

**COMBINACIÓN DE PANELES EN EL
RADIOTELESCOPIO DE 40 M.**

INFORME TÉCNICO CAY 2001-4
Marzo 2001

José Antonio López Pérez
Alberto Barcia Cancio

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	4
2	ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS PÉRDIDAS ÓHMICAS	4
	Lista de símbolos utilizados	4
	Fórmulas de interés	5
	Distribución de corriente en el reflector	5
2.4	Potencia disipada en un segmento de paraboloides	6
2.5	Potencia acoplada al alimentador	6
2.6	Eficiencia óhmica	6
2.7	Caso de iluminación gaussiana	7
2.8	Resultados parciales	8
2.9	Ruido por pérdidas óhmicas en el reflector	8
3	ESTUDIO DEL EFECTO DE LA PRECISIÓN DE LA SUPERFICIE	8
3.1	Error en la superficie y error de fase en la apertura	9
3.2	Pérdida de eficiencia por deformaciones	9
3.3	Algoritmo de cálculo	10
4	EFICIENCIA GLOBAL DE APERTURA	11
4.1	Resultados para la antena de 40m del CAY	11
5	APÉNDICE 1. SOFTWARE MATLAB DE CÁLCULO:	12
5.1	parametros.m	12
5.2	constants.m	12
5.3	efiaprcombi.m	13
5.4	aut.m	15
5.5	headers.m	16
5.6	antmodel.m	17
5.7	mask.m	17
5.8	maskcombi.m	18
5.9	gauss2d.m	18

5.10	aberr.m	19
5.11	sector.m	19
5.12	panel.m	20
5.13	ring.m	20
5.14	eta_ohm.m	21
5.15	perd_geom.m	21
5.16	f1.m	22
6	APÉNDICE 2. RESULTADOS PARA LA ANTENA DE 40 M DEL CAY:	23
6.1	Frecuencia 22 GHz	23
6.2	Frecuencia 45 GHz	25
6.3	Frecuencia 115 GHz	27

COMBINACIÓN DE PANELES EN EL RADIOTELESCOPIO DE 40 M

1 Introducción

Se plantea mejorar la eficiencia de la antena de 40 m con un coste aceptable utilizando paneles de más precisión en la zona interior del reflector principal.

A la vista del desglose de los errores de la superficie por sus diferentes fuentes, resulta deseable utilizar paneles con una precisión de $\sim 80\mu\text{m}$ rms. cuando la tecnología clásica permite alcanzar $\sim 120\mu\text{m}$. Se conocen tecnologías que proporcionan la precisión deseada sin que los costes se disparen, pero que obligan a emplear peores conductores como material de base en la fabricación de los paneles, con el consiguiente aumento de pérdidas óhmicas. El documento presente analiza la mejora que se puede alcanzar en la eficiencia de la antena combinando paneles de níquel de $80\mu\text{m}$ en el área interior del reflector principal con paneles de aluminio de $120\mu\text{m}$ en la corona exterior, teniendo en cuenta los efectos de la calidad de la superficie y de las pérdidas óhmicas.

2 Estudio del efecto de las pérdidas óhmicas

Estas pérdidas representan la energía disipada por las corrientes generadas en el material (conductor imperfecto) de los paneles por una onda plana incidente en la dirección del eje del paraboloide. Para el cálculo de la eficiencia sólo se tendrá en cuenta la parte de la energía incidente que se acopla al alimentador, que se corresponde con la distribución de campo generado por el mismo en la apertura en transmisión. Por tanto, el campo incidente asumido tendrá fase uniforme en la apertura y una distribución de amplitud coincidente con la generada en la misma por el alimentador, calculándose las pérdidas óhmicas a partir de las corrientes inducidas por dicho campo en la superficie reflectora. Dado su gran radio de curvatura en proporción a la longitud de onda, la superficie del paraboloide se considerará localmente plana, asimilándose a su plano tangente en cada punto. Por simplicidad se asume polarización circular de la onda incidente: de este modo, el valor medio (en el tiempo) de la corriente inducida por el campo tendrá simetría de revolución alrededor del eje del paraboloide.

