



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERIA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TESIS

**Diseño del Plato Principal de un Radiotelescopio
de 3 metros de Radio**

Para obtener el título de

Licenciada en Ingeniería en Telecomunicaciones

PRESENTA

Karla Yolethsi Garcia Melo

Director (a)

Dr. Esteban Rueda Soriano

Codirector (a)

Dra. Karina Alemán Ayala

Comité tutorial

Dr. Heberto Gómez Pozos
Dra. Ma. De Jesús Gutiérrez Sánchez

Pachuca de Soto, Hidalgo., Marzo, 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 3 de marzo de 2025

Número de control: ICBI-D/286/2025

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Egresada de la Licenciatura en Ingeniería en Telecomunicaciones **Karla Yoletshi García Melo**, quien presenta el trabajo de titulación "**Diseño del Plato Principal de un Radiotelescopio de 3 metros de Radio**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Heberto Gómez Pozos

Secretario: Dra. Ma. de Jesús Gutiérrez Sánchez

Vocal: Dr. Esteban Rueda Soriano

Suplente: Dra. Karina Alemán Ayala

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

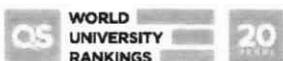
Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento. Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx,
vergarar@uaeh.edu.mx



Resumen

El estudio de las telecomunicaciones ha generado un creciente interés, particularmente en el diseño de antenas direccionales. Estas antenas, especialmente las de gran tamaño, han sido desarrolladas para simular la estructura de grandes telescopios. La razón detrás de esta aproximación es clara: a mayor superficie receptora de ondas electromagnéticas, mejor será la captación de información, lo que permite un tratamiento de datos más preciso y eficaz.

En este trabajo, se propone el diseño de una antena de gran dimensión, utilizando la ecuación del constructor de lentes como herramienta fundamental. Esta elección se basa en la similitud inherente entre las antenas y los telescopios: ambos dispositivos están diseñados para reflejar ondas electromagnéticas hacia un punto focal. Aunque su principal diferencia radica en la frecuencia de operación —las antenas suelen operar en rangos de radiofrecuencia mientras que los telescopios se centran en longitudes de onda ópticas— la estructura y el funcionamiento de ambos sistemas son notablemente similares.

Mediante la aplicación de la ecuación del constructor de lentes, se pretende establecer las especificaciones óptimas para el diseño del plato de la antena. Este enfoque no solo busca garantizar la funcionalidad y eficiencia del dispositivo en términos de captación y dirección de señales, sino que también se propone sentar las bases para el desarrollo de futuros proyectos a gran escala. Finalmente, se desarrolla una aplicación que facilita la obtención de los datos necesarios a lo largo de esta tesis de manera rápida y automatizada. Esta herramienta permite al usuario ingresar simplemente las medidas del radio de la antena a diseñar y la distancia del objeto que se desea captar.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que me han brindado su apoyo incondicional durante la realización de esta tesis. En primer lugar, deseo agradecer de manera especial al Dr. Esteban Rueda Soriano, cuyo asesoramiento, paciencia y guía han sido fundamentales en cada etapa de este proceso. Su dedicación y conocimiento han enriquecido mi trabajo de manera significativa.

Asimismo, estoy eternamente agradecida con mi familia, quienes han sido mi pilar y mi mayor motivación. A mi madre, por su amor incondicional y por estar siempre a mi lado en los momentos más complicados de mi carrera; su fe en mí me ha impulsado a seguir adelante. A mi padre, por su esfuerzo incansable y por cada sacrificio que ha hecho para que esta etapa de mi vida fuera posible. Su apoyo ha sido una luz en el camino. A mi hermano, por su presencia constante y por ser ese compañero leal en los días buenos y en los difíciles. Sin su amor y apoyo, jamás habría logrado superar los desafíos que se me presentaron.

Quiero extender también mi agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), una institución que me ha proporcionado valiosos conocimientos y herramientas que han ampliado mis horizontes. La formación recibida a lo largo de mi carrera ha sido crucial para abrirme diversas puertas en el ámbito profesional y me ha permitido aplicar lo aprendido en mi camino hacia la titulación.

Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra manera, han influido en mi formación y crecimiento personal, les agradezco sinceramente. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de apoyo han dejado una huella imborrable en mi vida. Estoy convencido de que este logro es el resultado del esfuerzo colectivo y del amor que me rodea. ¡Gracias a todos!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ECUACIONES.	5
INDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
1. Introducción	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Planteamiento del problema.	9
1.3 Hipótesis.	10
1.4 Objetivo general.	11
1.5 Objetivos específicos.	11
1.6 Justificación.	12
1.7 Estado del arte.	13
2. Marco teórico.	16
2.1 Espectro electromagnético.	16
2.2 Bandas de frecuencia.	17
2.3 Radiotelescopio.	18
2.3.1 Características de un radiotelescopio.	18
2.4 Clasificación de antenas.	19
2.4.1 Antenas reflectoras:	20
2.4.1.1 Offset	21
2.4.1.2 Cassegrain	21
2.4.1.3 Foco primario.	22
2.5 Telescopios.	22
2.6 Lentes delgadas.	24
2.7 Fórmula de los espejos.	26
2.8 Superficies reflectantes.	29
3. Desarrollo experimental y resultados.	32
4. Conclusión.	46
5. Trabajos a futuro.	47
Referencias.	49

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1	24
Ecuación 2	25
Ecuación 3	25
Ecuación 4	25
Ecuación 5	27
Ecuación 6	27
Ecuación 7	28
Ecuación 8	28
Ecuación 9	28
Ecuación 10	28
Ecuación 11	28
Ecuación 12	28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Radiotelescopios importantes.....	14
Tabla 2.1 Espectro electromagnético	16
Tabla 2.2 Bandas de frecuencia.....	17
Tabla 2.3 Subdivisión de las bandas de frecuencia.....	17
Tabla 2.4 Clasificación de antenas.....	19
Tabla 2.5 Telescopios más comunes.....	23
Tabla 2.6 Convención de signos.....	26
Tabla 2.7 Convención de signos para superficies reflectantes esféricas.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Antena Dipolo.....	19
Fig. 2.2 Antena Espiral.....	19
Fig. 2.3 Antena helicoidal.....	19
Fig. 2.4 Antena de apertura.....	19
Fig. 2.5 Antena reflectora.....	20
Fig. 2.6 Antena offset	21
Fig. 2.7 Antena Cassegrain	21
Fig. 2.8 Antena de foco primario.....	22
Fig. 2.9 Telescopio Newtoniano	23
Fig. 2.10 Telescopio Herschel	23
Fig. 2.11 Telescopio Gregory	23
Fig. 2.12 Telescopio Cassegrain	23
Fig. 2.13 Imagen recreada del libro Hecht	24
Fig. 2.14 Espejo esférico cóncavo	27
Fig. 2.15 Comparación entre una parábola y una esfera	30
Fig. 3.1 Comportamiento de las ondas reflejadas	34
Fig. 3.2 Punto focal (autoría propia)	36
Fig. 3.3. Resultado de ecuación 10 despejada	39
Fig. 3.4 Cálculos procesados por medio de Excel	40
Fig. 3.5 Resultado de la aplicación (Autoría propia).....	43
Fig. 3.6 Interfaz de usuario (Autoría propia).....	44
Fig. 3.7 Resultados obtenidos (Autoría propia).....	44

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Desde tiempos inmemoriales, la comunicación ha sido una necesidad fundamental del ser humano, evidenciada a través del desarrollo de diversos idiomas. Con el tiempo, la comunicación a distancia emergió, marcando el inicio de una era en continua evolución. En este contexto, surge una pregunta trascendental: ¿Estamos solos en el universo? Para abordar esta cuestión, se han desarrollado distintos equipos que permiten explorar el cosmos, entre los cuales destacan los radiotelescopios.

Desde su invención, los radiotelescopios han sido herramientas esenciales en la exploración y comprensión del universo. Estos instrumentos han jugado un papel crucial en el avance de la astronomía, permitiendo a los científicos observar y estudiar objetos celestes distantes con un grado de detalle previamente inimaginado.

Los radiotelescopios funcionan captando señales externas a través de diversas frecuencias del espectro electromagnético, que no son perceptibles a simple vista. Estas señales son interpretadas y procesadas por el instrumento, permitiendo su codificación y comprensión. A nivel mundial, existe una amplia variedad de radiotelescopios, muchos de ellos de gran tamaño y operando en diferentes longitudes de onda.

A lo largo de los siglos, los radiotelescopios han experimentado una evolución significativa en diseño, tecnología y capacidades, con cada avance ampliando los límites perceptivos y desvelando nuevos misterios cósmicos. Su importancia radica en la capacidad de recolectar y enfocar ondas radiadas, lo que permite a los astrónomos estudiar objetos celestes distantes con gran precisión. Gracias a estos instrumentos, se ha explorado la Vía Láctea y se han descubierto miles de millones de galaxias adicionales.

