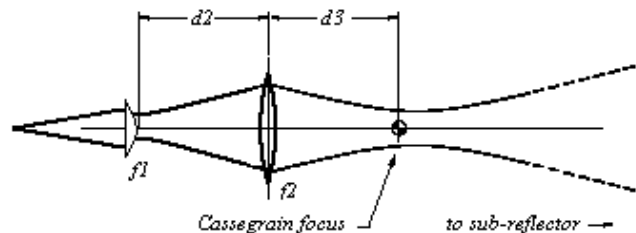


Técnicas Quasi-Ópticas (QO) y su aplicación en Radioastronomía

Una de las definiciones más ampliamente aceptadas para la Quasi-óptica es la que la sitúa dentro del estudio de la propagación de un haz de radiación razonablemente bien colimado pero con relativamente pequeñas dimensiones (en comparación con su longitud de onda). Si bien al principio esta definición parece reducir su uso a un pequeño grupo de aplicaciones, realmente cubre un amplio e importante rango de situaciones prácticas de diseño de sistemas, desde frecuencias de microondas hasta ondas submilimétricas.

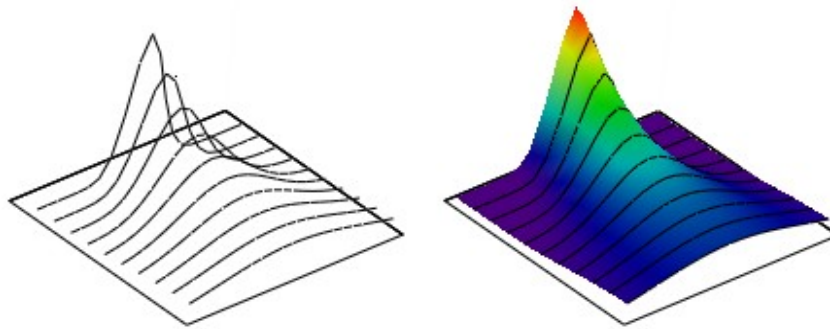
Los principios anteriores se cumplen en las aplicaciones de propagación de radioastronomía. Los antenas de tipo cassegrain, usados ampliamente como radiotelescopios, tienen en general unas altas relaciones F/D (cociente entre la distancia focal equivalente y el diámetro del reflector principal), lo que los incluye en el selecto grupo de aplicaciones que pueden ser tratados por la QO. Cabe señalar, que la QO puede ser aplicada en los puntos donde se cumplan unas relaciones F/D mayores a uno. Este criterio reduce el campo de aplicación en los radiotelescopios, siendo el estudio de la propagación de las antenas alimentadoras a través de los distintos elementos ópticos hasta el subreflector, el campo principal de aplicación. Por lo tanto, la QO es usada principalmente, en el diseño y análisis de la propagación en la zona focal del radiotelescopio. El espacio de la zona focal, que es compartida por los receptores de microondas y la óptica adicional se llama cabina de receptores.



Existen dos aproximaciones dentro de la teoría de la QO, con diferente grado de precisión; Propagación de Modo Fundamental y la Propagación de los Modos Superiores (Beam Mode Expansion BME). Ambas aproximaciones incluyen los efectos de la difracción dentro de unos límites razonables y generalmente no muy restrictivos.

– Propagación en Modo Fundamental

La solución de la ecuación de ondas bajo la condición de que el haz varíe más rápidamente en su dirección de propagación que en la dirección transversal, se llama solución a la ecuación de ondas paraxial. El resultado es un haz suma de un número de modos ortogonales, radiado de forma casi paralela al eje de propagación (anchuras de haz a -3dB menores de 20°). El modo fundamental de ese conjunto de modos, tiene una distribución transversal de amplitud de forma gaussiana y fase esférica.



La forma de la distribución de la amplitud se mantiene gaussiana durante toda la propagación del haz, variando solamente su anchura. Respecto de la fase, tenemos un frente de onda esférico cuyo radio de curvatura va cambiando a medida que se propaga el haz.

La ventaja fundamental de la QO en el diseño de la óptica de la zona focal frente a otros métodos, es que se maneja directamente la solución de la ecuación de ondas. Por lo tanto la solución es válida tanto en el campo lejano como en el campo cercano de la fuente.

Esta aproximación carece de sentido si no existen elementos que radien de acuerdo a estas características. Los alimentadores usados en la zona focal del radiotelescopio acoplan gran parte de su energía de radiación en el modo fundamental. Así por ejemplo, la bocina cónica corrugada, que pasa por ser una antena ampliamente usada en estos sistemas por su simetría de haz y pureza de polarización, acopla el 98 % de energía radiada al modo fundamental.

Otro aspecto importante a tener en cuenta acerca de la propagación en modo fundamental, son las transformaciones que sufre el haz cuando pasa por los distintos elementos ópticos. Estos son necesarios en la cadena óptica para transformar las propiedades de enfoque del haz con objeto de acoplarlo al radiotelescopio.