2.1 Lista de símbolos utilizados

\hat{n} = vector unitario normal a la superficie (saliente del conductor)

$\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ = vectores unitarios de los ejes de coordenadas

r = distancia al eje de un punto de la superficie

ρ = distancia del foco a un punto de la superficie

F = distancia focal

R = radio del paraboloide

r_s = radio del subreflector

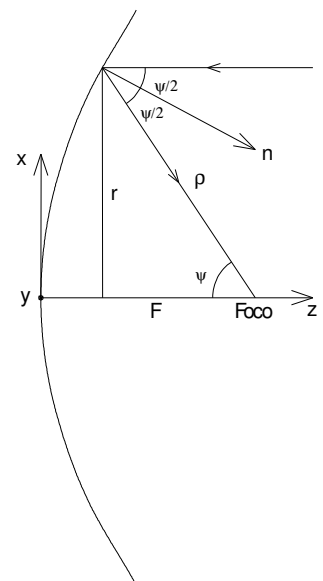
\vec{H} = intensidad del campo magnético total (amplitud)

\vec{H}_i = intensidad del campo magnético incidente (amplitud)

\vec{E}_i = intensidad del campo eléctrico incidente (amplitud)

\vec{J} = corriente por unidad de anchura (amplitud)

P_L = potencia disipada por unidad de superficie



P_i = potencia incidente por unidad de superficie P_i^T = potencia incidente total
 P_L^T = potencia total disipada en el reflector
 f = frecuencia de la señal
 μ = permeabilidad magnética del medio η = impedancia intrínseca del vacío
 σ = conductividad del metal del panel δ = profundidad de penetración del metal del panel
 R_s = resistencia superficial del metal del panel η_L = eficiencia óhmica del reflector
 T_N = temperatura de ruido añadido a la entrada del sistema por las pérdidas óhmicas del reflector
 $T_0 = 290K$

2.2 Fórmulas de interés

$$\vec{J} = \hat{n} \times \vec{H} \quad \vec{J} = 2 \cdot \hat{n} \times \vec{H}_i \quad (\text{Silver, págs. 145, 146})$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad R_s = \frac{1}{\sigma \delta} \quad (\text{Ramo, Whinnery, Van Duzer, págs. 252 y 258})$$

$$P_L = \frac{1}{2} R_s |\vec{J}|^2 \quad (\text{Ramo, Whinnery, Van Duzer, pág. 290})$$

$$\eta_L = \frac{P_i^T - P_L^T}{P_i^T} = 1 - \frac{P_L^T}{P_i^T}$$

$$T_N = T_0 (1 - \eta_L) \quad (\text{el reflector se comporta como atenuador a efectos de ruido y pérdidas})$$

$$\rho = \frac{F}{\cos^2 \psi / 2} \quad (\text{L. Thourel, pág. 253, ver figura})$$

2.3 Distribución de corriente en el reflector

Como se indicó en §1, se asume polarización circular del campo incidente para que la distribución de corriente efectiva inducida en la superficie reflectora tenga simetría cilíndrica (dependencia sólo de la variable ψ , ver figura) y los cálculos efectuados sobre el plano xz sean válidos para toda la superficie:

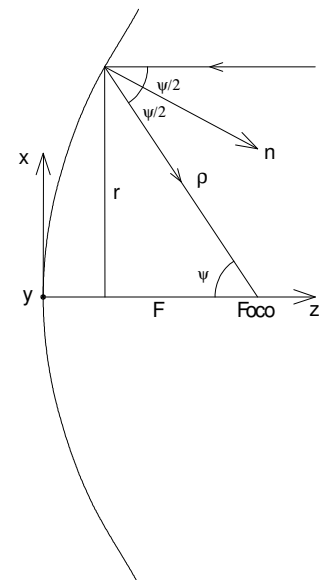
$$\vec{H}_i = \hat{x} H - \hat{y} H e^{-j\frac{\pi}{2}} = \hat{x} H + \hat{y} j H \quad (\text{polarización dextrógira})$$

$$\hat{n} = -\hat{x} \sin \frac{\psi}{2} + \hat{z} \cos \frac{\psi}{2}$$

$$\vec{J} = 2 \cdot \hat{n} \times \vec{H}_i = 2 H \left(-\hat{x} j \cos \frac{\psi}{2} + \hat{y} \cos \frac{\psi}{2} - \hat{z} j \sin \frac{\psi}{2} \right)$$

$$|\vec{J}|^2 = \vec{J} \cdot \vec{J}^* = 4 H^2 \left(1 + \cos^2 \frac{\psi}{2} \right)$$

Como se indicó más arriba, aunque la onda plana incidente tenga distribución uniforme del campo, en los cálculos se considera únicamente la parte de la misma que se acopla al alimentador, cuya distribución en la región de la apertura corresponde a la que éste produciría en dicha zona en transmisión. Asumiendo simetría cilíndrica para dicha distribución: $H = H(r)$



2.4 Potencia disipada en un segmento de paraboloides

En este apartado se calculan las pérdidas óhmicas en un segmento de paraboloides comprendido entre los radios r_1 y r_2 (medidos desde el eje). Para ello se tendrán en cuenta las siguientes relaciones geométricas (ver figura):

$$r = \rho \sin \psi = \rho 2 \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} = \frac{F}{\cos^2 \psi / 2} 2 \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} = 2 F \tan \frac{\psi}{2}$$

$$\tan \frac{\psi}{2} = \frac{r}{2F}$$

$$\frac{1}{\cos \psi / 2} = (1 + \tan^2 \frac{\psi}{2})^{1/2} = \frac{(4F^2 + r^2)^{1/2}}{2F}$$

$$1 + \cos^2 \psi / 2 = 1 + \frac{1}{1 + \tan^2 \frac{\psi}{2}} = \frac{8F^2 + r^2}{4F^2 + r^2}$$