Los radiotelescopios también han facilitado la investigación de la composición química de las estrellas, la identificación de planetas en sistemas solares distantes y la búsqueda de señales de vida extraterrestre. Además de su función científica, estos telescopios han tenido un impacto educativo y motivador, capturando la imaginación de personas de todas las edades y fomentando un sentido de asombro y curiosidad sobre el universo. A través de sus imágenes y descubrimientos, han acercado a la humanidad a una comprensión más profunda de su lugar en el cosmos y han promovido la exploración espacial.

La presente tesis tiene como objetivo principal el diseño de un plato principal para un radiotelescopio con un diámetro de 3 metros. Se explorarán los principios fundamentales de la óptica telescópica para determinar las dimensiones óptimas del plato, con el fin de construir un instrumento de alta calidad. Además, se considerará su posible aplicación en actividades educativas y divulgativas, con el propósito de fomentar el interés por la astronomía y la ciencia en general.

1.2 Planteamiento del problema.

En la actualidad, existe una amplia gama de telescopios que permiten observar cuerpos celestes distantes con creciente claridad. Para mejorar esta claridad, se requiere el uso de telescopios con espejos primarios de mayor tamaño. Un espejo más grande proporciona una mayor captación de luz, lo que se traduce en una mejor resolución y detalle en la observación de los cuerpos celestes.

Para satisfacer la necesidad de captar información más detallada del espacio exterior, se han desarrollado radiotelescopios, que son herramientas capaces de detectar ondas de radio provenientes del cosmos. Estas ondas se convierten en datos valiosos para entender diversos fenómenos astronómicos y atmosféricos.

El diseño del plato primario de un radiotelescopio, especialmente uno con un diámetro de 3 metros, es fundamental para dimensionar adecuadamente la estructura y los componentes necesarios. Este diseño no solo optimiza el rendimiento del radiotelescopio, sino que también proporciona una base para futuros proyectos de mayor magnitud, facilitando la expansión y mejora continua en la exploración espacial.

1.3 Hipótesis.

El diseño del plato principal de un radiotelescopio con un radio de tres metros es viable desde el punto de vista de los principios de óptica básica, y su modelado permitirá establecer especificaciones óptimas que sean escalables para proyectos de radiotelescopios de diferentes tamaños y adaptables a necesidades específicas de investigación.

Se pretende demostrar, mediante principios de ciencia básica, la viabilidad del diseño del plato principal de un radiotelescopio con un radio de tres metros. A través de diversos cálculos y técnicas de óptica básica, se pretende establecer las características necesarias para la construcción de dicho plato. El análisis detallado de estos aspectos permitirá definir las especificaciones óptimas del diseño.

Además, este trabajo contribuirá a una comprensión más profunda del proceso de modelado del plato principal, facilitando la adaptación de sus dimensiones para futuros proyectos. La metodología y los resultados proporcionados servirán como base para el desarrollo de radiotelescopios de diferentes tamaños, ajustándose a las necesidades específicas de cada investigación.

1.4 Objetivo general.

Diseñar un plato primario para un radiotelescopio con un radio de 3 metros, aplicando principios de óptica geométrica y utilizando herramientas de software especializadas para caracterizar y evaluar sus especificaciones, así como desarrollar una aplicación digital que permita personalizar y ajustar las características y dimensiones del diseño, optimizando el proceso de creación de antenas y facilitando su escalabilidad en futuros proyectos.

1.5 Objetivos específicos.

- **Proponer la geometría del Plato Primario:**

Definir la geometría óptima del plato primario para un radiotelescopio, teniendo en cuenta criterios geométricos y ópticos. Este objetivo se centrará en establecer la configuración del plato que maximice la captación de ondas radiadas y mejore la resolución del instrumento.

- **Investigar las Ecuaciones para el Diseño de Espejos Esféricos:**

Realizar una revisión exhaustiva de las ecuaciones y principios matemáticos utilizados en el diseño de espejos esféricos. Este análisis permitirá entender las fórmulas necesarias para calcular las características geométricas y ópticas del plato primario.

- **Experimentar con las Ecuaciones Encontradas:**

Aplicar y experimentar con las ecuaciones obtenidas para el diseño de espejos esféricos, variando diferentes centros de curvatura. Este proceso ayudará a evaluar cómo los cambios en los parámetros afectan la calidad y el rendimiento del diseño del plato.

- **Diseñar una Superficie Esférica de 3 Metros de Diámetro:**

Diseñar una superficie esférica con un diámetro de 3 metros, utilizando las ecuaciones y métodos investigados. Este diseño incluirá la especificación de las dimensiones y características necesarias para la construcción de un plato primario funcional y eficiente para el radiotelescopio.

- **Crear una aplicación para el cálculo de la antena.**

Desarrollar una herramienta digital en formato de aplicación que facilite el cálculo y diseño de antenas, utilizando las fórmulas y metodologías propuestas en esta tesis. Esta aplicación permitirá a los usuarios realizar cálculos precisos y optimizar las características de la antena a diseñar, mejorando así la eficiencia y efectividad del proceso de diseño.

1.6 Justificación.

La construcción de radiotelescopios de gran diámetro es esencial para la detección de ondas de radio provenientes del espacio, lo que permite interpretar imágenes y datos provenientes del espacio que anteriormente no habían sido comprendidos. Estos instrumentos también son fundamentales para el estudio de fenómenos astronómicos que podrían tener un impacto significativo en nuestro planeta. Sin embargo, el desarrollo de radiotelescopios de grandes dimensiones enfrenta importantes desafíos relacionados con los costos y la complejidad técnica, lo que restringe su accesibilidad y limita su difusión en el ámbito de la divulgación científica, particularmente en el entorno educativo.

En este contexto, el diseño de un plato primario para un radiotelescopio se presenta como una solución viable para abordar estos desafíos. La optimización y adaptación del plato primario no solo facilita la construcción de radiotelescopios más accesibles, sino que también contribuye a la promoción y expansión de la divulgación científica a nivel escolar.

Este enfoque permitirá superar barreras económicas y técnicas, promoviendo una mayor participación y comprensión de la astronomía en el ámbito educativo.

1.7 Estado del arte.

Existen varios radiotelescopios de gran relevancia que están situados en ubicaciones estratégicas alrededor del mundo. Estos radiotelescopios han sido diseñados y ubicados cuidadosamente para maximizar su capacidad de captación de ondas de radio provenientes del espacio, aprovechando las condiciones óptimas de sus emplazamientos para obtener datos precisos y valiosos. La elección de estas posiciones estratégicas no solo garantiza la minimización de interferencias y la maximización de la calidad de los datos, sino que también permite una cobertura global amplia para el estudio del cosmos.

A continuación, se describen algunos de los radiotelescopios más importantes, resaltando sus ubicaciones, características y contribuciones significativas al campo de la radioastronomía. Estos instrumentos han jugado un papel crucial en la expansión de nuestro conocimiento del universo y continúan siendo fundamentales para la investigación astronómica y la exploración espacial (3).

Tabla 1.1 Radiotelescopios más importantes del mundo.

NOMBRE	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Complejo de Comunicaciones del Espacio Profundo Goldstone (GDSCC) (9)	Fort Irwin, California	<ul style="list-style-type: none"> - Rastrea y se comunica con misiones espaciales interplanetarias. - Tiene cinco grandes antenas parabólicas (antena) están ubicadas en el sitio de Goldstone para manejar la carga de trabajo. La más grande, es una antena Cassegrain de 70 metros (230 pies) - Es una de las tres estaciones de la Red del Espacio Profundo
Complejo de Comunicaciones del Espacio Profundo de Canberra (CDSCC) (1)	Tidbinbilla, Australia	<ul style="list-style-type: none"> - proporcionan contacto las 40 horas del día con naves espaciales, incluidas misiones para estudiar Mercurio, Marte, Júpiter, Saturno, Plutón, cometas, la Luna y el Sol - Tiene cuatro antenas operativas, una de 70 metros y tres de 34 metro - Es una de las tres estaciones de la Red del Espacio Profundo.
Telescopio Lovell (3)(6)	Jodrell Bank, en Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> - Investiga fenómenos cósmicos que eran inimaginables cuando fue concebido.

		<ul style="list-style-type: none"> - Parabólica de 250 pies, fue el radiotelescopio orientable más grande del mundo
Radiotelescopio Effelsberg (2)		<ul style="list-style-type: none"> - Con un diámetro de 100 metros. - Totalmente orientable. - Parte importante de la red mundial de radiotelescopios.
FAST (2)	ubicado en China, en el condado de Pingtang. Dentro de una depresión natural	<ul style="list-style-type: none"> - Aproximado de quinientos metros de apertura. - Tiene forma esférica
ALMA (2)	ubicado en el desierto de Atacama en Chile	<ul style="list-style-type: none"> - Compuesto por 66 antenas diferentes de alta precisión.
Radiotelescopio de Arecibo (5)	localizado en la costa norte de Puerto Rico, dentro de una depresión de tierra.	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene una superficie de 305 metros de diámetro
El Gran Telescopio Milimétrico (GTM) (1)	Situado en la cima del Volcán Sierra Negra a una altitud de 4600 metros	<ul style="list-style-type: none"> - Telescopio de plato único, y movable, más grande del mundo. - Diseñado para hacer observaciones astronómicas en longitudes de onda de 0.85 - 4mm. -

2. Marco teórico.

2.1 Espectro electromagnético.

Se denomina espectro electromagnético a la distribución de energías que poseen las radiaciones electromagnéticas, las cuales son expresadas normalmente en términos de longitud de onda y frecuencias de radiación. El espectro electromagnético abarca desde las radiaciones con menor longitud hasta las de mayor longitud, estas son divididas en subrangos.

