

Eficiencia por bloqueo en un paraboloide
Antena de 40m

P. de Vicente

Informe Técnico IT-CAY 1998/10

Índice

1. Introducción	2
2. Ecuación de la parábola	2
3. Cálculo del bloqueo	3
3.1. Iluminación uniforme	5
3.2. Iluminación con un “taper”	6
4. Eficiencia por bloqueo	7
5. Conclusiones	7
6. Casos prácticos	8
7. Bibliografía	9

1. Introducción

El bloqueo de la apertura de una antena parabólica es una de las causas que reducen la ganancia de ésta. El bloqueo lo producen las patas de soporte del subreflector o de la bocina, en el caso de que aquel no exista, y el subreflector, si la antena es cassegrain, o la bocina, si el foco es primario.

El método de cálculo empleado aquí se basa en principios de óptica geométrica. Los resultados que se obtienen son por tanto válidos si las longitudes de onda de observación son mucho menores que el tamaño de las piezas mecánicas, en particular que la anchura de las patas, que es el elemento más crítico.

En este informe supondremos que la antena es un cassegrain. Aunque las expresiones que aparecen en este informe se han derivado independientemente, se publicaron por primera vez por Ruze (1968).

Se ha incluido en la pagina “web” del OAN un programa interactivo de cálculo del bloqueo (<http://www.oan.es/tech/progs/bloqueo.html>). Para poder usarlo es necesario cargar previamente el plugin de Tcl/Tk en el navegador que se utilice.

2. Ecuación de la parábola

La ecuación de una parábola se puede escribir del siguiente modo:

$$4fz = x^2 \quad (1)$$

o bien,

$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos \theta} \quad (2)$$

donde las diferentes variables se definen en la figura 1

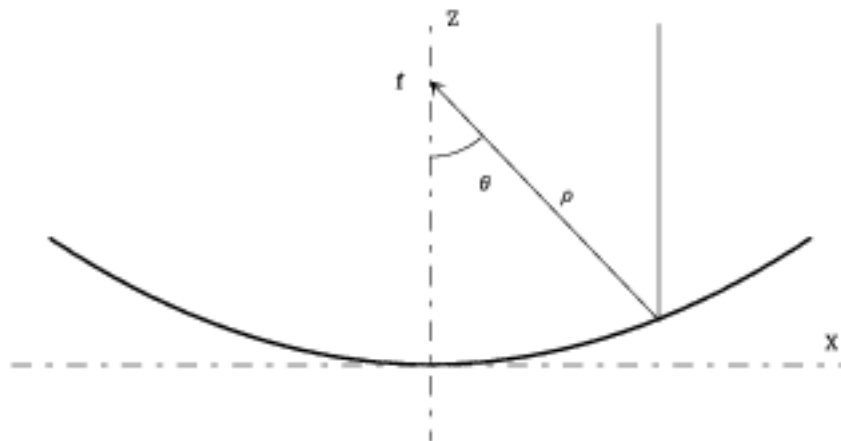


Figura 1: Parábola de $f/D = 0.375$. Trayectoria de un rayo

3. Cálculo del bloqueo

Sean,

D	Diámetro de la antena
f	Focal del paraboloide
D_s	Diámetro del hiperboloide
r_0	Distancia de la base de la pata al centro del paraboloide
α	Angulo que forman las patas con el eje del paraboloide
w	Grosor de las patas en dirección tangencial
N	Número de patas

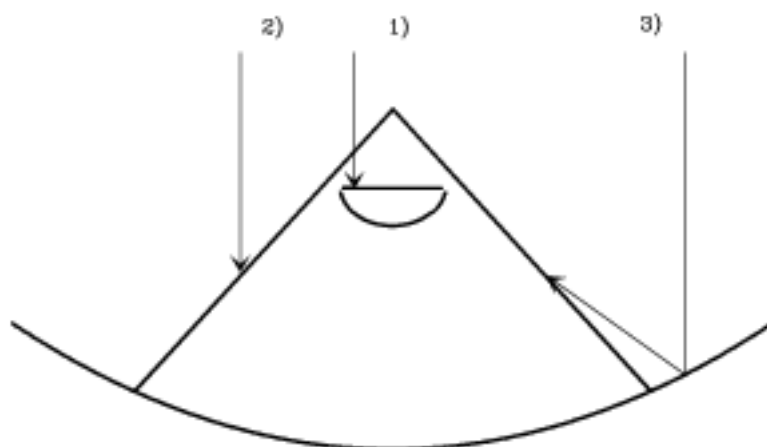


Figura 2: Bloqueo de la radiación por tres efectos. 1) Subreflector. 2) Las patas antes de la reflexión en el primario. 3) Las patas después de reflejarse el rayo en el primario