Pérdidas óhmicas en el segmento de paraboloides:

$$P_L^T = \iint P_L dS = \iint \frac{1}{2} R_s |J|^2 dS = \frac{1}{2} R_s \int_0^{2\pi r_2} \int_{r_1}^{r_2} |J|^2 \frac{r dr d\varphi}{\cos \frac{\psi}{2}} = \pi R_s \int_{r_1}^{r_2} |J|^2 \frac{r dr}{\cos \frac{\psi}{2}}$$

$$P_L^T = \pi R_s \int_{r_1}^{r_2} 4H^2(r) \frac{8F^2 + r^2}{4F^2 + r^2} \frac{(4F^2 + r^2)^{1/2}}{2F} r dr = 4\pi R_s \int_{r_1}^{r_2} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H^2(r) dr$$

2.5 Potencia acoplada al alimentador

En esta apartado se calcula la potencia incidente que se acopla al alimentador con reflector ideal.

Potencia de la onda plana incidente (por unidad de superficie):

$$\vec{P}_i = \frac{1}{2} \text{Re} [\vec{E}_i \times \vec{H}_i^*]$$

$$\vec{E}_i = \eta \vec{H}_i \times (-\hat{z}) \quad (\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \text{ propagación hacia } -\hat{z})$$

$$\vec{P}_i = \frac{1}{2} \eta \text{Re} [(\hat{z} \times \vec{H}_i) \times \vec{H}_i^*] = \frac{1}{2} \eta (-\hat{z}) \text{Re} [\vec{H}_i \cdot \vec{H}_i^*] = \frac{1}{2} \eta (-\hat{z}) 2H^2 = -\hat{z} \eta H^2$$

Potencia total incidente acoplada al alimentador [$H=H(r)$]:

$$P_i^T = \iint_A \vec{P}_i \cdot d\vec{S} = \int_0^{2\pi R} \int_{r_s}^R -\hat{z} \eta H^2(r) \cdot (-\hat{z}) r dr d\varphi = 2\pi \eta \int_{r_s}^R H^2(r) r dr$$

Siendo A el área libre de la apertura (excluido el subreflector).

2.6 Eficiencia óhmica

En este apartado se utilizarán los resultados de §2.4 y §2.5, junto con la definición de la eficiencia óhmica η_L dada en §2.2, para obtener una expresión general de dicha eficiencia en un reflector compuesto por varios segmentos de diferentes materiales conductores.

Pérdidas totales en un reflector compuesto por N segmentos parabólicos, cada uno comprendido entre los radios r_i y r_{i+1} ($i=1\dots N$, $r_1 = r_s$, $r_{N+1} = R$):

$$P_L^T = \sum_{i=1}^N P_{Li}^T = 4\pi \sum_{i=1}^N R_{si} \int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H^2(r) dr$$

Eficiencia óhmica del susodicho reflector:

$$\eta_L = 1 - \frac{P_L^T}{P_i^T} = 1 - \frac{4\pi \sum_{i=1}^N R_{si} \int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H^2(r) dr}{2\pi\eta \int_{r_s}^R r H^2(r) dr}$$

$$\eta_L = 1 - \sum_{i=1}^N R_{si} \frac{2}{\eta} \frac{\int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H^2(r) dr}{\int_{r_s}^R r H^2(r) dr} = 1 - \sum_{i=1}^N R_{si} A_i$$

donde:

$$A_i = \frac{2}{\eta} \frac{\int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H^2(r) dr}{\int_{r_s}^R r H^2(r) dr}$$

El factor A_i engloba las características del problema que son independientes de la naturaleza del material del reflector (geometría del reflector, tipo de iluminación y propiedades eléctricas del medio ambiente).