Tabla 2.1 Espectro electromagnético

REGIÓN	FRECUENCIA (Hz)	LONGITUD DE ONDA (m)	ENERGÍA DEL FOTÓN (eV, promedio)
Rayos gamma	$10^{22} - 10^{19}$	$10^{-11} - 10^{-14}$	10^{10}
Rayos X	$10^{17} - 10^{20}$	$10^{-8} - 10^{-11}$	10^5
Ultravioleta	$10^{15} - 10^{17}$	$10^{-6} - 10^{-8}$	10^3
Visible	$10^{14} - 10^{15}$	4×10^{-6} $- 7 \times 10^{-6}$	1
Infrarrojo	$10^{11} - 10^{14}$	$10^{-3} - 10^{-5}$	10^{-3}
Microondas	$10^9 - 10^{11}$	$10^{-1} - 10^{-3}$	10^{-5}
Ondas de radio	$10^3 - 10^9$	$10^5 - 10^{-1}$	10^{-10}
Corriente alterna*	$10^2 - 10^3$	$10^7 - 10^5$	10^{-15}

*La corriente alterna se encuentra en el espectro electromagnético porque, al pasar por un conductor, genera radiación electromagnética con una frecuencia de ciclo de oscilación del voltaje, que generalmente está en el rango de 50 Hz o 60 Hz, dependiendo de la región. En México se trabaja a una frecuencia de 60 Hz.

2.2 Bandas de frecuencia

Las ondas son caracterizadas por su longitud de onda y su frecuencia las cuales se relacionan con la velocidad de propagación en el medio. El conjunto de frecuencias es dividido por décadas en bandas, cada una tiene una determinada porción del espectro, el cual fue asignado por organismos de normalización.

Tabla 2.2 Bandas de frecuencia.

BANDA	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	DENOMINACION
ELF	<3 kHz	>100 km	Extremely Low Frequency
VLF	3-30 kHz	100-10 km	Very Low Frequency
LF	30-300 kHz	10-1 km	Low Frequency
MF	0,3 -3 MHz	1.000-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency

Existen subdivisiones en estas frecuencias, como lo son las frecuencias de microondas indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Subdivisión de las bandas de frecuencia.

BANDA	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
L	1 – 2 GHz	30 – 15 cm
S	2 – 4 GHz	15 – 7.5 cm
C	4 – 8 GHz	7.5 – 3.75 cm
X	8 – 12.4 GHz	3.75 – 2.42 cm
Ku	12.4 – 18 GHz	2.42 – 1.66 cm
K	18 – 26.5 GHz	1.66 – 1.11 cm
Ka	26.5 – 40 GHz	1.11 – 7.5 mm
mm	40 – 300 GHz	7.5 – 1 mm

2.3 Radiotelescopio.

Muchos instrumentos han sido creados y fabricados con el objetivo de poder estudiar y analizar lo que sucede en el espacio. Uno de estos objetos se conoce con el nombre de radiotelescopio, un aparato de suma importancia que hace posible el captar las diferentes ondas de radio que son transmitidas por todos los cuerpos celestes. Cabe resaltar que las ondas de radio son las longitudes de ondas que poseen una longitud de onda dentro del espectro electromagnético más largo incluso que la luz infrarroja.

2.3.1 Características de un radiotelescopio.

Entre las principales características que podemos encontrar en el radiotelescopio se mencionan las siguientes:

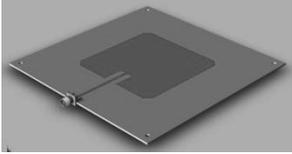
- Cuenta con un receptor de radio y con un complejo sistema de antenas capaces de captar la radiación de radiofrecuencia.
- Su forma varía al igual que su tamaño, esto dependerá el tipo de ondas que deberán de recolectar.
- Son considerados como los telescopios de mayor tamaño del mundo.
- Es un tipo de antena de radio direccional.
- Su campo de estudio se conoce con el nombre de radioastronomía.
- Puede captar diferentes tipos de ondas de radios.
- Utiliza una o varias antenas parabólicas para poder hacer su función.

2.4 Clasificación de antenas.

Las antenas son dispositivos diseñados para transmitir y recibir ondas electromagnéticas a través del espacio. Existen diversas formas de transmitir estas señales, por lo cual las antenas se clasifican de acuerdo a su forma y patrón de radiación.

Las antenas pueden ser clasificadas por su forma como se muestra en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Clasificación de antenas

Antenas de cable	Dipolo y monopolo Son las antenas más simples.	Compuesta por dos elementos conductores idénticos, la señal de salida al receptor se obtiene entre ambas mitades. Mientras que el monopolo tiene una sola varilla o conductor, con un extremo conectado a la línea de alimentación y el otro a tierra.	
	Fig. 2.1 Antena Dipolo. Imagen tomada de la red https://gamarf.com/producto/antena-dipolo-vertical/		
	Espiral	Clasificada como antena independiente de la frecuencia, pues funciona en un rango muy amplio de frecuencias.	
	Fig. 2.2 Antena Espiral. Imagen tomada de la red: https://www.recicomp.com.br/produtos/antena-espiral-433mhz/ .		
	Helicoidal	el cable conductor se enrolla en forma helicoidal y se conecta a la placa de tierra con una línea de alimentación	
Fig. 2.3 Antena helicoidal. Imagen tomada de la red: http://www.listersom.com.br/audio-profissional/antenas-para-sem-fio/antena-helicoidal-passiva-professional-wireless-para-sem-fio-e-in-ear-ha8089			
Antenas de apertura	Microstrip.	es un dispositivo para procesar señales de frecuencia muy alta, usado en teléfonos móviles, satélites y aviones	
Fig. 2.4 Antena de apertura. Imagen tomada de la red: https://electronica-basica.com/microstrip/			

Reflectoras		Constan de un reflector, casi siempre es parabólico este reflector tiene la antena situada en su foco.	
Fig. 2.5 Antena reflectora. Imagen tomada de la red: https://pcredcom.com/antena-tipo-reflector-de-19-dbi-para-radio-epmp5-i-			

2.4.1 Antenas reflectoras:

En este tipo de antenas la señal no llega directamente al elemento captador, esta recibe la señal una vez que ha sido reflejada por un elemento reflector. El funcionamiento de una antena receptora está basado en la reflexión de ondas electrónicas, logrando así que las ondas que inciden paralelamente al eje principal sean reflejadas a un punto específico situado al centro del paraboloide, a este punto se le llama foco.

En el caso de las antenas emisoras las ondas emergen del foco para ser reflejadas y así ir en dirección paralela al eje de la antena.



Fig. 2.5 Antena reflectora. Imagen tomada de la red:
<https://pcredcom.com/antena-tipo-reflector-de-19-dbi-para-radio-epmp5-i-apmpr519-sys-apmpr519.html>

2.4.1.1 Offset

Las antenas Offset son ovales simétricas, es decir elipses. Contienen un foco, el cual se encuentra desplazado a un lado del centro, quedando fuera de la superficie de la antena. Gracias a estos se tiene una ventaja en esta tecnología, pues la superficie de la antena ya no está sombreada por el Low Noise Block (LNB), desde el punto de vista del satélite, y así la señal recibida es de mayor porcentaje.



Fig. 2.6 Antena offset (imagen tomada de la red)(5)

2.4.1.2 Cassegrain

Esta antena se caracteriza por tener cerca de su foco un segundo reflector. Su funcionamiento se basa en reflejar la onda radiada por la parábola hacia el reflector; el dispositivo detector de dicha antena. Entre sus características podemos encontrar que presentan una elevada potencia en el transmisor, una gran directividad y un receptor de bajo ruido. (4)



Fig. 2.7 Antena Cassegrain (imagen tomada de la red) (7)

2.4.1.3 Foco primario.

En esta parábola las ondas inciden paralelamente al eje principal para después ser reflejadas al foco, el cual está situado al centro de la parábola. Su rendimiento máximo es de aproximadamente 60%, dicho de otro modo, solo el 60% de la energía que llega a la superficie de la antena es el porcentaje que llega al foco y es aprovechada, el 40% restante no logra llegar al foco y se pierde.



