

Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia Segunda parte, Tema VII

Master en Ingeniería Informática y de Telecomunicación,
2º cuatrimestre (6 créditos ECTS)

Profesores: Jorge A. Ruiz Cruz (jorge.ruizcruz@uam.es)
Jose Luis Masa Campos (joseluis.masa@uam.es)

Grupo colaborador: Grupo de Radiación. Dpto. SSR.UPM



Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid



Segunda parte de ACAF: Antenas



I. Principios básicos de una antena

II. Antenas lineales

III. Antenas impresas

IV. Antenas banda ancha, multibanda e independientes de la frecuencia

V. Agrupación de antenas. Arrays

VI. Antenas de apertura. Bocinas

➔ VII. Reflectores

Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia. www.eps.uam.es/~acaf
Master en Ingeniería Informática y Telecomunicaciones
Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid
José Luis Masa Campos. jose Luis.masa@uam.es

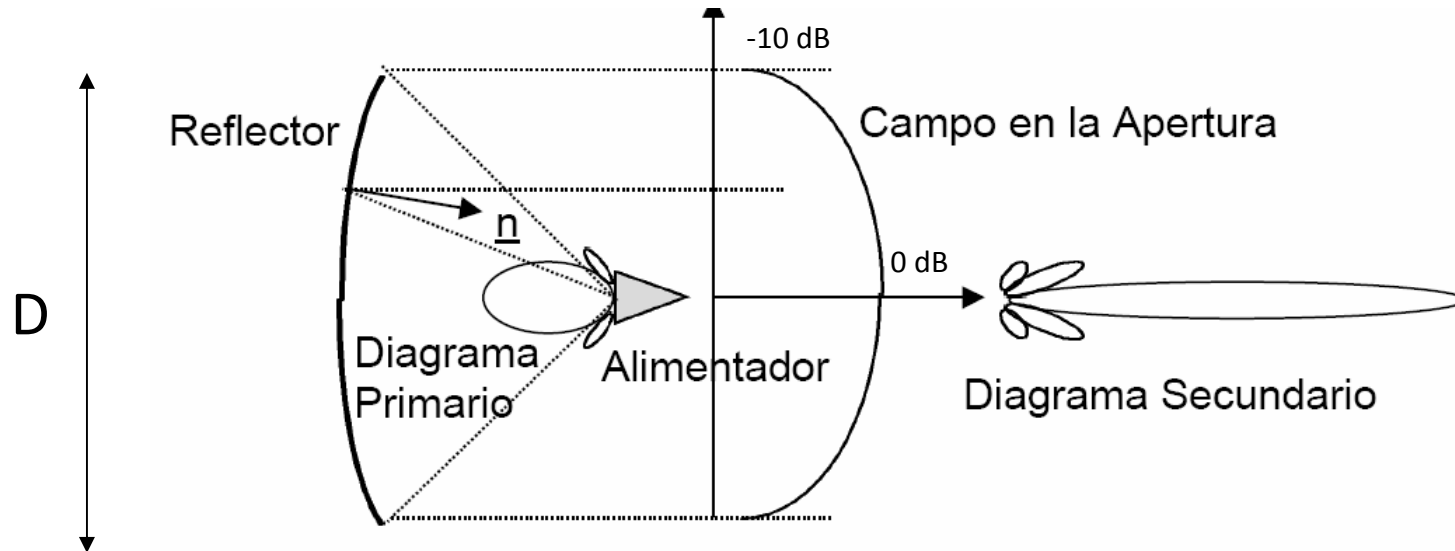
VII. Reflectores



1. Concepto de antena reflectora.
2. Reflector parabólico centrado.
 - a. Geometría
 - b. Campo en la apertura
 - c. Polarización
 - d. Campo radiado
 - e. Distribución parabólica sobre pedestal
 - f. Ganancia
3. Reflector parabólico descentrado
4. Reflectores dobles.
 - a. Sistema Cassegrain Centrado
 - b. Sistema Gregoriano Centrado
5. Análisis del bloqueo mediante Modelo de Sombra Total
6. Reflectores conformados
7. Ganancia de antenas reflectoras

1.- Concepto de antena reflectora

- Son antenas que utilizan un espejo reflector metálico para concentrar la radiación poco directiva de un alimentador pequeño en un haz colimado de alta directividad

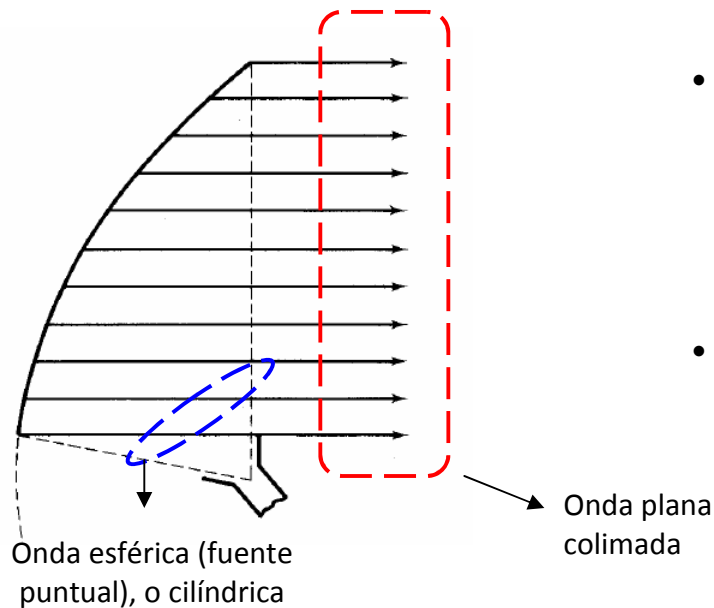
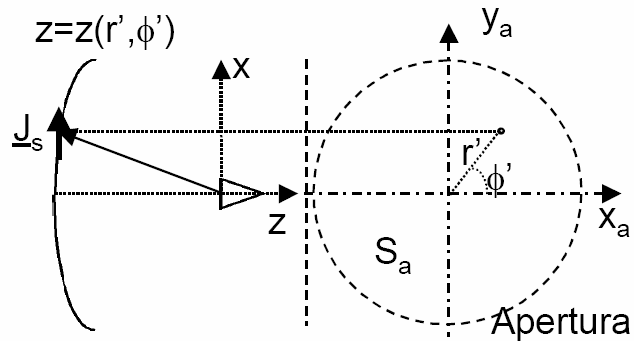


- Anchura de haz aproximada de la antena reflectora

$$\Delta\theta_{-3dB} \approx 70 \frac{\lambda}{D} (\text{grados})$$

1.- Concepto de antena reflectora. *Óptica Geométrica*

- Las antenas reflectoras se pueden analizar utilizando Óptica Geométrica. Con ello es posible calcular los campos en la apertura equivalente que corresponde al conjunto de antena reflectora



- Los campos lejanos se obtienen usando el Principio de Equivalencia de antenas de apertura
- Para reflectores enfocados, las ondas que se manejan en la estructura son:
 - Onda esférica de un alimentador pequeño que funciona como fuente puntual

$$E = E_0 \frac{e^{-jkr}}{r}$$

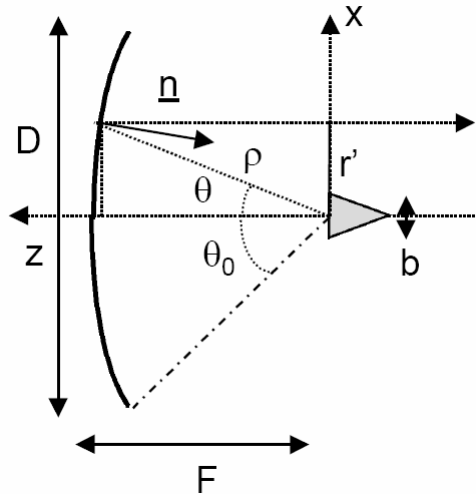
- Onda cilíndrica de un alimentador que actúa como fuente lineal en campo próximo

$$E = E_0 \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{\rho}}$$

- Ondas planas colimadas por el reflector parabólico

$$E = E_0 e^{-jkz}$$

2.- Reflector Parabólico Centrado. Geometría



- Ecuación de la superficie parabólica

$$\rho = \frac{2F}{1 + \cos \theta} = \frac{F}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