2.7 Caso de iluminación gaussiana

En lo que sigue se particularizan los análisis precedentes para el caso de una iluminación con distribución de amplitud gaussiana que, además de simplificar los cálculos, corresponde a la que se obtiene si se utilizan bocinas corrugadas como alimentadores:

$$H(r) = H_0 e^{-ar^2} \quad \text{iluminación gaussiana (quasi - óptica)}$$

$$a = \frac{T}{20 R^2 \log e} \quad (T = \text{"taper en el borde", dB})$$

La sustitución de las expresiones anteriores en la expresión para A_i encontrada en §2.6 da:

$$A_i = \frac{2}{\eta} \frac{\int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} H_0^2 e^{-2ar^2} dr}{\int_{r_s}^R r H_0^2 e^{-2ar^2} dr} = \frac{8a}{\eta} \frac{\int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{8F^2 + r^2}{(4F^2 + r^2)^{1/2}} \frac{r}{2F} e^{-2ar^2} dr}{(e^{-2ar_s^2} - e^{-2aR^2})}$$

2.8 Resultados parciales

La figura representa la eficiencia óhmica esperada del reflector principal de la antena de 40m del CAY si su superficie se realiza en dos partes: una parte interior de conductividad σ_1 y otra exterior de conductividad σ_2 . Los parámetros utilizados en la misma son:

Conductividad zona interior: $\sigma_1=1.28 \cdot 10^7$ mho/m

Conductividad zona exterior: $\sigma_2=3.53 \cdot 10^7$ mho/m

Permeabilidad relativa zona interior: $\mu_{r1}=100$

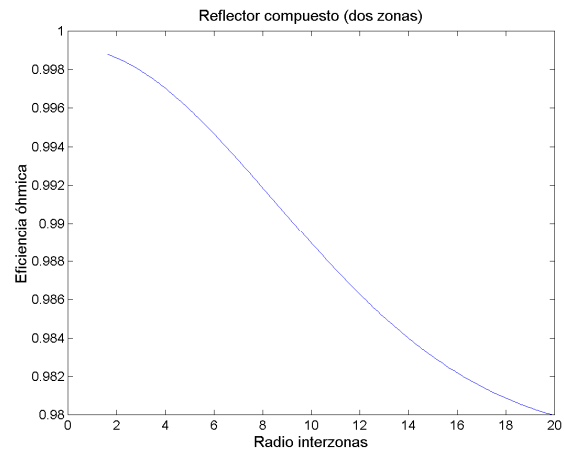
Permeabilidad relativa zona exterior: $\mu_{r2}=1$

F=15m R=20m $r_s=1.64$ m

f=115 GHz Taper=12dB

Iluminación: gaussiana.

El “radio interzonas” representa el radio exterior de la zona 1 (interior) o el radio interior de la zona 2 (exterior).



En el Apéndice 1 se incluyen listados de los programas MATLAB utilizados:

efiaprcombi.m (dibujo de la gráfica), eta_ohm.m (cálculo de la eficiencia), perd_geom.m (cálculo del factor A_i) y fl.m (función auxiliar).

2.9 Ruido por pérdidas óhmicas en el reflector

La potencia incidente en el reflector y acoplada al alimentador, es transmitida hacia éste reducida en las pérdidas óhmicas. En este sentido el reflector se comporta como un atenuador, y su contribución al ruido del sistema se puede calcular con la fórmula:

$$T_N = T_0(1 - \eta_L)$$

En el caso del ejemplo del §2.8 la contribución al ruido del reflector estaría comprendida entre 0.34K y 0.55K.

3 Estudio del efecto de la precisión de la superficie

Las desviaciones de la superficie respecto del paraboloide ideal producen variaciones en el camino óptico de los rayos que, saliendo del foco, se reflejan en el paraboloide, dando lugar a desviaciones de la fase en el plano de la apertura respecto de la fase uniforme. Las desviaciones mecánicas de la superficie se especifican en dirección normal a ella para que sean directamente comparables en los diferentes puntos de la misma, pero sus efectos sobre el error de fase dependen del ángulo de incidencia del rayo y, por tanto, de la distancia al eje del paraboloide. Asimismo, el efecto del error de la fase en distintos puntos de la apertura sobre la eficiencia de la antena depende de la intensidad de la iluminación en cada punto y, por tanto, también de su distancia al eje. Los cálculos que siguen asumen que hay simetría de revolución en la distribución estadística de los errores de fase en la apertura y en su peso sobre la eficiencia, pero tienen en cuenta que, dichos errores y su peso efectivo no se distribuyen uniformemente en dirección radial. El algoritmo de cálculo empleado prevé la posibilidad de que la apertura esté dividida en dos coronas circulares sobre cada una de las cuales la desviación cuadrática media de los errores de la superficie sea constante, pero diferente entre ambas. Se asume una distribución gaussiana (según el radio) de la intensidad del campo con que se ilumina la apertura.