La reducción de la ganancia se calcula estimando el área bloqueada frente al área total que intercepta el paraboloide pesadas ambas por la función de iluminación, $f(r)$. El bloqueo se puede dividir artificialmente en tres partes (figura 2):

1. área bloqueada por el subreflector

$$A_1 = 2\pi \int_0^{D_s/2} f(r)rdr \quad (3)$$

2. área bloqueada por las patas antes de reflejarse en el reflector primario

$$A_2 = w \int_{D_s/2}^{r_0} f(r)dr \quad (4)$$

donde hemos supuesto que la anchura de las patas es muy pequeña y por tanto $f(r)$ vale igual en el centro de la sombra de la pata que en los bordes.

3. area bloqueada por las patas despues de reflejarse en el reflector primario

$$A_3 = 2N \int_{r_0}^{D/2} h(r)f(r)dr \quad (5)$$

donde $h(r)$ es la función que representa la sombra de la pata sobre el paraboloide desde r_0 hasta $D/2$. En este caso se hace la misma hipótesis que antes, $f(r)$ tiene el mismo valor en el centro de la sombra que en los bordes. En una antena de 40m con una pata de anchura 0.5 m y $f/D = 0,375$ el máximo ángulo de separación (β) es de 3.5° . Para obtener esta función utilizaremos la figura 3.

Figura A)



Figura B)

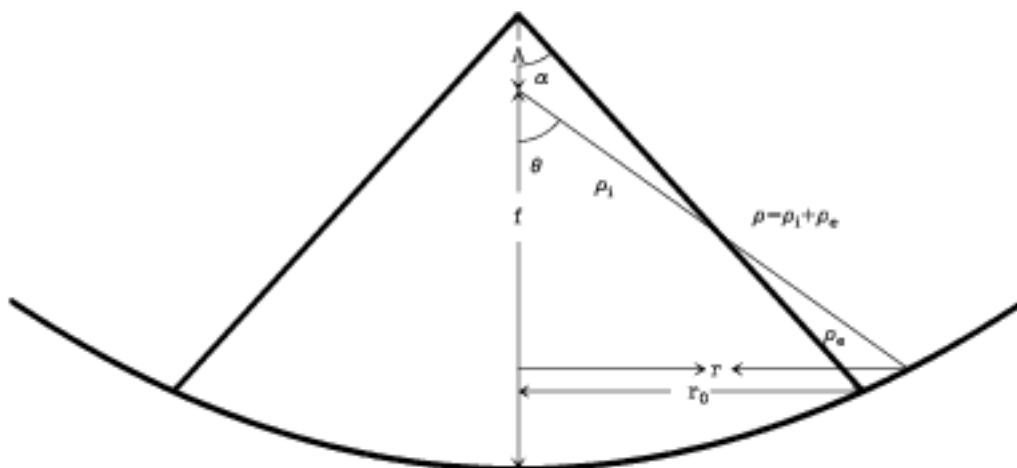


Figura 3: Geometría de un rayo reflejado en el primario y que llega al foco pasando junto al borde de una pata de la antena. A) Vista desde una dirección perpendicular al rayo. B) Corte radial de la antena seccionando dos patas por la mitad.