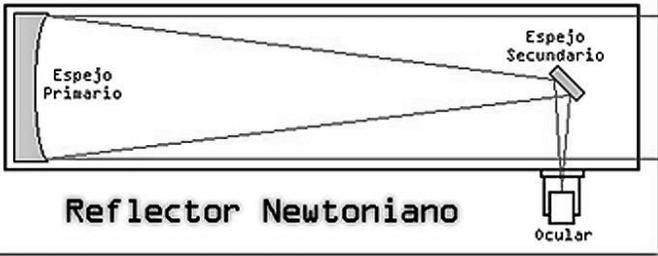
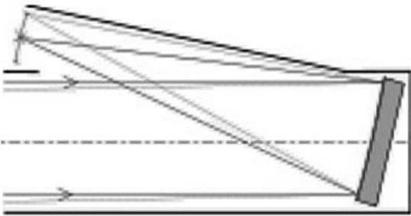
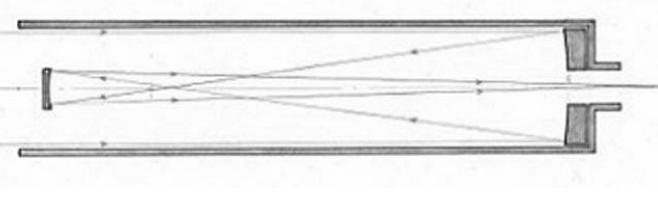
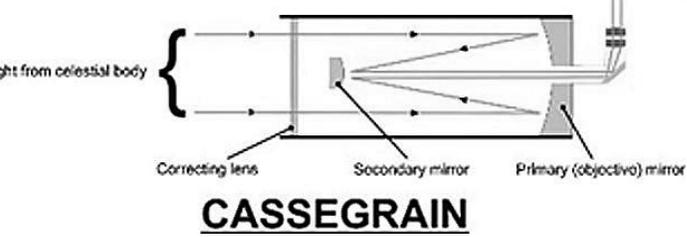
Fig. 2.8 Antena de foco primario. Imagen tomada de la red: <https://www.mayortec.mx/antena-parabolica-foco-primario-180-cm-braket-dual-lnb-c.html>

2.5 Telescopios.

Los telescopios y las antenas reflectoras están estrechamente relacionados, ya que comparten similitudes tanto en su diseño como en su funcionamiento pues utilizan los mismos principios físicos y matemáticos. Ambos dispositivos trabajan con energía electromagnética, con la diferencia de las frecuencias de trabajo. Una radio antena trabaja en frecuencias de radio y un telescopio en las frecuencias visibles, como se muestra en la tabla 2.1

A continuación, en la tabla 2.5 se describen los telescopios más comunes.

Tabla 2.5 Telescopios más comunes

<p>Telescopio Newtoniano</p>	<p>Este telescopio es el más sencillo de los telescopios reflectores, consta de un paraboloide y un pequeño espejo plano que desvía la imagen a un lado. Este es el más común entre los astrónomos aficionados pues es el más fácil de construir.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 2.9 Telescopio Newtoniano</p>
<p>Telescopio Herschel</p>	<p>Es un paraboloide cuyo foco se encuentra a un lado del tubo, para observar la imagen ahí. Este es más incómodo y difícil de construir. Por esta razón casi no se utiliza.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 2.10 Telescopio Herschel</p>
<p>Telescopio Gregory</p>	<p>Este telescopio utiliza un espejo elipsoidal frente al foco del paraboloide, formando a través de un agujero en su centro una imagen detrás del paraboloide. Entre sus ventajas se encuentra que la imagen virtual se observa erecta. Es empleado muy rara vez pues es un telescopio muy largo.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 2.11 Telescopio Gregory</p>
<p>Telescopio Cassegrain</p>	<p>Este es de los más utilizados por profesionales. Es mucho más corto que el newtoniano y con la misma distancia focal efectiva. Se observa por la parte inferior del telescopio haciendo la observación más cómoda. Su espejo primario tiene formas de paraboloide de revolución. Como espejo secundario utiliza un hiperboloide convexo</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 2.12 Telescopio Cassegrain</p>

2.6 Lentes delgadas.

La óptica es una rama de la física que estudia el comportamiento de la luz y su interacción con distintos materiales. Uno de los fenómenos de este campo es la formación de imágenes a través de lentes, que son elementos ópticos fundamentales en una amplia variedad de dispositivos, desde simples anteojos hasta complejos sistemas de cámaras y telescopios. En este sentido, la comprensión de cómo los rayos de luz se refractan al pasar por una lente es esencial para entender los principios de la visión y la imagen.

Examinando la imagen 2.13 hay tres rayos que salen de un punto del objeto. El primero pasa a través del centro de la lente (O) el cual no es desviado y puede visualizarse como una línea recta. El segundo entra paralelamente al eje óptico y pasa a través de F_i . El tercero emerge paralelamente al eje y pasa por F_o . Por lo que solo se necesitan dos de estos tres rayos para cada punto del objeto, el punto de intersección correspondiente localiza la imagen.

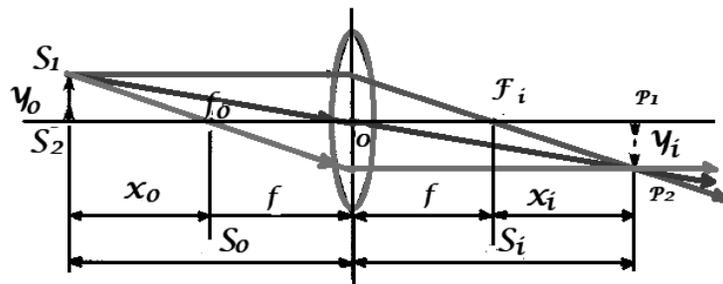


Fig. 2.13 Imagen recreada del libro Hecht

El tamaño de la imagen y_i es importante, gracias a este se define el aumento lateral o transversal M_T como

$$M_T = \frac{y_i}{y_o} \quad \text{ec. 1}$$

De los triángulos semejantes S_1S_2O y P_1P_2O , se deduce

$$M_T = \frac{s_i}{s_o} \quad \text{ec. 2}$$

O en la forma Newtoniana

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} \quad \text{ec. 3}$$

Los espejos planos son dispositivos relativamente simples. Hacen que los rayos que inciden en ellos reboten.

A diferencia de las lentes, en los espejos la imagen aparece del lado derecho de la superficie de separación. Concluyendo que s_i y s_o son negativas cuando son medidas a la derecha de la superficie reflectante.

El aumento transversal M_T en un espejo plano es +1, por lo que la imagen es de tamaño natural, virtual.

Los espejos curvos se clasifican como esféricos y no esféricos, que un espejo parabólico refleje una onda plana incidente en una onda esférica convergente es en realidad muy importante para su uso en un colector de luz como elemento principal.

La configuración parabólica y la esférica son prácticamente idénticas en la vecindad del eje central, pues al ser dos veces la distancia focal el radio de la esfera es dos veces la distancia focal de la parábola. Por lo que puede esperarse una aproximación paraxial, donde F es el punto focal de un espejo esférico con centro en C .

Las distancias entre el objeto y la imagen se relacionan por la siguiente ecuación de espejos:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = -\frac{2}{R} = \frac{1}{f} \quad \text{ec 4}$$

o siguiendo la convención de signos mostrada en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Convención de signos.

Cantidad	Signo	
	+	-
S_o	objeto real	objeto imaginario
S_i	imagen real	imagen virtual
f	espejo cóncavo	espejo convexo
y_o	objeto derecho	objeto invertido
y_i	imagen derecha	imagen invertida
M_T	imagen derecha	imagen invertida
R	espejo convexo	espejo cóncavo

2.7 Fórmula de los espejos

La ecuación de los espejos esféricos es fundamental en óptica, ya que describe cómo la luz se comporta al reflejarse en superficies curvadas. Esta ecuación establece relaciones precisas entre las distancias del objeto y de la imagen, así como la distancia focal del espejo, lo que permite predecir con exactitud la formación de imágenes y su calidad. A lo largo de la investigación realizada, se ha determinado que esta ecuación es de gran importancia para la creación de un plato principal de un radiotelescopio, donde la precisión en la forma del espejo es esencial para captar las débiles señales de radio provenientes del espacio.

La imagen 2.14 representa la ecuación paraxial que relaciona los parámetros de los espejos esféricos y el objeto conjugado.

S_o y S_i son positivos, por lo que se encuentran a la izquierda, entonces $|R| = -R$ y

$$\overline{SC} = S_o + R \text{ y } \overline{CP} = -(S_i + R) \quad \text{ec 7}$$

En la región paraxial se tiene que $\overline{SA} \approx S_o$, $\overline{PA} \approx S_i$, dando la ecuación

$$\frac{S_o+R}{S_o} = \frac{S_i+R}{S_i} \quad \text{ec 8}$$

$$\text{O bien } \frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = -\frac{2}{R} \quad \text{ec 9}$$

Obteniendo así la fórmula de los espejos. La cual aplica para espejos convexos $R > 0$ y concavos $R < 0$.

El foco primario se define por $\lim_{S_o \rightarrow \infty} S_o = f_o$

Mientras que el foco secundario se define como $\lim_{S_i \rightarrow \infty} S_i = f_i$

Por lo que se tiene

$$\frac{1}{f_o} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{f_i} = -\frac{2}{R} \quad \text{ec 10}$$

Despejando se tiene

$$f_o = f_i = -\frac{R}{2} \quad \text{ec 11}$$

Eliminando los subíndices en las distancias focales, se tiene

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} \quad \text{ec 12}$$

En espejos cóncavos f será positiva, en espejos convexos f será negativa.

2.8 Superficies reflectantes.

Las características principales de un espejo son fundamentales para comprender su funcionamiento y su aplicación en diferentes contextos ópticos. Entre estas características se encuentran el centro de curvatura, el punto focal, el vértice, así como las distancias de la imagen y del objeto. Cada uno de estos elementos desempeña un papel crucial en la formación de imágenes y en el comportamiento de la luz al interactuar con el espejo.