3.1 Error en la superficie y error de fase en la apertura

Con ayuda de la figura adjunta se puede calcular el error de fase en un punto de la apertura producido por una deformación en el punto correspondiente de la superficie:

S = superficie ideal

S' = superficie deformada

ϵ = error normal a la superficie

P'PQ es la diferencia de caminos entre dos rayos que salen del foco de la parábola y se reflejan en la superficie ideal y en la deformada. El error de fase $\Delta\Phi$ en la apertura es:

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} P'PQ$$

$$P'PQ = P'P + PQ = \frac{\epsilon}{\cos \psi/2} + \frac{\epsilon}{\cos \psi/2} \cdot \cos \psi =$$

$$= \epsilon \cdot \frac{1 + \cos \psi}{\cos \psi/2} = 2\epsilon \cos \psi/2$$

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \epsilon \cos \psi/2 = \frac{4\pi}{\lambda} \epsilon \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \psi/2}} = \frac{4\pi}{\lambda} \epsilon \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{r^2}{4F^2}}}$$

Indicando explícitamente la dependencia con el punto de la superficie (x, y) :

$$\Delta\Phi(x, y) = \frac{4\pi}{\lambda} \epsilon(x, y) \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{x^2 + y^2}{4F^2}}}$$

En la anterior expresión ya no subsiste la simetría de revolución, puesto que $\epsilon(x, y)$ no la tiene.

3.2 Pérdida de eficiencia por deformaciones

Conocidos los errores de fase en la superficie se puede calcular la pérdida de eficiencia que producen, comparando la potencia radiada en la dirección del máximo del diagrama de radiación con la que se tendría con errores de fase nulos, lo que equivale a comparar las directividades en ambos casos.

La directividad de la apertura está dada por¹:

$$D(0,0) = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\left| \iint_S f(x, y) e^{j\Delta\Phi(x, y)} dx dy \right|^2}{\iint_S f^2(x, y) dx dy}$$

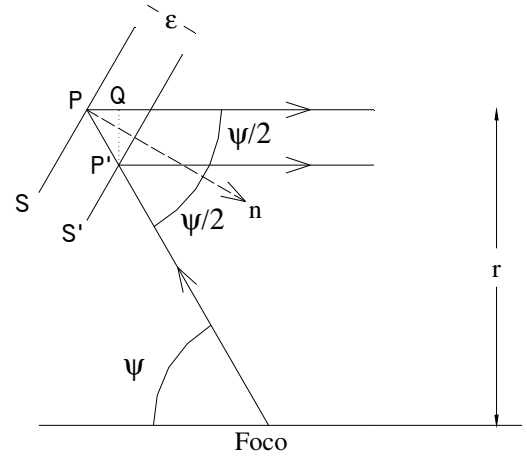
donde :

D(0,0) = directividad en la dirección del eje (máximo)

S = apertura de la antena

f(x, y) = amplitud de la función de iluminación

$\Delta\Phi(x, y)$ = fase de la función de iluminación



¹ John D. Ruze: "Antenna Tolerance Theory - A Review": Proc. IEEE, vol. 54 no. 4, p. 633, Apr. 1966

En el caso de la superficie ideal, $\Delta\Phi(x,y)=0$, $D(0,0)=D_0(0,0)$. Definimos el factor de pérdida de eficiencia como:

$$\eta_s = \frac{D(0,0)}{D_0(0,0)} = \frac{\left| \iint_S f(x,y) e^{j\Delta\Phi(x,y)} dx dy \right|^2}{\left| \iint_S f(x,y) dx dy \right|^2} = \frac{\left[\iint_S f(x,y) \cos(\Delta\Phi(x,y)) dx dy \right]^2 + \left[\iint_S f(x,y) \text{sen}(\Delta\Phi(x,y)) dx dy \right]^2}{\left[\iint_S f(x,y) dx dy \right]^2}$$

3.3 Algoritmo de cálculo

Para los cálculos de η_s se aprovechan algoritmos y software MATLAB desarrollados para holografía. La apertura se incluye dentro de un cuadrado dividido en 128x128 celdas y las integrales se calculan sumando las contribuciones de todas las celdas. A causa del factor de sobremuestreo típico de la holografía, el lado del cuadrado es ligeramente mayor que el diámetro de la apertura. La integración se extiende a todo el cuadrado, pero su efectividad se limita a las celdas contenidas en la parte no bloqueada de la apertura porque la iluminación se multiplica por una función máscara que toma valor 0 para radios inferiores al del subreflector o superiores al de la apertura.

La superficie útil se divide en dos coronas circulares, cada una con un valor diferente del error cuadrático medio de las deformaciones. Estas coronas se definen mediante dos máscaras que toman valor 1 en las celdas pertenecientes a la corona y 0 en las restantes.

Los errores de fase en las celdas se calculan generando dos matrices 128x128 cuyos elementos son números aleatorios gaussianos de media 0 y cuyas varianzas respectivas son los errores cuadráticos medios de cada corona. Ambas matrices se suman previa multiplicación término a término por sus respectivas máscaras, con lo que se crea una matriz 128x128 de números aleatorios que tienen, en cada celda, las propiedades estadísticas que corresponden a su error de superficie. Este error se convierte en un error de fase por aplicación de la ecuación obtenida en §3.1.