Imaginemos que un rayo sale del foco del paraboloide y pasa por el borde de una pata. La figura 3B muestra un corte transversal de la trayectoria del rayo. La figura 3A muestra la trayectoria del rayo desde una dirección perpendicular a él contenida en un meridiano del

paraboloide. Entonces,

$$h(r) = \rho \tan \beta = \rho \frac{w/2}{\rho_i} \quad (6)$$

donde

$$\rho_i = \frac{A \sin \alpha}{\sin(\theta - \alpha)} \quad (7)$$

Por tanto,

$$h(r) = \frac{\rho w \sin(\theta - \alpha)}{2A \sin \alpha} \quad (8)$$

sustituyendo ρ por su valor en la expresión 2, obtenemos,

$$h(r) = \frac{fw \sin(\theta - \alpha)}{A \sin \alpha (1 + \cos \theta)} \quad (9)$$

donde θ es función del radio r . Utilizando las expresiones 1 y 2 y teniendo en cuenta que $x = r$, y que $r = \rho \sin \theta$,

$$h(r) = \frac{fw}{A \sin \alpha (1 + \cos \theta)} [\sin \theta \cos \alpha - \cos \theta \sin \alpha] \quad (10)$$

$$= \frac{w}{2A \sin \alpha} [r \cos \alpha - (f - r^2/4f) \sin \alpha] \quad (11)$$

y el area A_2 queda,

$$A_2 = \frac{Nw}{A \sin \alpha} \left[\cos \alpha \int_{r_0}^{D/2} f(r)r dr - f \sin \alpha \int_{r_0}^{D/2} f(r) dr + \frac{\sin \alpha}{4f} \int_{r_0}^{D/2} f(r)r^2 dr \right] \quad (12)$$

3.1. Iluminación uniforme

La iluminación uniforme es irrealista ya que la eficiencia de la antena es extremadamente pequeña debido al “spillover”, un efecto que no se considera en este informe. En esta sección se ha calculado para compararlo con el supuesto más realista de una iluminación con un taper.

En el caso de iluminación uniforme la integración de la expresiones anteriores se hace con $f(r) = 1$. Queda como sigue,

1. Area afectiva

$$A_0 = \pi \frac{D^2}{4} \quad (13)$$

2. Bloqueo por el subreflector.

$$A_1 = \pi \frac{D_s^2}{4} \quad (14)$$

3. Bloqueo por las patas antes de la reflexión en el primario.

$$A_2 = wN(r_0 - D_s/2) \quad (15)$$

4. Bloqueo por las patas despues de la reflexión en el primario.

$$A_3 = \frac{wN}{A \sin \alpha} \left[\frac{\cos \alpha}{2} (D^2/4 - r_0^2) - f \sin \alpha (D/2 - r_0) + \frac{\sin \alpha}{12f} (D^3/8 - r_0^3) \right] \quad (16)$$

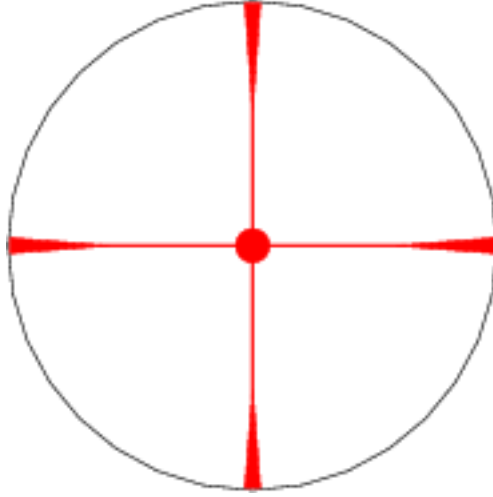


Figura 4: Area bloqueada en un paraboloide por las patas y el subreflector. Vista frontal. Las dimensiones son arbitrarias.

3.2. Iluminación con un “taper”

Supongamos que $f(r) = (1 - ar^2)$. Esta función aproxima en primer orden un coseno y facilita la integración de las expresiones anteriores. a se puede elegir de modo que la iluminación en el borde sea y dB respecto del centro. En ese caso,

$$a = 4 \frac{1 - (10^{-y/10})}{D^2} \quad (17)$$

Y las areas valen,

1. Area afectiva

$$A_0 = \pi \frac{D^2}{4} \left(1 - \frac{aD^2}{8}\right) \quad (18)$$

2. Bloqueo por el subreflector.

$$A_1 = \pi \frac{D_s^2}{4} \left(1 - \frac{aD_s^2}{8}\right) \quad (19)$$

3. Bloqueo por las patas antes de la reflexión en el primario.

$$A_2 = wN \left[(r_0 - D_s/2) - \frac{a}{3} \left(r_0^3 - \frac{D_s^3}{8} \right) \right] \quad (20)$$