1. **Centro de Curvatura (C):** Este punto es el centro de la esfera de la cual el espejo es una sección. Se encuentra a una distancia igual al radio de curvatura del espejo. El centro de curvatura es esencial para determinar cómo se comporta la luz cuando incide sobre el espejo. Cuando un rayo de luz pasa por este punto, se refleja en línea recta, lo que establece una base para la comprensión de las trayectorias de otros rayos.
2. **Punto Focal (F):** El punto focal es el punto donde los rayos de luz paralelos que inciden sobre el espejo convergen después de ser reflejados. Para un espejo esférico cóncavo, el punto focal se encuentra en el lado del espejo donde se refleja la luz. La distancia del foco al vértice se denomina distancia focal, y está relacionada con el radio de curvatura. Esta característica es crucial en la óptica, ya que define la capacidad del espejo para enfocar luz y formar imágenes.
3. **Vértice (V):** El vértice es el punto donde la superficie del espejo se intersecta con su eje principal. Este punto es fundamental porque sirve como referencia para medir las distancias del objeto y de la imagen. En la representación gráfica de un espejo, el vértice es el punto de origen para las distancias que se utilizan en la ecuación del espejo.

4. **Distancias del Objeto y de la Imagen:** Estas distancias son esenciales para determinar la posición de la imagen formada por el espejo. La distancia del objeto se mide desde el vértice hasta el objeto real, mientras que la distancia de la imagen se mide desde el vértice hasta la imagen formada. La relación entre estas distancias, junto con la distancia focal, se expresa en la ecuación de los espejos, permitiendo predecir la ubicación y las características de la imagen resultante.

La comprensión de estas características es fundamental para el diseño y la optimización de sistemas ópticos, como los radiotelescopios. Un conocimiento profundo de cómo interactúan estos elementos no solo mejora la calidad de las imágenes obtenidas, sino que también contribuye a la eficacia en la recolección de datos astronómicos.

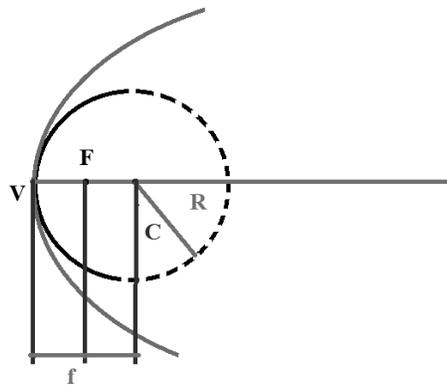


Fig. 2.15 Comparación entre una parábola y una esfera.

Cuando la luz diverge a partir de un objeto, se dice que este es un objeto real, cuando la luz converge hacia un objeto este es un objeto vital. La siguiente tabla resume la convención de signos.

Tabla 2.7 Convención de signos para superficies reflectantes esféricas.

$S_o f$	+ a la izquierda de V
S_i	+ a la izquierda
R	+ cuando está a la derecha de V
$y_o \quad y_i$	+ por encima del eje óptico
x_o	+ a la izquierda de F_o
x_i	+ a la derecha de F_i

3. Desarrollo experimental y resultados.

Una de las características fundamentales en el diseño y construcción de un radiotelescopio es la configuración del plato principal, ya que este determina tanto las dimensiones generales del instrumento como su capacidad para recolectar y enfocar las señales provenientes del espacio. En particular, el plato juega un papel crucial en la resolución angular y en la eficiencia con la que el radiotelescopio puede captar las ondas electromagnéticas, ya sean de radiofrecuencia, microondas o de otras longitudes de onda.

En este contexto, se propone analizar un radiotelescopio esférico, cuya principal característica es un plato de 300 cm de radio. El diseño de este plato está basado en una geometría esférica que permite captar las ondas incidentes desde diversas direcciones, reflejándolas hacia un punto focal específico. Este tipo de radiotelescopio, al igual que los platos parabólicos, busca concentrar las señales recibidas en un área focal, pero en este caso, se opta por una estructura esférica para simplificar ciertos aspectos de su construcción y alineación.

El concepto de convergencia de la señal es clave en este tipo de telescopios. Dado que las ondas electromagnéticas, al ser reflejadas por la superficie del plato, se agrupan en el punto focal, este punto se convierte en el sitio donde se debe ubicar el receptor que captará la señal. En el caso de un radiotelescopio esférico, el comportamiento de las ondas reflejadas sigue las leyes geométricas de reflexión, y, por lo tanto, el punto focal, conocido también como punto de convergencia o punto focal (f_i), se encuentra a una distancia específica del plato, como se observa en la imagen 1.12.

Utilizando la ecuación (4), que describe la relación geométrica entre el radio del plato, la distancia focal y las propiedades de la onda, se concluye que el punto focal se encuentra a una distancia de 150 cm del centro del plato. Esto implica que el receptor debe situarse en este punto focal para captar con la mayor precisión posible las señales reflejadas.

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = -\frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

$$S_o = \infty$$

$$\frac{1}{S_i} = -\frac{2}{R}$$

$$\frac{R}{S_i} = -2$$

$$R = -2(S_i)$$

$$-\frac{R}{2} = S_i$$

$$\frac{300}{2} = 150$$

Por lo que el foco se encontrara en $\frac{R}{2}$ es decir a 150 centímetros del plato principal.

Resolviendo la ecuación 2.7 se tiene:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

$$f = \frac{2}{R} = \frac{1}{2}R$$

$$\frac{1}{2}(3) = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ m}$$

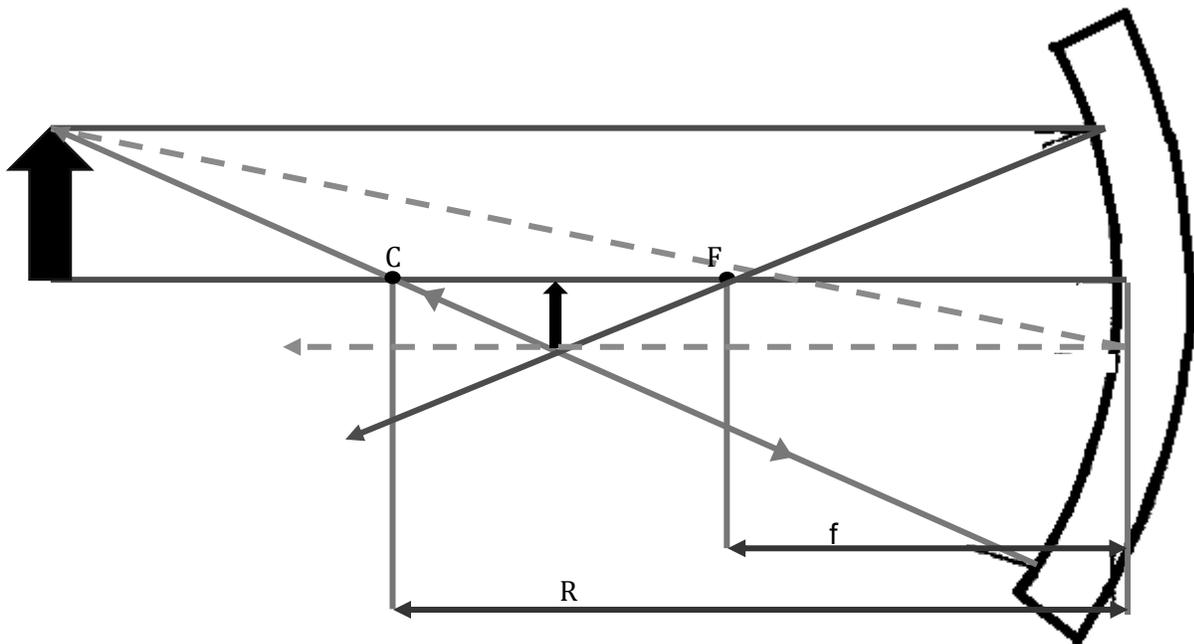


Fig. 3.1 Comportamiento de las ondas reflejadas.

Es necesario por lo menos dos rayos, para que pueda localizarse la imagen del punto más alto del objeto. Dos de los más simples de utilizar son los que pasan por el centro (C) y por el punto focal (F), donde $f = R/2$. El rayo que pasa por C se propaga sobre un radio de la esfera y a su vez se refleja sobre su misma dirección. Otro rayo que entra paralelamente al eje central se refleja pasando

por F. La imagen del punto más alto del objeto se localiza en la intersección de estos rayos. Un rayo proviene del punto más bajo del objeto a lo largo del eje pasa por C y regresa sobre sí mismo. De esta manera la imagen de la base del objeto se sitúa sobre el eje directamente encima del punto de intersección de los dos rayos que pasan por C y F.

Otro rayo importante es el que pasa a través de F y posterior a ello incide sobre el espejo.