El algoritmo de determinación de la eficiencia calcula la expresión:

$$\eta_s = \frac{\left(\sum_{ij} \Gamma_{ij} f_{ij} \cos \Delta\Phi_{ij} \right)^2 + \left(\sum_{ij} \Gamma_{ij} f_{ij} \text{sen} \Delta\Phi_{ij} \right)^2}{\left(\sum_{ij} \Gamma_{ij} f_{ij} \right)^2}$$

donde:

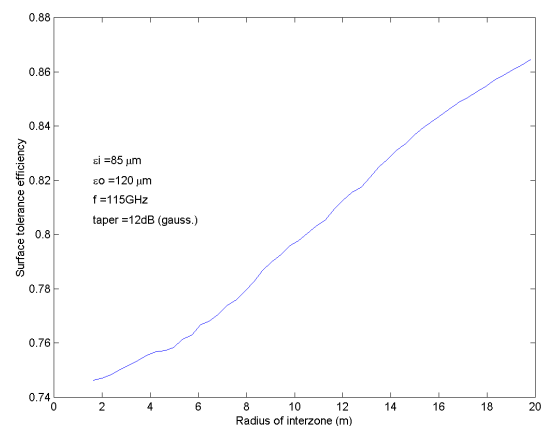
Γ_{ij} = matriz (128x128) de máscara general que define la parte útil del reflector

f_{ij} = matriz (128x128) de amplitud de la iluminación

$\Delta\Phi_{ij}$ = matriz (128x128) de errores de fase aleatorios

Los cálculos anteriores se realizan en el “script” efiaprcombi.m. También aquí se calcula la tolerancia efectiva de la superficie, que permite determinar las pérdidas por aplicación directa de la fórmula de Ruze.

La figura adjunta muestra un ejemplo de resultados del cálculo de la eficiencia por deformaciones.



4 Eficiencia global de apertura

La eficiencia global de la apertura se calcula por multiplicación de la eficiencia óhmica y la debida a las deformaciones. Este cálculo se realiza también en el “script” efiaprcombi.m por producto término a término de los vectores que contienen los valores de ambas eficiencias parciales en función del radio de la circunferencia de separación.

En efiaprcombi.m se puede seleccionar cualquiera de las combinaciones de los cálculos siguientes: eficiencia de apertura, eficiencia por deformaciones, error equivalente de Ruze o eficiencia total. La selección se realiza dando valores “si” o “no” a las variables geo, ged, ger y get, que controlan dichos cálculos. Estas variables, junto con las demás que definen las características geométricas y físicas del problema, tales como diámetro, relación F/D, frecuencia, conductividades, etc., están definidas en el “script” parametros.m. Para modificar los datos del problema basta hacer los cambios apropiados en el citado “script”.

En el Apéndice 1 se incluyen los listados de las funciones y “scripts” de MATLAB con los que se realizan los cálculos del presente Informe.

4.1 Resultados para la antena de 40m del CAY

En el Apéndice 2 se dan curvas de eficiencia obtenidas para la antena de 40m del CAY con los siguientes parámetros:

Diámetro reflector principal	40 m
Diámetro subreflector (bloqueo)	3.28 m
Distancia focal	15 m
Taper en el borde	12 dB
Conductividad zona interior (níquel)	$1.28 \cdot 10^7$ mho/m
Conductividad zona exterior (aluminio)	$3.53 \cdot 10^7$ mho/m
Permeabilidad relativa zona interior (níquel)	100
Permeabilidad relativa zona exterior (aluminio)	1
Error rms (normal) superficie interior	85 μ m
Error rms (normal) superficie exterior	120 μ m
Frecuencias	22 GHz, 45 GHz y 115 GHz

Se puede observar que las eficiencias dependen de la frecuencia, pero no así los errores efectivos (Ruze), que no incluyen las pérdidas óhmicas y son una medida de las deformaciones geométricas. A frecuencias bajas predominan las pérdidas óhmicas y la eficiencia total disminuye con el radio de la interzona; a frecuencias altas, sucede al revés.

5 APÉNDICE 1. Software MATLAB de cálculo:

5.1 *parametros.m*

```
%parametros

%                               A. Barcia, CAY, Feb. 2001.

%Parámetros para cálculo de eficiencia de apertura en parábola con dos secciones
%
freq=115*GHz;           %frecuencia
sigmi=1.27e7;          %conductividad región interior (mhos/m)
sigmo=3.53e7;          %conductividad región exterior (mhos/m)
muri=100;              %permeabilidad magnética relativa región interior
muro=1;                %permeabilidad magnética relativa región exterior
epi=85*um;             %desviación rms superficie región interior(normal)
epo=120*um;            %desviación rms superficie región exterior(normal)
taper=12;              %taper en el borde (dB)

diam=40;                %diámetro reflector
dblock=3.28;           %diámetro bloqueo central (subreflector)
foc=15;                %distancia focal
rmag=21;               %magnificación

%Opciones de dibujo:
geo='si';              %dibujar('si') no dibujar('no') eficiencia óhmica
ged='si';              %dibujar('si') no dibujar('no') eficiencia de deformaciones
ger='si';              %dibujar('si') no dibujar('no') error equivalente (Ruze)
get='si';              %dibujar('si') no dibujar('no') eficiencia total

%Cálculos auxiliares:
lambda=cluz/freq;      %longitud de onda
fd=foc/diam;          %relación F/D
```