4. Bloqueo por las patas despues de la reflexión en el primario.

$$A_3 = \frac{Nw}{A \sin \alpha} \left[\frac{\cos \alpha}{2} \left((D^2/4 - r_0^2) - \frac{a}{2} (D^4/16 - r_0^4) \right) - f \sin \alpha \left((D/2 - r_0) - \frac{a}{3} (D^3/8 - r_0^3) \right) + \sin \alpha \left(\frac{D^3/8 - r_0^3}{12f} - \frac{a}{20f} (D^5/32 - r_0^5) \right) \right] \quad (21)$$

4. Eficiencia por bloqueo

La eficiencia por bloqueo se calcula de acuerdo con la siguiente expresión,

$$\eta_b = G/G_0 = \left(1 - \frac{A_1}{A_0} - \frac{A_2}{A_0} - \frac{A_3}{A_0}\right)^2 \quad (22)$$

5. Conclusiones

- El bloqueo por las patas depende fuertemente de la distancia de la base de la pata al eje del paraboloide, y de la anchura de ésta. El caso de menor bloqueo se produce cuando las patas están en el borde del reflector primario.
- El bloqueo por las patas despues de la reflexión en el primario es el factor que más contribuye al bloqueo cuando la distancia de la base de la pata al eje del paraboloide es aproximadamente menor del 70 % del radio del paraboloide.
- La introducción de un taper de 12 dB disminuye el area efectiva de la antena un 47 %.
- Con un taper de 12 dB la eficiencia de bloqueo producida por el subreflector es el doble que en el caso de iluminación uniforme. Esto se debe a que el area efectiva disminuye a la mitad mientras que el bloqueo producido por el subreflector es aproximadamente el mismo, ya que se produce donde la iluminación del paraboloide es máxima.

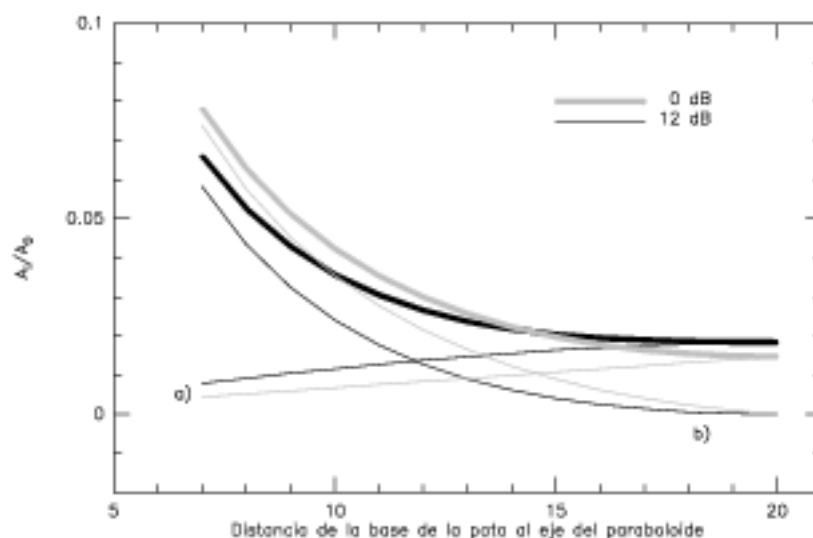


Figura 5: Eficiencia por el bloqueo de las patas para una antena de 40m, $f/D = 0,375$, dist. postfoco 2m, anchura de las patas de 0.17 m y dos iluminaciones diferentes. a) previa a la reflexión, b) posterior a la reflexión. La curva gruesa es la suma de ambas contribuciones.