- Transforma una onda esférica radiada desde el foco del reflector en una onda plana. Los rayos implicados son:

$$\hat{i} = \hat{\rho}$$

Incidente

$$\hat{r} = -\hat{z}$$

Reflejado

$$\hat{n} = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\hat{\rho} + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\hat{\theta}$$

Normal a la superficie parabólica

- Camino óptico Foco-Apertura:

$\rho + \rho \cos \theta = 2F = cte \Rightarrow$ Los campos estarán en fase en la apertura, siempre que el centro de fase del alimentador coincida con el foco

- Semiángulo subtendido del reflector:

$$r' = \rho \cdot \sin \theta = \frac{2F}{1 + \cos \theta} \sin \theta = 2F \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow \text{Particularizando en } r' = D/2 \quad \frac{D}{2} = 2F \cdot \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \Rightarrow \theta_0 = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{1}{4F/D}\right)$$

- Los ángulos θ_0 de la tabla indican que los alimentadores deben ser poco directivos, por ejemplo, bocas de guías abiertas.

F/D	θ_0
0,25	90°
0,33	74°
0,4	64°

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Campo en la apertura*

- Si tenemos en cuenta los siguientes datos del **alimentador**:
 - Potencia entregada: P_{al} ; Ganancia: $G_{al}(\theta, \phi)$; Polarización: \hat{e}_i ; Campo: E_i
- , la relación existente entre ellos será:

$$PIRE(\theta, \phi) = G_{al}(\theta, \phi) \cdot P_{al} = 4\pi\rho^2 \langle S(\rho, \theta, \phi) \rangle = 4\pi\rho^2 \frac{|\vec{E}_i(\rho, \theta, \phi)|^2}{2\eta_0} \Rightarrow |\vec{E}_i(\rho, \theta, \phi)| = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{P_{al} \cdot G_{al}(\theta, \phi) \cdot \eta_0}{2\pi}}$$

- Siguiendo la trayectoria por óptica geométrica de los campos de la estructura, y suponiendo que el alimentador está en campo lejano con respecto al reflector, se da que:
 - Campo incidente en el reflector:

$$\vec{E}_i^{ref} = |\vec{E}_i| \cdot e^{-jk\rho} \cdot \hat{e}_i$$

- Campo reflejado en el reflector:

$$\vec{E}_r^{ref} = |\vec{E}_i^{ref}| \cdot \hat{e}_r = |\vec{E}_i| \cdot e^{-jk\rho} \cdot \hat{e}_r$$

- Campo en la apertura:

$$\vec{E}_a = \vec{E}_r^{ref} e^{-jk\rho \cos\theta} \cdot \hat{e}_r = |\vec{E}_i| \cdot e^{-jk2F} \cdot \hat{e}_r = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{P_{al} \cdot G_{al}(\theta, \phi) \cdot \eta_0}{2\pi}} \cdot e^{-jk2F} \cdot \hat{e}_r$$

, donde el vector unitario reflejado \hat{e}_r se puede obtener como:

$$\hat{e}_r = 2(\hat{n} \cdot \hat{e}_i)\hat{n} - \hat{e}_i$$

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Polarización*

- La polarización del campo en la apertura viene dada por \hat{e}_r , mediante la expresión :

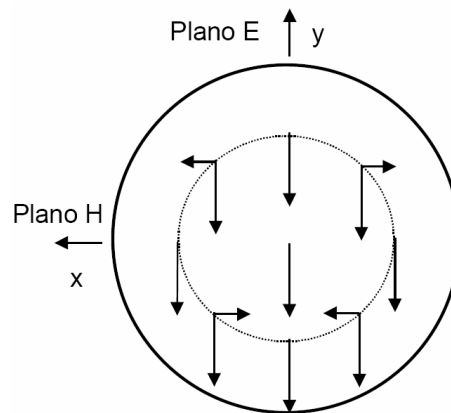
$$\hat{e}_r = 2(\hat{n} \cdot \hat{e}_i)\hat{n} - \hat{e}_i = e_{r\theta}\hat{\theta} + e_{r\phi}\hat{\phi} = e_{rx}\hat{x} + e_{ry}\hat{y}$$

- Tomando el vector polarización incidente desde el alimentador en sus componentes θ y ϕ ,

$$\hat{e}_i = e_{i\theta}\hat{\theta} + e_{i\phi}\hat{\phi} \quad \longrightarrow \quad \text{Las componentes x e y del campo en la apertura son:} \quad \begin{cases} e_{rx} = -e_{i\theta} \cos \phi + e_{i\phi} \text{sen} \phi \\ e_{ry} = -e_{i\theta} \text{sen} \phi - e_{i\phi} \cos \phi \end{cases}$$

- Si el alimentador posee radiación contrapolar aparecen componentes cruzadas en la apertura que dan lugar a radiación contrapolar de campo lejano del reflector. En la figura siguiente se muestra el ejemplo de la polarización del campo en la apertura para un alimentador tipo dipolo, orientado según y. Su vector tiene dirección θ , que solo en el punto $\theta=0^\circ$, coincide con y.

Orientación dipolo

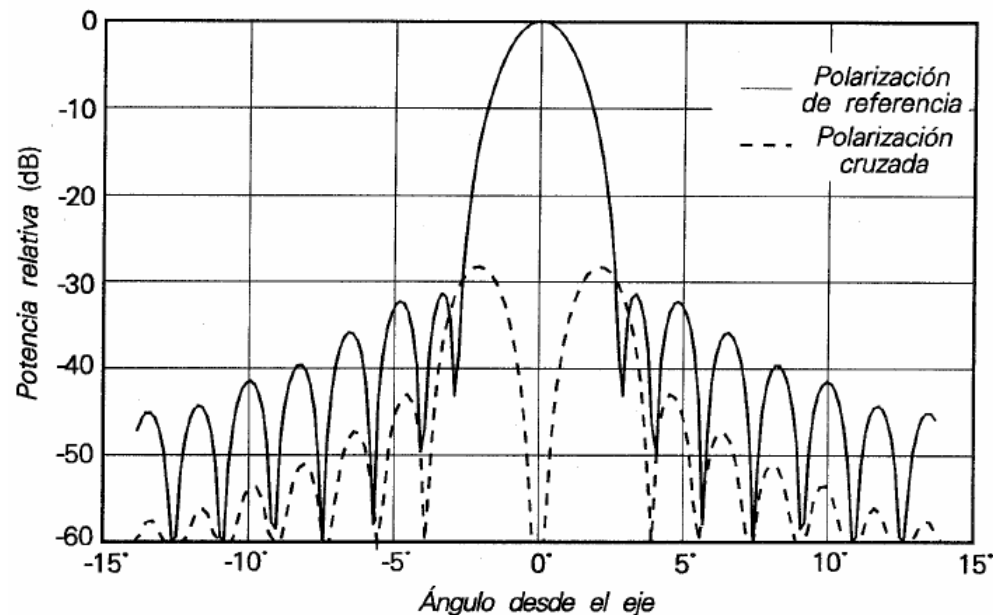


Valor de las componentes para $\phi=45^\circ$

θ_0	e_{rx}	e_{ry}
40°	0,18	-0,98
65°	0,38	-0,92

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Campo radiado y polarización*