5.2 *constants.m*

```
%
%                               Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%

cluz=2.997925e+8;      %Speed of light in vacuum
um=1.0e-6;
GHz=1.0e9;
KHz=1.0e3;
MHz=1.0e6;
k=1.380658e-23;       %Boltzmann constant (W/(Hz*K))
Km=1000;
```

5.3 efiaprcombi.m

```
%
%
%           EFIAPRCOMBI.M
%Eficiencia de apertura con dos tipos de panel
%Apertura parabólica de revolución con bloqueo central circular
%Dos coronas circulares de paneles de distinto material y distinta precisión
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%           Alberto Barcia, CAY, Feb. 2001.
%
%Definiciones previas:
clear
constants
parametros
aut
headers
%
if (geo=='si')|(get=='si')

    %Cálculo del vector de eficiencias óhmicas:
    step=apstep;
    ri=0.5*dblock:step:0.5*diam;
    for ii=1:(0.5*diam-0.5*dblock)/step+1
        etal(ii)=eta_ohm(sigmi,sigmo,muri,muro,ri(ii),foc,diam/2,dblock/2,taper,freq);
    end

    if geo=='si'
        %
        %Gráfica de eficiencias óhmicas:
        figure
        plot(ri,etal)
        xlabel('Radius of interzone (m)')
        ylabel('Ohmic efficiency')
        htxti=(max(ri)-min(ri))/16;
        vtxti=(max(etal)-min(etal))/16;
        htxtp=min(ri)+htxti;
        vtxtp=(max(etal)+min(etal))/2;
        text(htxtp,vtxtp,['\sigma_i =',num2str(sigmi,'%8.3g')])
        text(htxtp,vtxtp-vtxti,['\sigma_o =',num2str(sigmo,'%8.3g')])
        text(htxtp,vtxtp-2*vtxti,['\mu_i =',num2str(muri,'%5d')])
        text(htxtp,vtxtp-3*vtxti,['\mu_o =',num2str(muro,'%5d')])
        text(htxtp,vtxtp-4*vtxti,['f =',num2str(freq/GHz,'%4d'),'GHz'])

    end

end

if (ged=='si')|(ger=='si')|(get=='si')
%
%Cálculo del vector de eficiencias por deformaciones:
randn('state',0);
EPi=epi.*randn(mdim,ndim);
EPo=epo.*randn(mdim,ndim);

%Create radiotelescope antenna model
antena=antmodel(diam,taper,apheader,ranphi,used,...
    shfsector,shfpanel,shfring,coef);
mascara=mask(apheader,diam,dblock,0.0); %ABC (19/02/01)
a=abs(mascara.*antena);

X=ones(size(y))*x;Y=y*ones(size(x));R2=X.^2+Y.^2;
```

```

ii=0;

for rcombi=0.5*dblock:apstep:0.5*diam           %ABC (19/02/01)

    [Mi,Mo]=maskcombi (apheader,diam,dblock,0,rcombi);           %ABC(19/02/01)

    F=Epi.*Mi+Epo.*Mo;
    Fruze=F./sqrt(1+R2./(4*foc.^2));

    phi=(4*pi/lambda)*Fruze;

    A=sum(sum(a.*cos(phi)));
    B=sum(sum(a.*sin(phi)));
    C=sum(sum(a));

    ii=ii+1;
    ejex(ii)=rcombi;
    eff(ii)=(sqrt(A^2+B^2))/C^2;
    npoints=sum(sum(Mi+Mo));
    rms(ii)=1e6*sqrt(sum(sum(Fruze.^2))/npoints);

end

end

if ged=='si'

    %Gráfica de eficiencias por deformaciones:
    figure
    plot(ejex,eff);
    xlabel('Radius of interzone (m)');
    ylabel('Surface tolerance efficiency');
    htxti=(max(ejex)-min(ejex))/16;
    vtxti=(max(eff)-min(eff))/16;
    htxtp=min(ejex);
    vtxtp=(max(eff)+min(eff))/2;
    text(htxtp,vtxtp+3*vtxti,['\epsilon =',num2str(epi/um,'%4d'),' \mu m'])
    text(htxtp,vtxtp+2*vtxti,['\epsilon =',num2str(epo/um,'%4d'),' \mu m'])
    text(htxtp,vtxtp+vtxti,['f =',num2str(freq/GHz,'%4d'),' GHz'])
    text(htxtp,vtxtp,['taper =',num2str(taper,'%3d'),' dB (gauss.)'])

end

if ger=='si'

    %Cálculo del vector de error rms equivalente (Ruze):
    EFF=10*log10(1/eff);
    rmsruze=1e6*(lambda*0.25/pi)*sqrt(log(1./eff));

    %Gráfica de errores rms equivalentes:
    figure
    plot(ejex,rmsruze,'b-');
    xlabel('Radius of interzone (m)');
    ylabel('Ruze effective surface error (\mu m)');
    htxti=(max(ejex)-min(ejex))/16;
    vtxti=(max(rmsruze)-min(rmsruze))/16;
    htxtp=min(ejex);
    vtxtp=(max(rmsruze)+min(rmsruze))/2;
    text(htxtp,vtxtp,['\epsilon =',num2str(epi/um,'%4d'),' \mu m'])
    text(htxtp,vtxtp-vtxti,['\epsilon =',num2str(epo/um,'%4d'),' \mu m'])
    text(htxtp,vtxtp-2*vtxti,['taper =',num2str(taper,'%3d'),' dB (gauss.)'])