Resolviendo las ecuaciones 2 y 4 se tiene:

$$S_i = \frac{r*s_o}{2*s_o-r} \quad \text{ec.4}$$

$$S_i = \frac{3*10,000}{2*10,000-3}$$

$$S_i = \frac{30,00}{19,997}$$

$$s_i = 1.50225035$$

$$M_T = \frac{S_i}{S_o} \quad \text{ec.2}$$

$$M_T = \frac{1.50022503}{10,000}$$

$$M_T = 0.00015002$$

Si se deseara emplear el mismo diseño para obtener imágenes de un objeto a distancias menores de lo inicialmente planteado, sería necesario recurrir a una modificación del análisis geométrico. En este caso, el diseño de un radiotelescopio esférico podría ser adaptado para trabajar en un rango de distancias más cercanas, modificando la distancia focal del sistema o la orientación del plato principal para ajustar la convergencia de las señales.

Para lograr esto, se puede aplicar la ecuación 10, que describe la relación entre las distancias de un objeto, su imagen y el sistema óptico:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = -\frac{2}{R} \text{ ec 10}$$

$$\frac{1}{s_o} + \frac{2}{R} = -\frac{1}{s_i}$$

$$\frac{1}{80} + \frac{2}{30} = \frac{1}{s_i}$$

$$0.0125 + 0.0666 = -\frac{1}{s_i}$$

$$-\frac{1}{s_i} = 0.0791 \approx 0.08$$

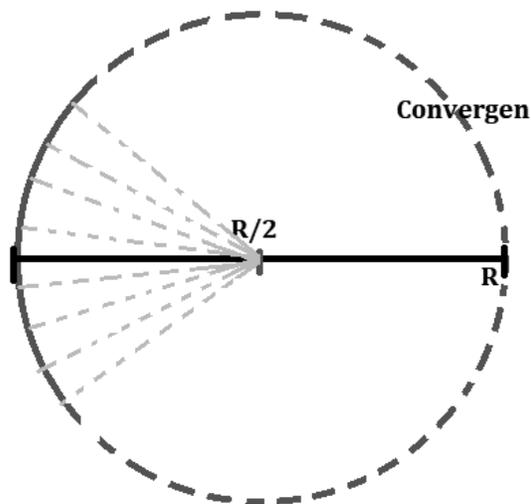


Fig. 3.2 Punto focal (autoría propia)

Se emplea la ecuación 10 para calcular la posición a la cual se formará la imagen, o donde convergerá la señal de un objeto situado a una distancia finita. A través de un adecuado proceso de despeje, se obtiene la expresión necesaria para determinar dicha posición.:

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S_i} = -\frac{2}{R} - \frac{1}{S_o}$$

$$\frac{1}{S_i} = \frac{-2 S_o - R}{R S_o}$$

$$\frac{R S_o}{S_i} = -2 S_o - R$$

$$R S_o = -S_i [2 S_o + R]$$

$$\frac{R S_o}{2 S_o + R} = -S_i \quad \text{ec. 10'}$$

Así, es posible resolver la ecuación para diferentes distancias en las que se puede ubicar un objeto.

Para ejemplificar esta situación, se realizaron cálculos específicos para las siguientes distancias:

Para un objeto que se encuentra a 800cm

$$S_i = \frac{R*s_o}{2*s_o+R} \quad \text{ec. 10'}$$

$$S_i = \frac{300 * 800}{2 * 800 + 300}$$

$$S_i = \frac{240,000}{1900}$$

$$s_i = 126.315789$$

Para un objeto que se encuentra a 1000cm

$$S_i = \frac{R*s_o}{2*s_o+R} \quad \text{ec. 10'}$$

$$S_i = \frac{300 * 1,000}{2 * 1,000 + 300}$$

$$S_i = \frac{300,000}{2,300}$$

$$s_i = 130.434783$$

Para un objeto que se encuentra a 5000cm

$$S_i = \frac{R * S_o}{2 * S_o + R} \quad \text{ec. 10'}$$

$$S_i = \frac{300 * 5,000}{2 * 5,000 + 300}$$

$$S_i \frac{1,500,000}{10,300}$$

$$S_i = 145.631068$$

Para llevar a cabo un mayor número de análisis, se emplea una tabla creada en Excel que contiene la ecuación 10 que obtiene los datos necesarios, permitiendo introducir fácilmente los parámetros de forma rápida, siendo modificados de ser necesario, observando la respuesta de forma dinámica. De la ecuación se solicitan los siguientes parámetros:

So= Distancia del objeto

R= Radio de la esfera

En la figura 3.3 se muestra el resultado del Excel

	So	Si	R	Distancia Imagen
cm	5000	0	300	145,631068
cm	1000	0	300	130,4347826
cm	800	0	300	126,3157895

Fig. 3.3 Resultado de ecuación 10 despejada.

Sin embargo, para obtener dicho resultado, se realizó un procedimiento para visualizar las operaciones de una manera más explícita, de esta manera y colocando las medidas en centímetros:

1. Se ingresaron las medidas del Radio (R) y de la distancia del objeto S_o .
2. Para posteriormente calcular el recíproco de ambas.
3. Calcular f realizando la suma de los recíprocos y posteriormente sacar su recíproco.
4. Posteriormente se divide 2 entre el radio, para determinar el recíproco de la distancia de la imagen, la cual se calcula sumando $\frac{1}{S_o} + \frac{2}{R}$
5. Para finalmente determinar la distancia de la imagen dividiendo 1 entre el recíproco obtenido de la distancia de la imagen.

	So		R	f	
	5000		300		1
2	1/So	1/Si	1/f		3
	0,0002	150	150,0002		0,006666657778
	f=-R/2				
	-150				
4	1/So	1/Si	2/R	1/f	
	0,0002	0,006866666667	0,006666666667	150	
	Distancia Imagen	145,631068			5
	(R*So)/(2So+R)=-Si				
	R*So	2*So	2*So+R	(R*So)/(2So+R)	
	1500000	10000	10300	145,631068	

Fig. 3.4 Cálculos procesados por medio de Excel.

Para optimizar los cálculos realizados en la presente tesis, los cuales han sido fundamentales para el diseño del plato principal del radiotelescopio, se desarrolló una aplicación informática utilizando el software Visual Basic. Esta herramienta permite automatizar y agilizar los cálculos matemáticos involucrados en la investigación, lo que no solo mejora la precisión de los resultados, sino también incrementa la eficiencia del proceso.

El principal objetivo de la aplicación desarrollada es facilitar el cálculo de las ecuaciones utilizadas en el diseño del radiotelescopio, particularmente la ecuación 10, que describe la relación entre las distancias del objeto, la distancia focal y la imagen en el sistema óptico. La herramienta fue diseñada para simplificar estos cálculos, permitiendo que el usuario introduzca datos básicos (como el radio del telescopio o la distancia del objeto) y obtenga los resultados de manera rápida y precisa, sin necesidad de realizar cálculos manuales complejos.

Una de las principales ventajas de la aplicación es la visualización inmediata de los resultados. Al ingresar los datos correspondientes, la aplicación realiza los cálculos en tiempo real y muestra los resultados en un formato claro y ordenado. Esto no solo permite verificar la precisión de los cálculos, sino que también facilita el análisis de los datos sin la necesidad de recurrir a largas y tediosas verificaciones manuales.

1. **Cuadros de texto:** Se crearon tres cajas de texto que permiten la interacción del usuario con la aplicación:
 - Primera caja de texto: En ella el usuario debe ingresar la *distancia del objeto*, que es un valor conocido para la ecuación 10. Este valor es necesario para calcular el resultado final.
 - Segunda caja de texto: En esta caja el usuario debe ingresar el *radio propuesto para el radiotelescopio*, que también es un dato conocido que forma parte de la ecuación.

- Tercera caja de texto: Esta caja se utiliza para mostrar el *resultado* del cálculo. El valor final de la ecuación 10 se genera automáticamente una vez que el usuario presiona el botón de "Calcular". La tercera caja está configurada como solo lectura, lo que significa que el usuario no puede modificar el valor directamente.
2. **Botón "Calcular"**: El botón "Calcular" es responsable de ejecutar el cálculo. Cuando el usuario ingresa los datos en las dos primeras cajas de texto (distancia del objeto y radio propuesto), y presiona el botón, se activa una función de programación que toma los valores de estas cajas, los inserta en la ecuación 10 y calcula el resultado. Esta operación se realiza de manera automática y sin necesidad de intervención adicional del usuario, lo que permite que el cálculo sea realizado al instante.
 3. **Botón "Limpiar"**: El botón "Limpiar" está diseñado para facilitar la entrada de nuevos datos sin tener que reiniciar la aplicación. Al presionar este botón, los valores introducidos en las tres cajas de texto son eliminados, permitiendo que el usuario ingrese nuevos valores sin problemas. Para implementar esta funcionalidad, se utilizó una estructura condicional que, al activarse, borra el contenido de las tres cajas de texto.
 4. **Proceso de programación detrás de los botones**: En cuanto a la programación de los botones, se configuró el botón de "Calcular" de forma que, al ser presionado, recoja los datos introducidos en las cajas de texto correspondientes, realice el cálculo de la ecuación 10 y luego despliegue el resultado en la tercera caja. La ecuación es procesada por una fórmula matemática definida en el código, que toma los valores de las cajas de texto de manera dinámica y actualiza la interfaz con el resultado obtenido.