- El diagrama de radiación se obtiene integrando el campo en la apertura, aplicando el principio de equivalencia. Dicho campo tendrá componente copolar y contrapolar.
- Si el diagrama del alimentador es simétrico, no existirá componente contrapolar en los planos principales, aunque sí que habrá contrapolar en los planos bisectores



Diagramas típicos del plano $\phi=45^\circ$

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Campo radiado aproximado*

- Se puede hacer un cálculo aproximado, con validez para el lóbulo principal y primeros lóbulos secundarios, siempre que tengamos alimentadores con diagramas simétricos de revolución.
- Tomando como datos del alimentador:

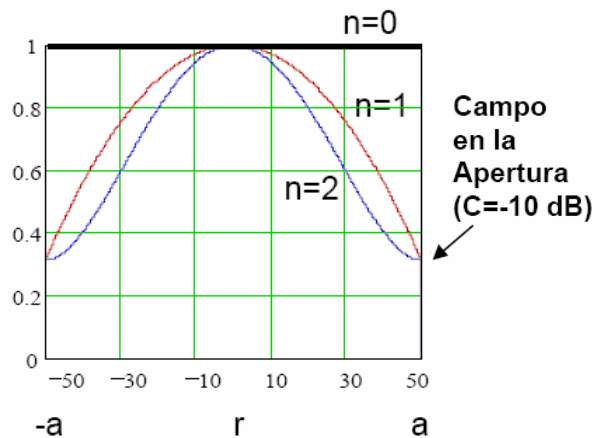
$G_{al}(\theta, \phi) = G_{al}(\theta) \rightarrow$ Diagrama con simetría de revolución. Sin simetría se puede aproximar por \rightarrow

$$G_{al}(\theta) \approx \frac{G_{al}(\theta, 0^\circ) + G_{al}(\theta, 90^\circ)}{2} \rightarrow \text{Aproximación diagrama sin simetría}$$

$\hat{e}_r \approx \hat{y} \rightarrow$ Sin contrapolar

$$\vec{E}_a = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{P_{al} \cdot G_{al}(\theta) \cdot \eta_0}{2\pi}} \cdot e^{-jk2F} \cdot \hat{y} \quad 0 \leq \theta \leq \theta_0$$

- La iluminación del alimentador a través de su lóbulo principal sobre la parabólica, genera distribuciones de campo en la apertura tipo parabólicas sobre pedestal



$$a = \frac{D}{2}$$

$$E_a(r) = C + (1 - C) \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right]^n, \text{ donde } C \text{ (pedestal), se calcula comparando el campo incidente en el extremo y en el centro de la superficie reflectora parabólica}$$

$$C = \frac{|\vec{E}_i(\rho, \theta = \theta_0)|}{|\vec{E}_i(\rho = F, \theta = 0^\circ)|} = \frac{\sqrt{G_{al}(\theta_0)}/\rho}{\sqrt{G_{\max}}/F}$$

Ecuación parabólica

$$\rho = \frac{2F}{1 + \cos \theta} = \frac{F}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$C(\text{dB}) = 20 \log C = 10 \log \frac{G_{al}(\theta_0)}{G_{\max}} + 20 \log \left(\cos^2 \left(\frac{\theta_0}{2} \right) \right)$$

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Campo radiado distribución parabólica sobre pedestal*

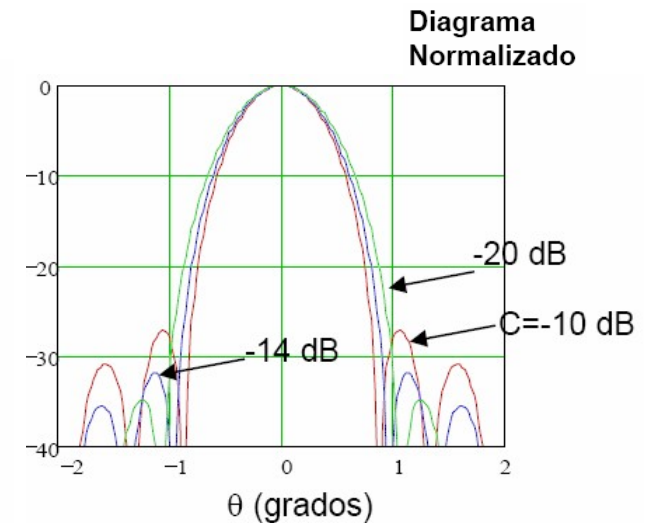
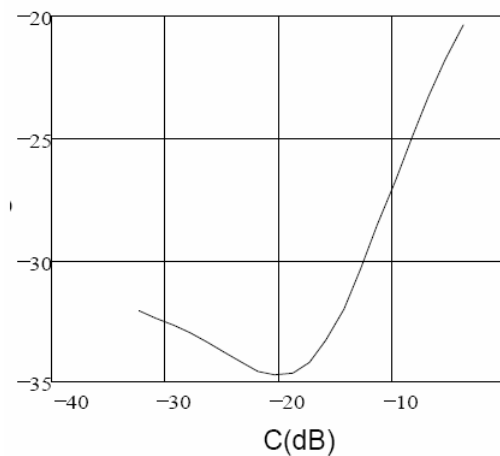
- El diagrama de radiación se obtiene integrando el campo en la apertura, aplicando el principio de equivalencia. El diagrama normalizado de campo f , en función de la altura del pedestal C , queda:

$$f(\theta, n, C) = \frac{C \cdot f(\theta, n=0) + \frac{1-C}{n+1} f(\theta, n)}{C + \frac{1-C}{n+1}}, \text{ donde, } f(\theta, n) = \frac{2^{n+1}(n+1)! J_{n+1}(k a \sin \theta)}{(k a \sin \theta)^{n+1}}$$

Valores típicos de radiación según C

Edge illumination		$n = 1$			$n = 2$		
$C(\text{dB})$	C	$\Delta\theta_{-3\text{dB}}$ (rad)	Side lobe level (dB)	ϵ_a	$\Delta\theta_{-3\text{dB}}$ (rad)	Side lobe level (dB)	ϵ_a
-8	0.398	$1.12 \frac{\lambda}{2a}$	-21.5	0.942	$1.14 \frac{\lambda}{2a}$	-24.7	0.918
-10	0.316	$1.14 \frac{\lambda}{2a}$	-22.3	0.917	$1.17 \frac{\lambda}{2a}$	-27.0	0.877
-12	0.251	$1.16 \frac{\lambda}{2a}$	-22.9	0.893	$1.20 \frac{\lambda}{2a}$	-29.5	0.834
-14	0.200	$1.17 \frac{\lambda}{2a}$	-23.4	0.871	$1.23 \frac{\lambda}{2a}$	-31.7	0.792
-16	0.158	$1.19 \frac{\lambda}{2a}$	-23.8	0.850	$1.26 \frac{\lambda}{2a}$	-33.5	0.754
-18	0.126	$1.20 \frac{\lambda}{2a}$	-24.1	0.833	$1.29 \frac{\lambda}{2a}$	-34.5	0.719
-20	0.100	$1.21 \frac{\lambda}{2a}$	-24.3	0.817	$1.32 \frac{\lambda}{2a}$	-34.7	0.690

SLL (dB) según C para $n=2$



- Los reflectores reales dan niveles de lóbulos secundarios entre $n=1$ y $n=2$

- El nivel de los lóbulos secundarios solo depende de C

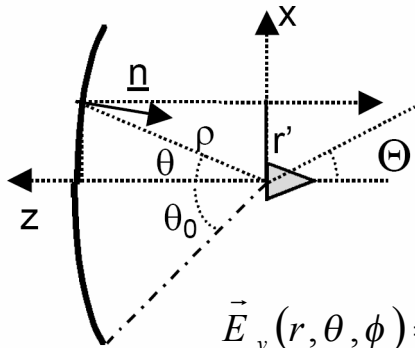
2.- Reflector Parabólico Centrado. *Ganancia*