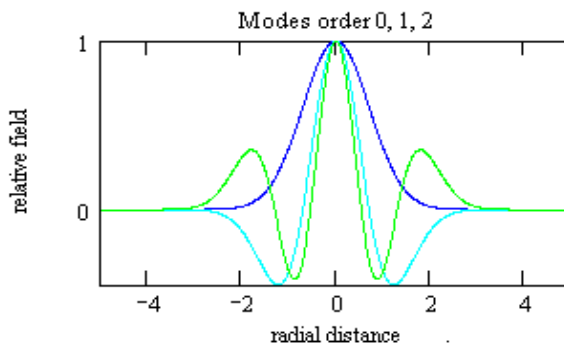
En la práctica, diversos elementos ópticos se comportan como transformadores de fase cumpliendo la aproximación de lente delgada. Las lentes dieléctricas cuya forma se define por superficies de revolución de perfil cónico o plano, son los ejemplos más

claros de lente delgada. Otro elemento usado, son los espejos de sección elíptica de revolución, que permiten cambiar la dirección de propagación del haz. Las primeras tienen por ventajas, la simetría del haz tras la transformación, la facilidad de construcción y el coste, mientras que los segundos mejoran las pérdidas del sistema.

Los sistemas diseñados con el modo fundamental deben ser sistemas donde las dimensiones de los elementos ópticos que lo compongan eviten el truncamiento. Esta condición es básica para que se mantengan las propiedades de gaussianidad y equifase esférica del modo fundamental. En la práctica es imposible evitar el truncamiento y se adopta la regla de diseño donde se impone que las dimensiones de los elementos (incluidos los iris del sistema) sean tales que las pérdidas en el haz radiado sean inferiores a 0.03 %.

– **Propagación de los Modos Superiores (BME)**

La Propagación de Modos Superiores (BME) consiste en la propagación de todos los modos que son solución de la ecuación de ondas paraxial incluyendo el modo fundamental. La propagación de estos modos se realiza de forma independiente gracias que forman un conjunto de funciones ortogonales. Para analizar el campo resultante en cualquier punto, deben sumarse los modos con sus fases correspondientes. Cuando todos los modos son considerados, se generaliza la solución de la ecuación de ondas de forma que no restringimos la propagación a un solo modo gaussiano. De esta manera podemos propagar en el sistema haces cuya distribución no sea sólo gaussiana y con frente de ondas esférico.



La ventaja de esta descripción modal frente a otras como modos esféricos es la simplicidad de propagación de los modos, el alto porcentaje de energía que viaja en el modo fundamental y el bajo número de modos necesarios (menor de 30).

– **Bocina Cónica Corrugada con Lente de Menisco**

El estudio de la Propagación en Modos Superiores (BME) de diversos alimentadores ha sido desarrollado por numerosos investigadores obteniendo los coeficientes BME , a partir del campo en la apertura del alimentador. De la numerosa lista de investigadores cabe señalar a Richard Wyld que desarrolló la descripción BME de la bocina cónica corrugada y J.A. Murphy que desarrolló la teoría para las bocinas cónicas lisas. Investigadores del OAN han desarrollado el modelo BME de la bocina cónica corrugada con lente de menisco. Dicho desarrollo ha sido utilizado en la óptica de la cabina de

receptores del 40m y en la óptica de la banda 3 del proyecto [ALMA \(Atacama Large Milimetre Array\)](#)

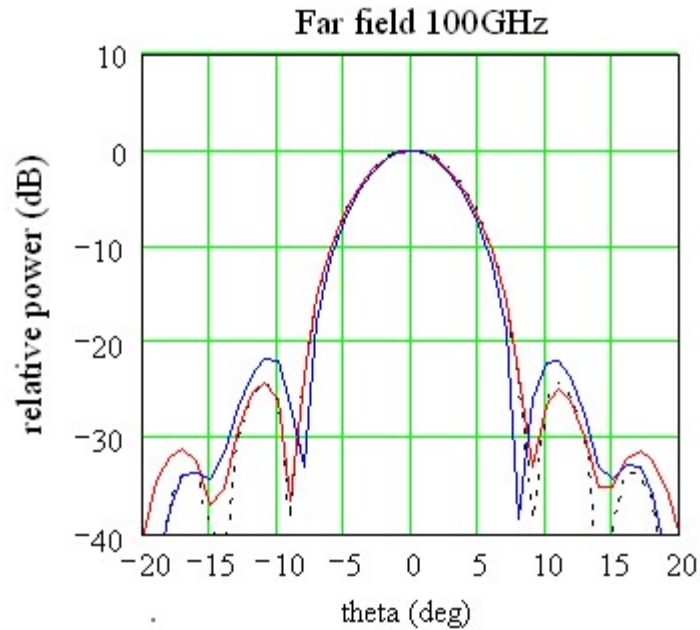
La bocina cónica corrugada es un alimentador ampliamente usado en radioastronomía debido a su simetría de haz y pureza de polarización. También es un buen alimentador gaussiano con coeficientes de acoplamiento al modo fundamental gaussiano del 98%. En radiotelescopios de foco Cassegrain-Nasmyth con alta relación F/D, se diseñan focos terciarios con elementos ópticos adicionales para conseguir un tamaño razonable de las antenas alimentadoras. Los elementos ópticos adicionales consisten en espejos elípticos offset o lentes dieléctricas. Bajo estas condiciones el tipo de bocinas a emplear son las denominadas bocinas limitadas por su apertura (aperture limited corrugated horn). Dichas bocinas se caracterizan por tener unos semiángulos de abocinamiento pequeños y una gran longitud axial. Son por lo tanto difícil de integrar en los criostatos que alojan a los receptores y costosas de construir (procesos de electroformado más costosos que el mecanizado directo).