Para el botón "Limpiar", se programó una función condicional que revisa si el botón ha sido presionado y, si es así, limpia los campos de entrada. Esto se logra al reiniciar el contenido de las cajas de texto a su valor inicial vacío, permitiendo así al usuario comenzar de nuevo con un conjunto diferente de datos.

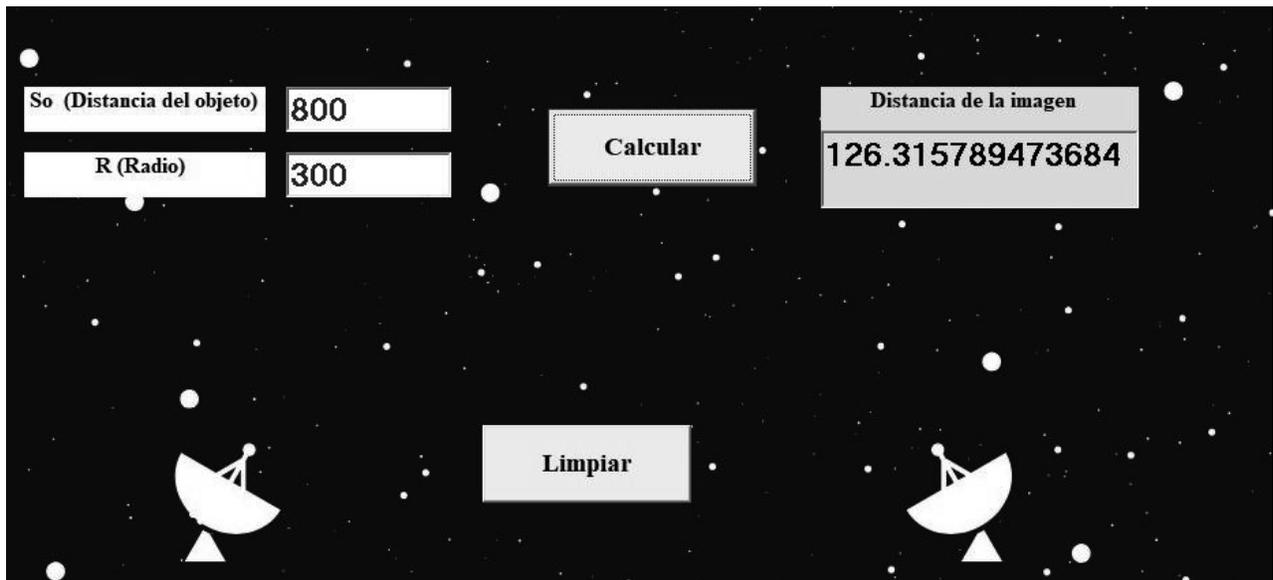


Fig. 3.5 Resultado de la aplicación (Autoría Propia.)

La interfaz de usuario de la aplicación ha sido diseñada para ser intuitiva y accesible pues se encuentra diseñada de forma clara y estructurada, lo que permite que cualquier persona, incluso sin experiencia en programación o matemáticas avanzadas, pueda utilizarla con facilidad. En la figura 3.6, se puede observar que la aplicación cuenta con una interfaz amigable para el usuario cuenta con campos para ingresar los valores de entrada, tales como la distancia del objeto a observar y el radio del radiotelescopio. Para ilustrar su funcionamiento, se anexan las dos imágenes siguientes, donde se visualizan los resultados de los cálculos realizados anteriormente. En estas, se verifica, compara y confirma que los resultados obtenidos coinciden con los cálculos realizados de manera manual, lo que valida la fiabilidad del programa. Este proceso de comparación asegura que la herramienta está funcionando correctamente y que las soluciones obtenidas son correctas.

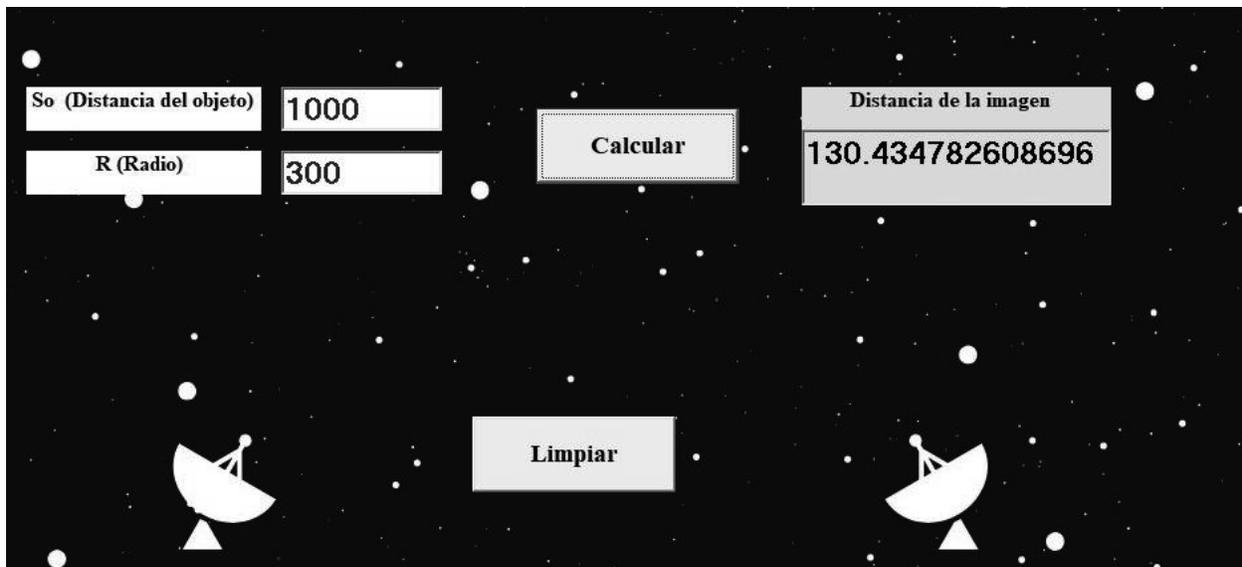


Fig. 3.6 Interfaz de Usuario (Autoría propia.)

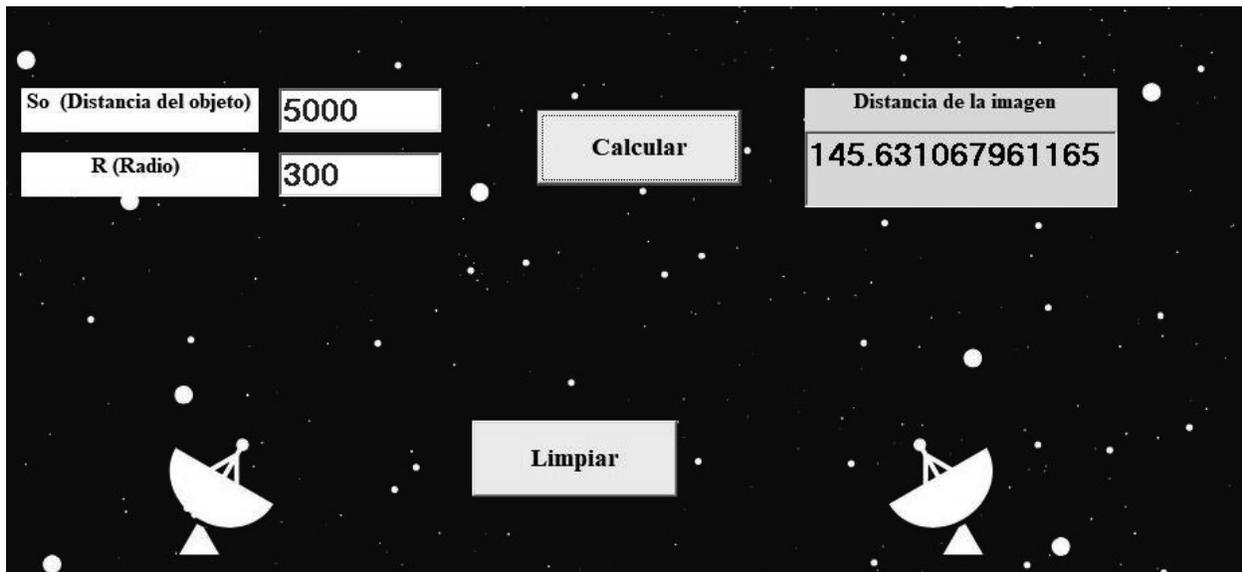


Fig. 3.7 Resultados obtenidos (Autoría propia.)

La aplicación ha sido desarrollada en un formato .exe (ejecutable), lo que garantiza su compatibilidad con sistemas operativos Windows. Esto permite que cualquier usuario con una computadora con Windows pueda ejecutar la herramienta sin necesidad de instalar software adicional o realizar configuraciones complejas. Con un simple clic en el archivo ejecutable, los usuarios pueden acceder a la aplicación y comenzar a utilizarla de inmediato para realizar los cálculos requeridos.

La herramienta resulta especialmente útil para estudiantes, ya que les permite realizar el cálculo de la ecuación 10 de manera rápida y eficiente, sin la necesidad de despejar variables o llevar a cabo cálculos complejos de forma manual. Esto no solo ahorra tiempo, sino que también reduce la posibilidad de errores en los cálculos, lo que puede ser un alivio para quienes están aprendiendo conceptos matemáticos avanzados.