- Sabiendo el campo en la apertura

$$\vec{E}_a = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{P_{al} \cdot G_{al}(\theta) \cdot \eta_0}{2\pi}} \cdot e^{-jk2F} \cdot \hat{y} = \vec{E}_o \cdot \frac{\sqrt{G_{al}(\theta)}}{\rho}$$

- El campo radiado se extrae integrando en las superficie de apertura. Para la ganancia solo nos interesa en $\theta=180^\circ \rightarrow \Theta=0^\circ$

$$u(\theta = \pi) = v(\theta = \pi) = 0 \Rightarrow P_y = \iint_{S_a} E_{ay}(x', y') \cdot dS_a' \quad dS_a' = r' dr' d\phi' \quad \left\{ \begin{array}{l} r' = \rho \sin \theta = 2F \tan \frac{\theta}{2} = \frac{D}{2} \cot \left(\frac{\theta_0}{2} \right) \tan \frac{\theta}{2} \\ dr' = \frac{F}{\cos^2 \left(\frac{\theta}{2} \right)} d\theta = \rho d\theta \end{array} \right.$$



, por lo que el campo radiado, se obtendría de:

$$\vec{E}_y(r, \theta, \phi) = jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} P_y \cdot \hat{y} = \frac{j}{\lambda} \iint_{S_a} \vec{E}_o \cdot \frac{\sqrt{G_{al}(\theta)}}{\rho} \cdot dS_a' = j \frac{\pi D}{\lambda} \cot \left(\frac{\theta_0}{2} \right) E_o \frac{e^{-jkr}}{r} \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_{al}(\theta)} \tan \frac{\theta}{2} d\theta$$

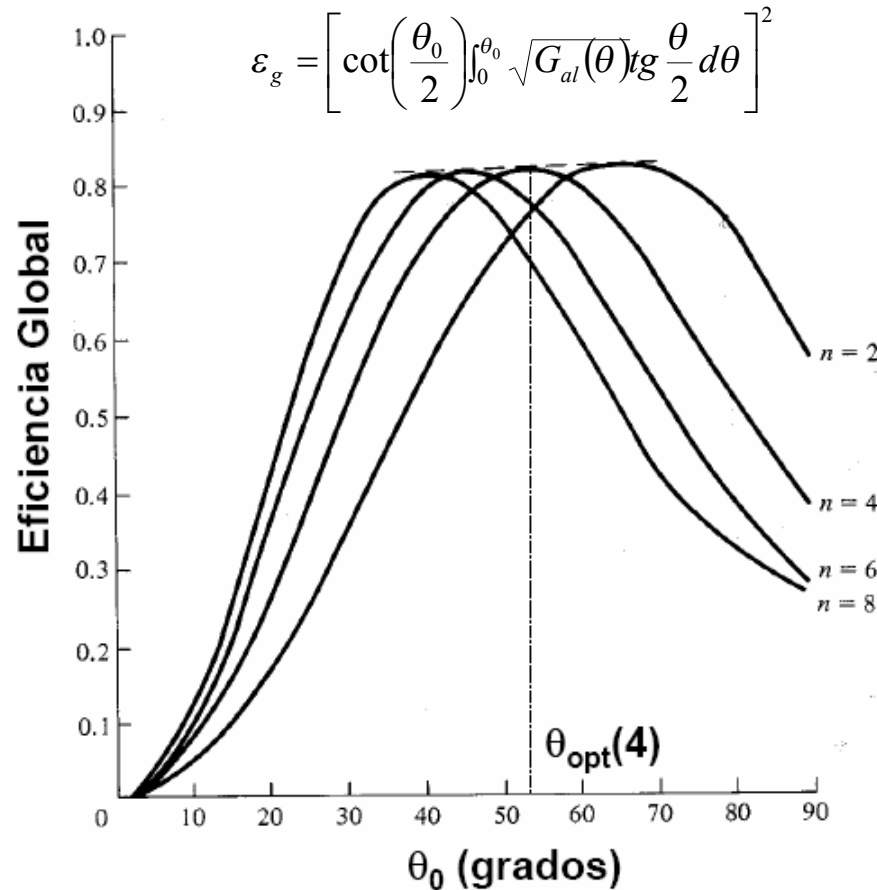
- Aplicando el campo radiado a la ganancia máxima del reflector ($\Theta=0^\circ$)

$$G_0 = 4\pi \frac{U(\Theta=0)}{P_{rad}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_a \overbrace{\left[\frac{\epsilon_s}{\epsilon_a \epsilon_{spillover}} \right]}^{\epsilon_s} = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_a \left[\cot \left(\frac{\theta_0}{2} \right) \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_{al}(\theta)} \tan \frac{\theta}{2} d\theta \right]^2$$

$$S_a = \frac{\pi D^2}{4}$$

2.- Reflector Parabólico Centrado. *Ganancia*

- La representación de la eficiencia global de iluminación del reflector (ε_g) en función del ángulo de apertura máximo θ_0 , indica que para que dicha eficiencia sea máxima se produce para un ángulo en el que el pedestal del campo en la apertura C está 10 dB por debajo del máximo.

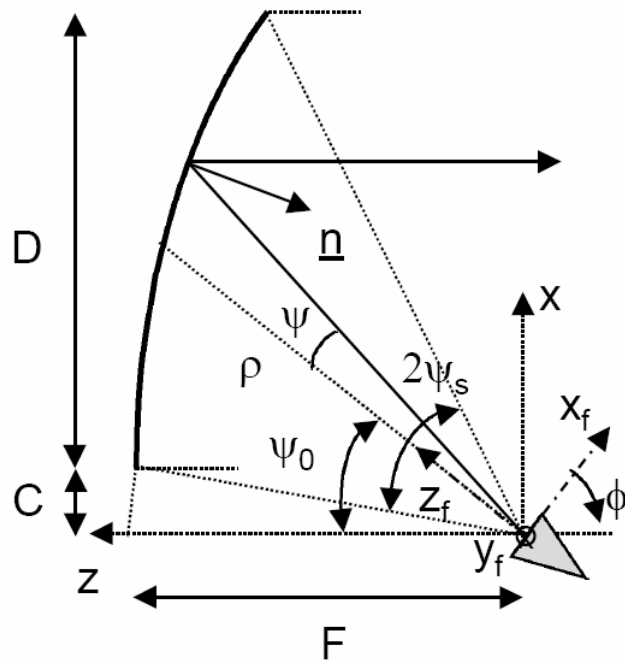


- El criterio de iluminación para máxima ganancia será:

$$C(dB) = 20 \log \frac{|\vec{E}_i(\rho, \theta = \theta_0)|}{|\vec{E}_i(\rho = F, \theta = 0^\circ)|} \approx -10 dB$$

3.- Reflector Parabólico Descentrado

- El reflector se define como la intersección del paraboloide de revolución con un cono de eje Ψ_0 y ángulo Ψ_s . La apertura es circular.