Este diseño puede mantenerse usando bocinas más cortas, con mayor ángulo de abocinamiento y por lo tanto mayor error de fase, el cual es corregido por una lente dieléctrica situada en su boca. La lente empleada no solo transforma el frente de ondas esférico en un frente de ondas plano a la salida de lente, sino que modifica la distribución de amplitud transversal, haciéndola más uniforme y aumentando la eficiencia de apertura del sistema.

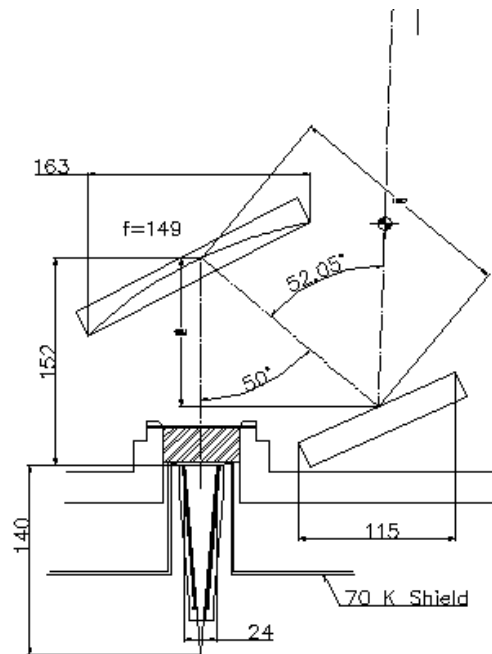


El modelo teórico ha sido comprobado mediante medidas en la cámara anecoica de IRAM, obteniendo unos resultados consistentes con el modelo teórico.



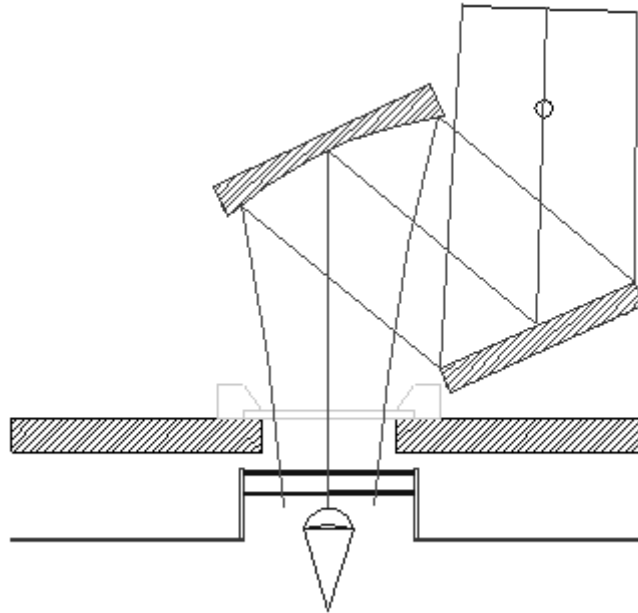
– Óptica de la banda 3 de ALMA

El diseño actual de la banda 3 de [ALMA](#) presenta problemas de integración de los criostatos. El alimentador de la banda 3 debe ser refrigerado a temperaturas criogénicas (por debajo de 250°C bajo cero) pero el diseño de la óptica de la zona focal obliga a adelantar su posición respecto a la cubierta superior del criostato a temperatura ambiente. Desde el punto de vista criogénico y mecánico es un diseño posible pero no recomendable.



Band 3

La solución propuesta por el OAN está basada en una antena alimentadora del tipo cónico corrugado con lente de menisco. La principal ventaja de la nueva óptica es la simplificación del diseño del criostato, manteniendo el alimentador por detrás de la cubierta superior del criostato. Este diseño ha mantenido la posición de todos los elementos exteriores en sus posiciones nominales de partida, por lo que los cambios sobre el diseño general son mínimos y el nuevo diseño es directamente sustituible.



Respecto al comportamiento electromagnético de ambas ópticas, la nueva óptica mantiene las prestaciones del antiguo diseño con eficiencias de apertura de todo el sistema (alimentador, óptica y antena) mejores al 81% en toda la banda de 84-116 GHz y lóbulos secundarios mejores de -20 dB.

