que se puede ser, es seguro que habrá un error a la hora de montar el soporte con el receptor, y es por ello que es sumamente importante el diseño.

Durante el diseño del receptor se tuvieron muchas complicaciones pues el cambiar el concepto después de la primera versión requirió de una vasta investigación en cuestión de la base para la forma del soporte. Una vez encontrado se tenía que adaptar el modelo tridimensional a las ideas de automatización que surgían y no fue posible plasmarlas toda en 3D debido a la limitada experiencia que se tiene en este software y a la complejidad de las formas que toman las piezas. Sin embargo, finalmente se confía en que el diseño obtenido hasta ahora es suficiente, habrá que esperar a la prueba del prototipo físico para saber si el resultado del soporte es satisfactorio.

En las etapas de prueba del prototipo del soporte se presentaron algunas problemáticas. Principalmente de tiempo de espera de las piezas necesarias para la construcción del soporte, así como el tiempo que tomaron las partes en ser impresas. Es por esto que ha habido un retraso en el tiempo de armado del prototipo del soporte. Sin embargo, lo más complicado fue a la hora de las pruebas, pues debido a un descuido y falta de consideración de la tercera ley de Newton, no se planeó sujeción alguna en el motor del eje Z del soporte, lo que implica un rediseño del prisma central e investigación adicional de sistemas de engranajes para poder montar otro sistema de movimiento ajena a la rondana de tornillo T8. Fuera de esto, los ejes Y & X funcionan bien, a pesar de que se presenta algo de fricción en un extremo de cada una de las barras de desplazamiento, puede ser corregido con una mayor rigidez en las barras, cosa que se considerará para la versión final del soporte.

Referencias

Snell R. L., Kurtz S. E., & MARR J. S. (2021). Fundamentals of Radio Astronomy: Observational Methods and Astrophysics: Vol. 2. Astrophysics. CRC Press.

CERDÁ FILIU, & HIDALGO ITURRALDE. (2022). *Procesos en instalaciones de infraestructuras comunes de telecomunicaciones* (2ª ed.). Ediciones Paraninfo, S.A.

Agradecimentos

Agradezco enormemente al Dr. Victor Hugo de la Luz Rodríguez por su invitación a participar en este proyecto, por dedicarse una tarde por semana durante todo un semestre para instruirnos a mí y a mis compañeros sobre el apasionante mundo de la radio recepción y por darse el tiempo de incluirnos en el programa de becas de apoyo a proyectos de investigación. Sin todo esto, el desarrollo de todo lo que se plantea aqui, hubiese sido imposible.