- Ecuación de la superficie reflectora:

$$\rho = \frac{2F}{1 + \cos \theta} = \frac{2F}{1 + \cos \Psi \cos \Psi_0 - \text{sen} \Psi \text{sen} \Psi_0 \cos \phi}$$

- Diámetro D:

$$D = \frac{4F \text{sen} \Psi_s}{\cos \Psi_0 + \cos \Psi_s}$$

- Altura offset (Clearance) :

$$C = \frac{2F(\text{sen} \Psi_0 - \text{sen} \Psi_s)}{\cos \Psi_0 + \cos \Psi_s}$$

- Angulo offset :

$$\Psi_0 = \text{tag}^{-1} \left(\frac{D+C}{2F} \right) + \text{tag}^{-1} \left(\frac{C}{2F} \right)$$

- Semiángulo subtendido :

$$\Psi_s = \text{tag}^{-1} \left(\frac{D+C}{2F} \right) - \text{tag}^{-1} \left(\frac{C}{2F} \right)$$

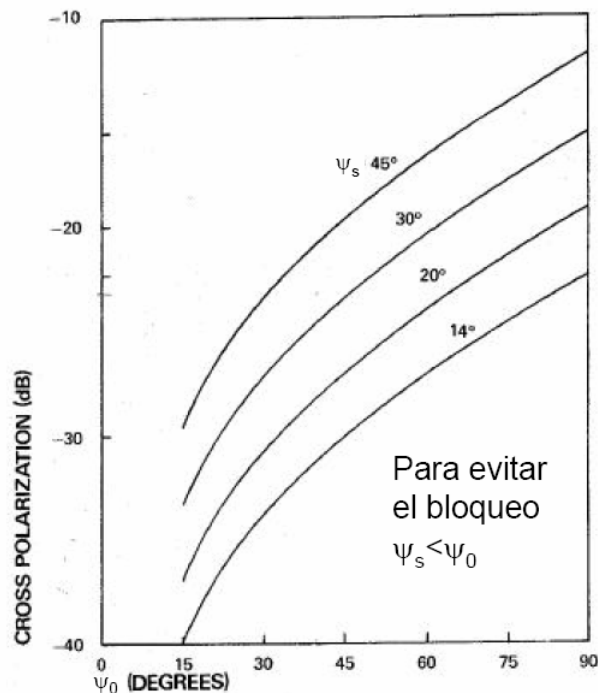
Se obtienen usando r' , fijada a C y fijada a D+C

$$r' = 2F \text{tag} \frac{\theta}{2}$$

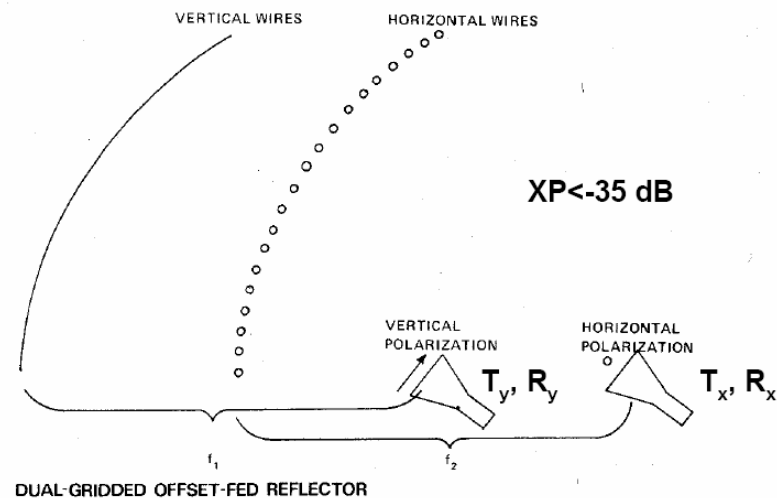
3.- Reflector Parabólico Descentrado

- El descentramiento evita el bloqueo que sobre los campos produce la presencia del alimentador enfrente del reflector.
- El criterio de iluminación para máxima ganancia es también $C = -10$ dB
- Ante iluminación de polarización lineal, aparecen lóbulos contrapolares en los planos antisimétricos. Dicha radiación contrapolar se puede eliminar utilizando reflectores de rejilla, los cuales solo reflejan la polarización paralela a sus hilos conductores.
- Ante iluminación de polarización circular, se genera nula contrapolar, aunque aparece un ligero desapuntamiento del haz copolar (beam squint)

Contrapolar en plano no simétrico reflector sólido



Reflectores de rejilla



4.- Reflectores Dobles. Sistema Cassegrain Centrado

- Sistema de reflector parabólico principal y subreflector con superficie hiperboloide de revolución con foco común al reflector parabólico. En el foco del secundario se sitúa el centro de fase del alimentador

- Ecuación del subreflector (Hiperbola): $\rho_s = \frac{eP}{|1 - e \cos \Psi|}$, donde, $P = f \frac{(e^2 - 1)}{2e^2}$

- Diámetro del subreflector: d_s
- Excentricidad ($e > 1$): $e = \frac{\text{sen}\left(\frac{1}{2}(\theta_0 + \Psi_s)\right)}{\text{sen}\left(\frac{1}{2}(\theta_0 - \Psi_s)\right)}$
- Magnificación: $M = \frac{e+1}{e-1}$
- Distancia focal efectiva: $F_e = MF$

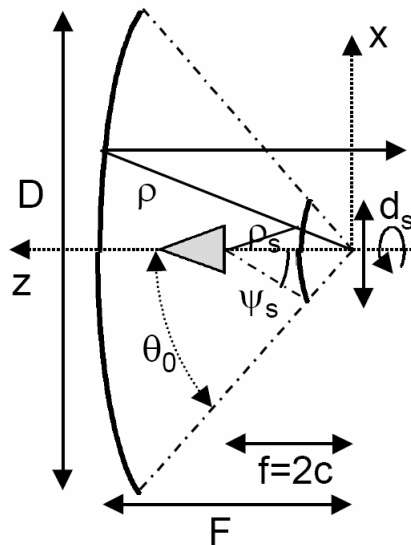
$$d_s = \frac{2eP \text{sen}(\pi - \Psi_s)}{1 - e \cos(\pi - \Psi_s)}$$

$$e = \frac{\text{sen}\left(\frac{1}{2}(\theta_0 + \Psi_s)\right)}{\text{sen}\left(\frac{1}{2}(\theta_0 - \Psi_s)\right)}$$