- El taper de 12 dB reduce la contribución del bloqueo por las patas despues de la reflexión en el primario. Esto se debe a que dicho bloqueo se produce en una zona de la antena donde la iluminación es muy débil y apenas contribuye al area total de ésta. Sin embargo

el bloqueo por las patas antes de la reflexión en el primario, aumenta con un taper de 12 dB ya que esta contribución se produce desde la zona interior adyacente al subreflector hasta la base de la pata. Hay una cantidad mayor de area bloqueada en la mitad interna de la antena, que contribuye más al area total, que en la externa, que contribuye menos al area total.

6. Casos prácticos

Se ha estimado la eficiencia por bloqueo para 3 antenas diferentes, 14m del OAN, 40m del OAN y 30m de IRAM con iluminaciones de 0 y 12 dB. Ver la tabla 1

Antena	D	f/D	r_0	w	Taper	A_1/A_0	A_2/A_0	A_3/A_0	η_b
CAY	13.7	0.37	6.56	0.1	0	0.006	0.016	0.002	0.953
IRAM	30	0.35	8.8	(0.5,0.25)	0	0.004	0.015	0.034	0.896
OAN	40	0.375	13.66	(0.54,0.17)	0	0.005	0.012	0.011	0.945
CAY	13.7	0.37	6.56	0.1	12	0.011	0.021	0.001	0.936
IRAM	30	0.35	8.8	(0.5,0.25)	12	0.008	0.024	0.021	0.896
OAN	40	0.375	13.66	(0.54,0.17)	12	0.010	0.017	0.006	0.934

Cuadro 1: Eficiencia por bloqueo para 3 antenas diferentes con iluminación uniforme y con un taper de 12 dB.

Antena	D	f/D	r_0	w	Taper	A_1/A_0	A_2/A_0	A_3/A_0	η_b
OAN	40	0.375	13.66	0.5	0	0.005	0.021	0.029	0.892
OAN	40	0.375	13.66	0.17	0	0.005	0.007	0.009	0.958
OAN	40	0.375	13.66	(0.54,0.17)	0	0.005	0.012	0.011	0.945
OAN	40	0.375	17.06	0.5	0	0.005	0.027	0.008	0.920
OAN	40	0.375	17.06	0.17	0	0.005	0.008	0.003	0.968
OAN	40	0.375	17.06	(0.54,0.17)	0	0.010	0.015	0.005	0.951
OAN	40	0.375	13.66	0.5	12	0.010	0.033	0.015	0.887
OAN	40	0.375	13.66	0.17	12	0.010	0.010	0.005	0.951
OAN	40	0.375	13.66	(0.54,0.17)	12	0.010	0.017	0.006	0.934
OAN	40	0.375	17.06	0.5	12	0.010	0.038	0.003	0.901
OAN	40	0.375	17.06	0.17	12	0.010	0.012	0.001	0.955
OAN	40	0.375	17.06	(0.54,0.17)	12	0.010	0.018	0.002	0.941

Cuadro 2: Eficiencia por bloqueo para el 40m con diferentes iluminaciones (0 y 12 dB), anchuras de patas y posiciones de la base de éstas respecto del eje del paraboloide.

La eficiencia por bloqueo estimada para la antena de **40m** para una iluminación con un taper de 12 dB es por tanto,

$$\eta_b = 0,93$$

Hemos considerado además otros casos para la antena de 40m que se han resumido en la tabla 2. Estos casos, que fueron contemplados en el proceso de diseño, permiten comprender como varía el bloqueo en función de la anchura de las patas y de la situación de estas respecto del eje del paraboloide para dos iluminaciones diferentes.

Como se puede observar, el uso de dos anchuras diferentes en cada pata de la antena de 40m, gruesa en la parte inferior y fina en la superior, mejora considerablemente la eficiencia de la antena respecto del uso de la anchura mayor. La eficiencia es prácticamente la misma que con la anchura menor de la pata. La elección de la anchura de la pata en su base se tomó para evitar frecuencias de resonancia bajas. El desplazamiento de la base de la pata de 17.06 metros a 13.66 metros se hizo para minimizar las deformaciones del reflector, y supone una reducción de la eficiencia de un 1% aproximadamente.

7. Bibliografía

Ruze J., 1968, Instrumentation and Techniques for Radio Astronomy, IEEE Press, pags, 77-80.

Apéndice