Este formato también asegura que la herramienta sea fácilmente distribuible, ya que los usuarios pueden descargar el archivo .exe y almacenarlo en sus computadoras sin complicaciones. Una vez instalada, la aplicación está lista para su uso en cualquier momento.

En resumen, la aplicación desarrollada en Visual Basic ofrece una solución práctica y eficiente para optimizar el proceso de cálculo en el diseño de un radiotelescopio. Su capacidad para automatizar cálculos, verificar resultados y proporcionar información visual clara no solo mejora la gestión de los datos en la tesis, sino que también sirve como una herramienta educativa poderosa para estudiantes y profesionales interesados en la astronomía y la óptica aplicada.

4. Conclusión.

El uso de ecuaciones y técnicas provenientes de disciplinas como la óptica y la física, más allá de las herramientas tradicionales de telecomunicaciones, fue exitoso. Esto confirma que los enfoques interdisciplinarios pueden generar soluciones innovadoras y prácticas para problemas complejos en ingeniería.

Se diseñó una aplicación digital funcional que permite personalizar y ajustar las características y dimensiones del plato primario de un radiotelescopio. Esta herramienta se consolidó como un recurso clave para futuros desarrollos, ya que simplifica el proceso de diseño y asegura la precisión en las especificaciones técnicas.

Se comprobó que los principios de la óptica geométrica pueden integrarse eficazmente en el diseño de radiotelescopios, aprovechando la relación directa entre ambas disciplinas. Esto fortaleció la comprensión del proceso de diseño y abrió nuevas posibilidades para el desarrollo de herramientas y metodologías en telecomunicaciones.

El conocimiento y las herramientas desarrolladas en este trabajo ofrecen una base sólida para la adaptación y escalabilidad de radiotelescopios de diferentes tamaños. Esto permitirá enfrentar retos técnicos en proyectos más ambiciosos, promoviendo el avance de la investigación en el campo de la astronomía y las telecomunicaciones.

5. Trabajos a futuro.

Como continuación de la presente tesis, se identifican varias áreas de investigación que podrían ser exploradas en trabajos futuros. A continuación, se detallan algunas acciones y proyectos potenciales que podrían contribuir significativamente al avance en el diseño y la funcionalidad de los radiotelescopios:

- **Diseño de un plato principal con forma parabólica:**

Explorar el diseño detallado de un plato principal para un radiotelescopio con una configuración parabólica. Este tipo de diseño es crucial debido a su capacidad para enfocar las señales recibidas en un punto focal, lo que optimiza la recepción y la calidad de los datos. Se podrían investigar diferentes métodos de fabricación y materiales que maximicen la precisión y la durabilidad del plato parabólico.

- **Diseño de un plato principal con forma elíptica:**

Desarrollar un diseño para un plato principal con una forma elíptica, que puede ofrecer ventajas en términos de la captación de señales desde diferentes ángulos y la reducción de interferencias. Este proyecto implicaría la evaluación de las características ópticas y de recepción de las formas elípticas, así como la identificación de las mejores prácticas para su implementación y ajuste.

- **Fabricación del plato principal con materiales óptimos:**

Investigar y seleccionar el material más adecuado para la fabricación del plato principal del radiotelescopio, considerando factores como la resistencia, la ligereza, la adaptabilidad a condiciones ambientales y el costo. Se podría llevar a cabo un análisis comparativo de diferentes materiales y técnicas de fabricación para determinar cuál ofrece el mejor equilibrio entre rendimiento y viabilidad económica.

- **Desarrollo del receptor de señales y su decodificador:**

Diseñar y construir un receptor de señales altamente eficiente, así como su correspondiente decodificador, para asegurar la detección precisa y fiable de las señales captadas por el radiotelescopio. Este proyecto implicaría el desarrollo de algoritmos avanzados para la decodificación de señales y la integración de tecnología de punta para mejorar la capacidad de procesamiento de datos.

Cada una de estas acciones representa un área clave para el avance y la optimización de los radiotelescopios, y su investigación podría conducir a mejoras significativas en la capacidad de observación y análisis de fenómenos astronómicos.

Referencias.

- (1) ACT Government; PositionTitle=Director; SectionName=Corporate Management; Corporate=Chief Minister, Treasury and Economic Development Directorate. (s. f.). *Canberra Deep Space Communication Complex*. Defence.
<https://www.cmtedd.act.gov.au/economic-development/innovation-industry-investment/defence/companies/space/canberra-deep-space-communication-complex>
- (2) Briceño V., Gabriela. (2020). Radiotelescopio. Recuperado el 28 octubre, 2023, de Euston96:
<https://www.euston96.com/radiotelescopio/>
- (3) *El radiotelescopio Lovell de 76 metros* |. (s. f.). <https://observatorio.info/1996/03/el-radiotelescopio-lovell-de-76-metros/>
- (4) Huidobro, J. M. H. (20013). *Antenas de telecomunicaciones*. Recuperado 8 de diciembre de 2023, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39081826/020001-libre.pdf?1444454645=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dantenas.pdf&Expires=1702097698&Signature=YU8RoISyupwZIKJPx4zkFVHdvwgyD6YTHgNG2A3XHrz1HYWLMvdfUSVKLugGttgtPWdvsajAfzy~OMdgowBKremo7eLEySLlh6HoT13Ppw8LjkARTM0xSZ35y6vMptFB0xCLD2Or6nETUjtvix5AHmexhBRkJK9QqrV0mbdQ-HwJP-P8YRml1do0D4HMe8h~nvaFjuY7NIotnrIi5hWCE1mOPh7OZ8KSZmiGaFJkPFzjgg3jFWISlpV0nLStfEq5m3~ap8jqAwmakR9ojwTFPmBVVfqCeUTktXmEz5-o695c~xFYBHtzRWhEvtxYEyUjdjrRjtqyeJhP9Fz619UPUQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- (5) Libretexts. (2022, 2 noviembre). 6.4: *Radiotelescopios*. LibreTexts Español.
[https://espanol.libretexts.org/Fisica/Astronom%C3%ADa_y_Cosmolog%C3%ADa/Libro%3A_Astronom%C3%ADa_\(OpenStax\)/06%3A_Instrumentos_astron%C3%B3micos/6.04%3A_Radiotelescopios](https://espanol.libretexts.org/Fisica/Astronom%C3%ADa_y_Cosmolog%C3%ADa/Libro%3A_Astronom%C3%ADa_(OpenStax)/06%3A_Instrumentos_astron%C3%B3micos/6.04%3A_Radiotelescopios)
- (6) Morison, I. (2008, septiembre). *The Lovell Telescope* | *Jodrell Bank Centre for Astrophysics*. MANCHESTER 1824. Recuperado 2 de febrero de 2024, de <https://www.jb.man.ac.uk/aboutus/lovell/>
- (7) *TELESCOPIOS* y *ESTRELLAS*. (s. f.).
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/057/htm/telescop.htm>

- (8) *Teoría de antenas: Guía de estudio : Jaime Anguera : Free download, borrow, and streaming : Internet Archive.* (2008). Internet Archive.
<https://archive.org/details/2008TeoriaDeAntenas/mode/1up>
- (9) *Wikiwand - Goldstone Deep Space Communications Complex.* (s. f.). Wikiwand.
https://www.wikiwand.com/en/Goldstone_Deep_Space_Communications_Complex

Referencias de imagenes

- (1) Corral J., S.F., Antenas de apertura. Bocinas. Reflectores. Antenas.
<https://personales.upv.es/~jlcarral/antenas/tema7.htm>
- (2) *LMT - Large Millimeter Telescope Alfonso Serrano.* (s. f.). <http://lmtgtm.org/>
- (3) S.N., Antena Helicoidal Passiva Professional Wireless Para Sem Fio e In Ear - HA8089. LISTERSOM. <http://www.listenersom.com.br/audio-profissional/antenas-para-sem-fio/antena-helicoidal-passiva-professional-wireless-para-sem-fio-e-in-ear-ha8089>
- (4) S.N., Antena Parabólica Foco Primario 1.80 MTS Paneles de Acero. MAYORTEC.
<https://www.mayortec.mx/antena-parabolica-foco-primario-180-cm-braket-dual-lnb-c.html>
- (5) S.N., Antena parabólica Offset de 150cm. Ampliantena.
<https://www.ampliantena.com/satelite/antenas-parabolicas/antena-parabolica-offset-de-150cm.html>
- (6) S.N., Antena tipo reflector de 19 dBi para radio ePMP5-I APMPR519. Cambium Networks.
<https://pcredcom.com/antena-tipo-reflector-de-19-dbi-para-radio-epmp5-i-apmpr519-sys-apmpr519.html>
- (7) S.N., Junio 29, 2016. La antena parabólica Cassegrain. FTAGUATEMALA.
<https://ftaguatemala.blogspot.com/2016/06/la-antena-parabolica-cassegrain.html>
- (8) S.N., S.F., Antena Espiral 433Mhz. RECICOMP. <https://www.recicomp.com.br/produtos/antena-espiral-433mhz/>