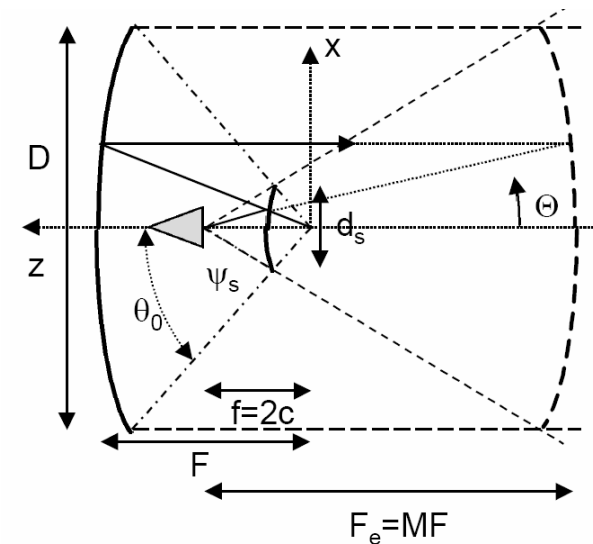
$$M = \frac{e+1}{e-1}$$

$$F_e = MF$$

Gráfica parábola equivalente



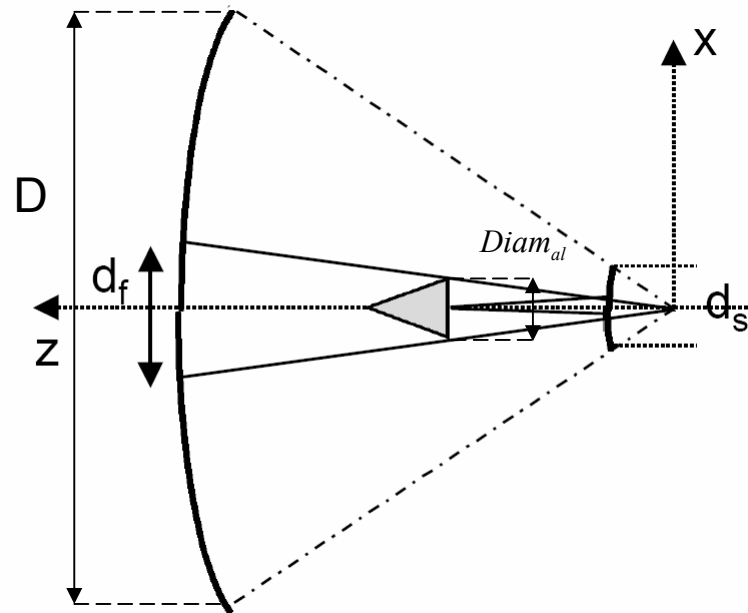
- Se trabaja con una parábola equivalente, que tiene su distancia focal equivalente F_e . Este concepto es válido para el diseño del alimentador y para los primeros lóbulos.
- El ángulo de visión del subreflector es menor que el de la parábola ($\Psi_s < \theta_0$). Los alimentadores deberán ser más directivos.
- Se utilizan para ganancias más altas (>45 dBi), ya que, para ganancias menores, las dimensiones implicadas ($D/\lambda \leq 75$) provocarían pérdidas por bloqueo del subreflector, e incluso del alimentador



4.- Reflectores Dobles. *Sistema Cassegrain Centrado*

- Con objeto de reducir el bloqueo del subreflector, se puede reducir el diámetro del mismo. Ello implica el agrandamiento del diámetro del alimentador, haciéndolo más directivo para cubrir un ángulo menor del subreflector, manteniendo el mismo campo en los bordes.

Bloqueo del alimentador superior al del subreflector



- El límite está en que el bloqueo por alimentador sea mayor que el producido por el subreflector, es decir:

$$d_f = d_s$$

, esta condición es la de mínimo bloqueo del subreflector.

- Con el alimentador situado próximo al centro del paraboloide ($f=2c=F$), la condición de iluminación de máxima ganancia ($C=-10\text{dB}$), equivale a:

$$d_f = d_s \approx \sqrt{2\lambda F} = Diam_{al}$$

- Por lo general se utilizan alimentadores más pequeños que los delimitados en condición de mínimo bloqueo y máxima ganancia. Los subreflectores típicos tienen un diámetro $d_s \leq 0.15D$

4.- Reflectores Dobles. *Sistema Gregoriano Centrado*

- Sistema de reflector parabólico principal y subreflector con superficie elipsoide de revolución con foco común al reflector parabólico. En el foco del secundario se sitúa el centro de fase del alimentador

- Ecuación del subreflector (Elipse):

$$\rho_s = \frac{eP}{|1 - e \cos \Psi|}, \text{ donde, } P = f \frac{(1 - e^2)}{2e^2}$$

- Diámetro del subreflector:
- Excentricidad ($e < 1$):
- Magnificación:
- Distancia focal efectiva:

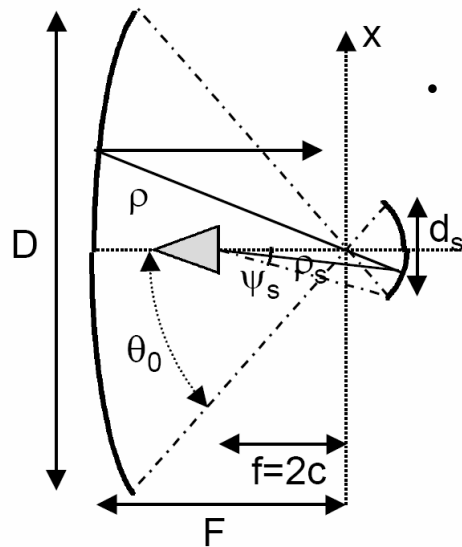
$$d_s = \frac{2eP \sin(\pi - \Psi_s)}{1 - e \cos(\pi - \Psi_s)}$$

$$e = \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(\theta_0 - \Psi_s)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}(\theta_0 + \Psi_s)\right)}$$

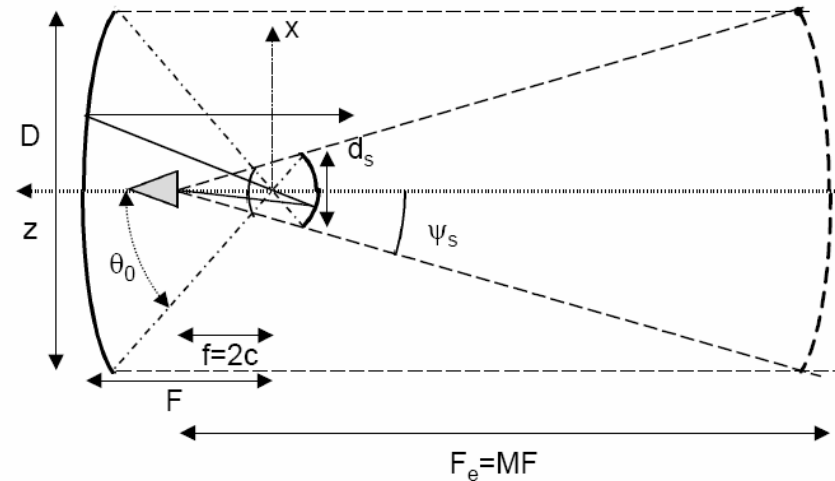
$$M = \frac{1 + e}{1 - e}$$

$$F_e = MF$$

Gráfica parábola equivalente

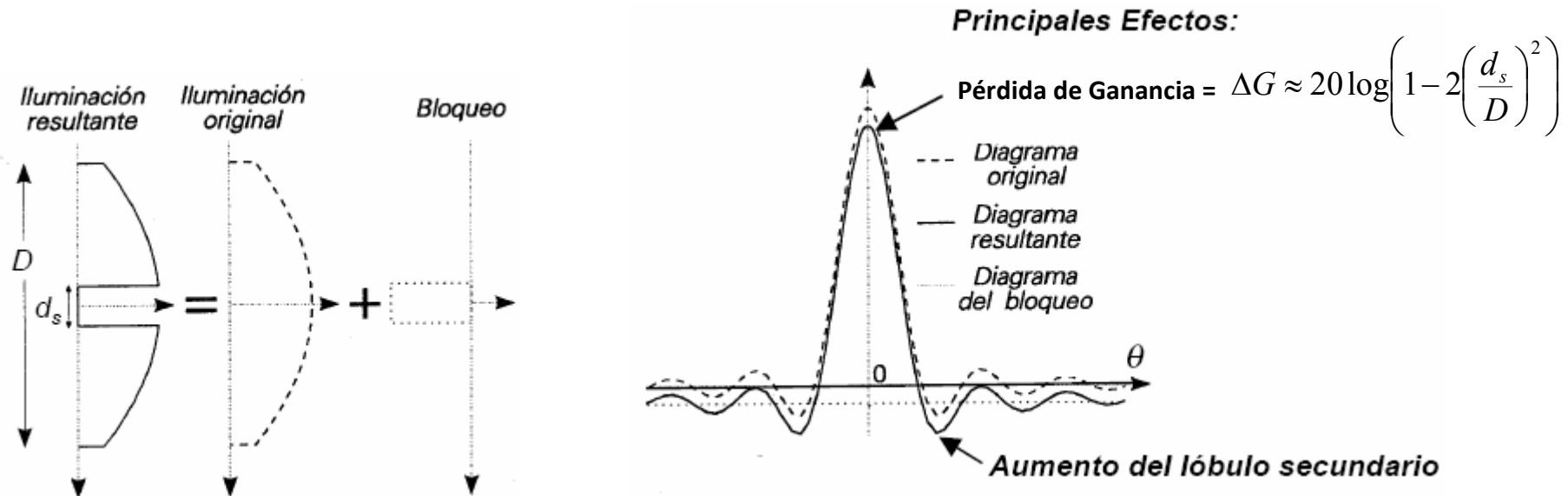


- Produce más bloqueo que el Cassegrain



5.- Análisis del bloqueo por Modelo de Sombra Total

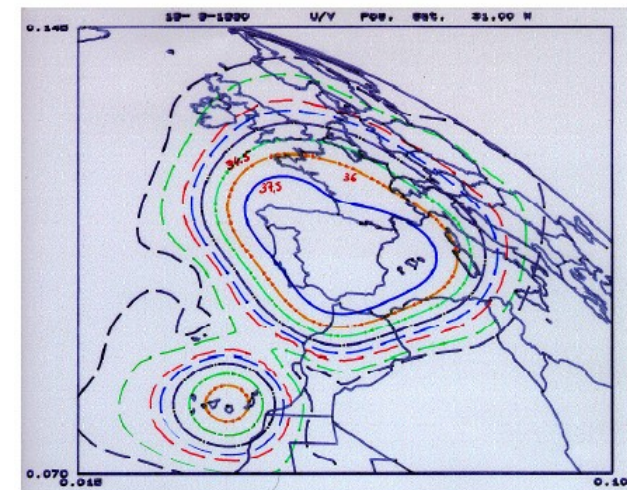
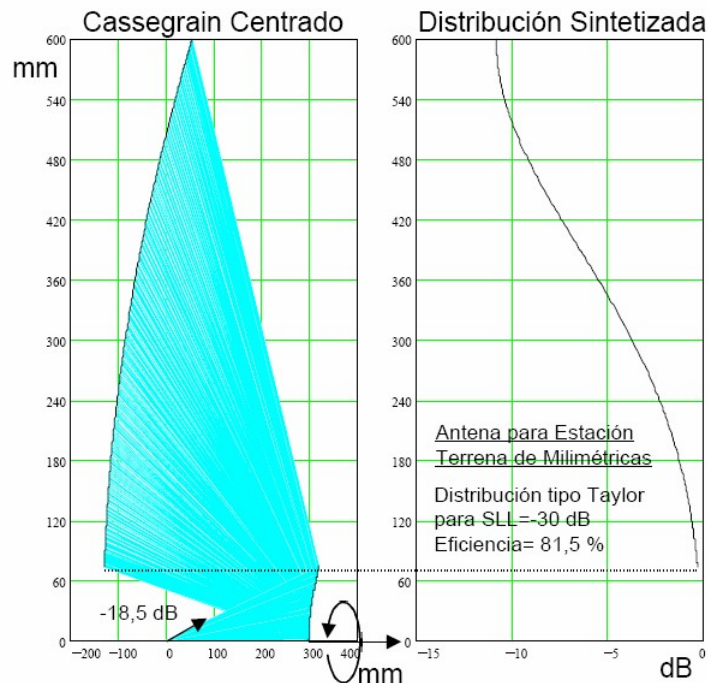
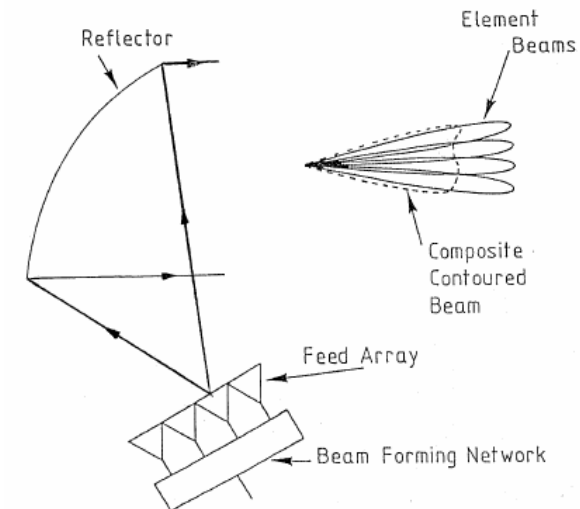
- El bloque del subreflector o del alimentador en reflectores simples centrados, se realiza suponiendo una iluminación sin bloqueo unida a una alimentación negativa en la zona de bloqueo



- El resultado del bloqueo es un aumento de los lóbulos secundarios lejanos y de la radiación contrapolar.
- Como consecuencia, existe una pérdida de directividad en el reflector, dependiente de la zona de bloqueo producida por el subreflector o el alimentador.

6.- Reflectores conformados

- Mediante la suave deformación de la superficie del reflector, se puede alterar la distribución de campos en la apertura
 - En dobles reflectores centrados, el conformado de la superficie permite obtener antenas de alta ganancia gracias a la obtención de una distribución de apertura prácticamente uniforme. De igual modo, pueden obtenerse antenas de lóbulos secundarios muy bajos (distribuciones tipo Taylor).
 - En reflectores con offset simples, se pueden obtener haces ajustados a la cobertura deseada (haces contorneados)



Cobertura DBS del HISPASAT

7.- Ganancia de antenas reflectoras

- La ganancia de la antena reflectora se calcula aplicando:

$$G_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_a \varepsilon_{total}$$

, donde S_a es el área de la apertura equivalente

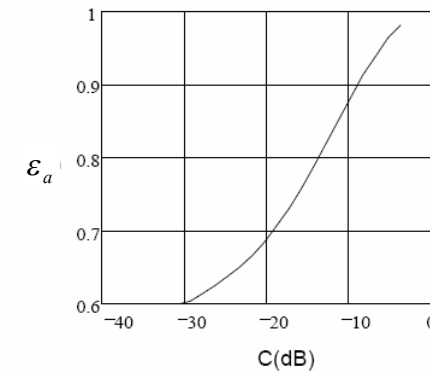
- La eficiencia total (ε_{total}), es el producto de varias eficiencias parciales:
 - Rendimiento de radiación (generalmente del alimentador) $\rightarrow \varepsilon_{rad}$
 - Eficiencia de iluminación o de apertura $\rightarrow \varepsilon_a$
 - Eficiencia de Spillover $\rightarrow \varepsilon_{spillover}$
 - Eficiencia por Contrapolar $\rightarrow \varepsilon_{XP}$
 - Eficiencia por Error en la Superficie $\rightarrow \varepsilon_{\delta}$
 - Eficiencia por Bloqueo
 - Pérdidas por Desplazamientos del alimentador

Eficiencia de Iluminación o de Apertura

- Establece la pérdida en ganancia debida a que la iluminación en la apertura no es uniforme

$$\varepsilon_a = \frac{\left| \iint_{S_a} |E_a| \cdot dS \right|^2}{S_a \cdot \iint_{S_a} |E_a|^2 dS}$$

- Para una distribución de campo en la apertura tipo parabólica sobre pedestal de índice $n=2$, la eficiencia de iluminación valdría:



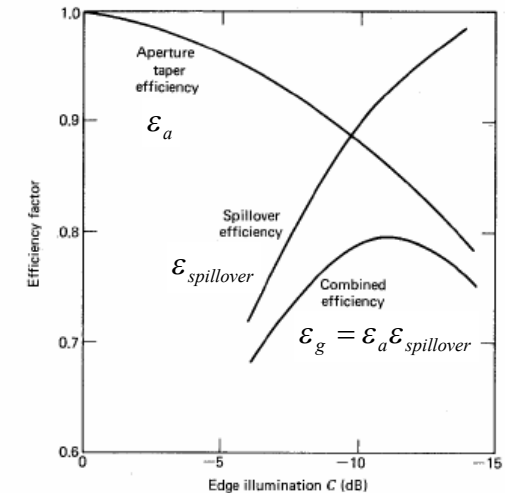
7.- Ganancia de antenas reflectoras

Eficiencia de Spillover

- Establece la pérdida en ganancia debida a la radiación del alimentador fuera del ángulo máximo de visión del reflector θ_0

$$\varepsilon_{spillover} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} G_{al}(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} G_{al}(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}$$

- Cuando la iluminación del borde crece, aumenta la eficiencia de iluminación pero decrece la de spillover. Existe un punto óptimo combinado del producto $\varepsilon_g = \varepsilon_a \varepsilon_{spillover}$, que se produce para $C = -10$ dB



Eficiencia por Contrapolar

- Evalúa la pérdida de energía debida a la radiación de componente contrapolar

$$\varepsilon_{XP} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left| \vec{E}_{CP}(\theta, \phi) \right|^2 \sin\theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\left| \vec{E}_{CP}(\theta, \phi) \right|^2 + \left| \vec{E}_{XP}(\theta, \phi) \right|^2 \right) \sin\theta d\theta d\phi}$$

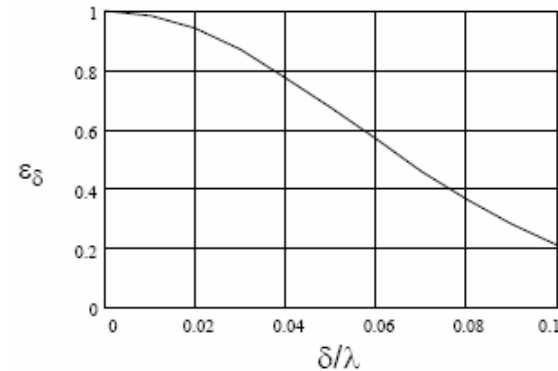
- Los reflectores centrados no introducen contrapolar, por lo que, esta eficiencia evalúa las características de generación de contrapolar del alimentador.

7.- Ganancia de antenas reflectoras

Eficiencia por Error en la Superficie del Reflector

- Evalúa las pérdidas debidas a las distorsiones en la superficie del reflector, las cuales, generan una desviación del frente de fase en la apertura respecto de una onda plana ideal.

$$\varepsilon_{\delta} = e^{-\left(4\pi \frac{\delta}{\lambda}\right)}$$
$$\delta(\text{mm}) = 3 \cdot 10^{-2} \cdot D(\text{m})$$



Eficiencia por Bloqueo

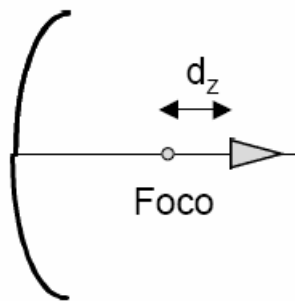
- Evalúa la pérdida de ganancia debida a la porción de apertura bloqueada por la presencia del alimentador (sistemas simples) o el subreflector, así como, por los soportes que sostienen los mismos. Tomando el diámetro de la superficie de bloqueo d_s , la pérdida de ganancia ΔG será:

$$\Delta G(\text{dB}) \approx 20 \log \left(1 - 2 \left(\frac{d_s}{D} \right)^2 \right)$$

7.- Ganancia de antenas reflectoras

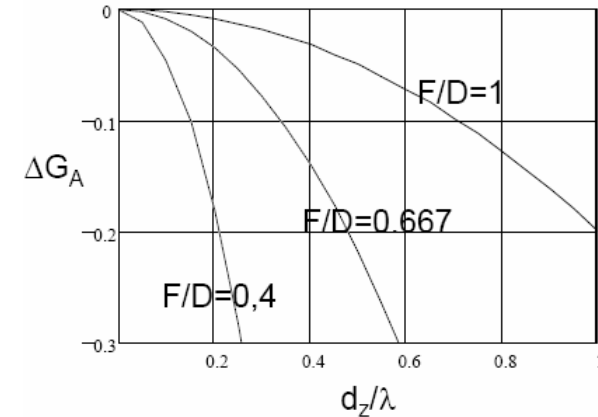
Pérdidas por desplazamiento axial

- Las pérdidas en la ganancia debidas a un error en el posicionamiento de alimentado a lo largo del eje z fuera del punto del foco de la parábola, provoca un error en la fase del campo en la apertura. Además de la disminución de la ganancia, se produce un relleno en el nivel de los nulos del diagrama.



$$\Delta G_A (dB) = 20 \log \left(\frac{\text{sen} X}{X} \right), \text{ con, } X = \frac{2\pi d_z / \lambda}{1 + \left(\frac{4F}{D} \right)^2}$$

, $d_z =$ distancia axial al foco



Pérdidas por desplazamiento lateral

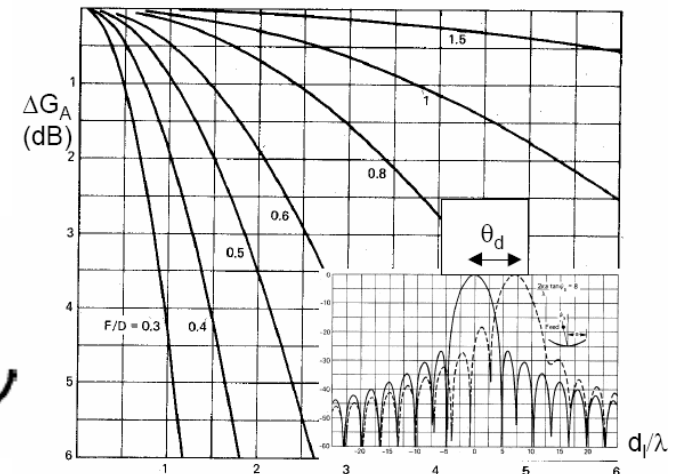
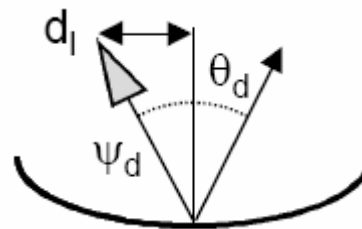
- Pérdida de ganancia producida por un desplazamiento lateral de alimentador. Ello provoca un apuntamiento en sentido opuesto al desplazamiento, además de un incremento asimétrico de los lóbulos secundarios.

, BDF= Beam Deviation Factor

$$\theta_d = BDF \cdot \psi_d$$

$$\psi_d = \text{tg}^{-1}(d_l/F)$$

F/D	BDF
0.40	0.82
1.00	0.96
2.00	0.99

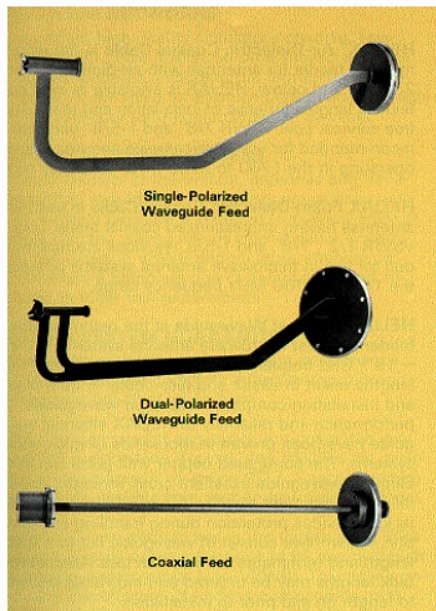


7.- Ganancia de antenas reflectoras

- La ganancia de la una antena reflectora de apertura circular se obtiene a partir de la multiplicación de todas las eficiencias descritas:

$$G_0 = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \prod_i \varepsilon_i$$

- Ejemplos típicos de eficiencias totales son:
 - Reflector simple centrado: 60%
 - Sistema Cassegrain centrado: 65 – 70 %
 - Sistema Offset: 70 – 75 %
 - Sistema doble centrado conformado para máxima ganancia: 85 – 90 %



Bocinas Banda Simple

Ejemplos de alimentadores de banda simple y dual



Bocinas Coaxiales - Doble Banda