```

```

end

if get=='si'

    %cálculo de eficiencia total:
    %
    efft=etal.*eff;

    %Gráfica de eficiencias por deformaciones:
    figure
    plot(ejex,efft);
    xlabel('Radius of interzone (m)');
    ylabel('Total efficiency');
    htxti=(max(ejex)-min(ejex))/16;
    vtxti=(max(efft)-min(efft))/16;
    htctp=min(ejex);
    vtctp=(max(efft)+min(efft))/2;
    text(htctp,vtctp+7*vtxti,['\sigma_i =',num2str(sigmi,'%8.3g')])
    text(htctp,vtctp+6*vtxti,['\sigma_o =',num2str(sigmo,'%8.3g')])
    text(htctp,vtctp+5*vtxti,['\mu_i =',num2str(muri,'%5d')])
    text(htctp,vtctp+4*vtxti,['\mu_o =',num2str(muro,'%5d')])
    text(htctp,vtctp+3*vtxti,['\epsilon_i =',num2str(epi/um,'%4d'),' \mum'])
    text(htctp,vtctp+2*vtxti,['\epsilon_o =',num2str(epo/um,'%4d'),' \mum'])
    text(htctp,vtctp+vtxti,['f =',num2str(freq/GHz,'%4d'),'GHz'])
    text(htctp,vtctp,['taper =',num2str(taper,'%3d'),'dB (gauss.)'])

end

```

5.4 aut.m

```

%Geometrical Parameters for the telescope
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%           Modificado A. Barcia, CAY, Feb. 2001
%
mdim=128;           %map size mdim x ndim pixels
ndim=mdim;

rsampi=0.85;       %Relative sampling interval

%Parameters for antenna modelling
ranphi=0.0;        %Uniformly distributed random phase component
useed=0;           %Seed for uniform random generator
shfsector(1)=-15;  %Initial angle(deg) of sector to displace
shfsector(2)=15;   %Final angle(deg) of sector to displace
shfsector(3)=-0.0; %Value of sector displacement (rad)
shfpanel(1)=0.5*diam/2; %Initial radius of panel to displace (metres)
shfpanel(2)=100;   %Initial angle of panel to displace (deg)
shfpanel(3)=0.8*diam/2; %Final radius of panel to displace (metres)
shfpanel(4)=120;   %Final angle of panel to displace (deg)
shfpanel(5)=0.0;   %Value of panel displacement
shfring(1)=0.8*diam/2; %Initial radius for panel ring shift (metres)
shfring(2)=0.9*diam/2; %Final radius for panel ring shift (metres)
shfring(3)=0.0;    %Value of panel ring shift (rad)

coef(1)=0.0;       %x-tilt (radians at the edge)
coef(2)=0.0;       %y-tilt (radians at the edge)
coef(3)=0.0;       %piston (radians at the edge)
coef(4)=0.0;       %axial defocus (radians at the edge)

```

```

coef(5)=0.0;           %x-coma (radians at the edge)
coef(6)=0.0;           %y-coma (radians at the edge)
coef(7)=0.0;           %Astig. 1st order 0° (radians at the edge)
coef(8)=0.0;           %Astig. 1st order 45° (radians at the edge)

```

5.5 headers.m

```

%Headers for plots
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%

apstep=(diam/rsampi)/(mdim-1);   %resolution in aperture plane
apheader(1,1)=mdim;
apheader(1,2)=mdim/2+1;
apheader(1,3)=-diam/(2*rsampi);
apheader(1,4)=apstep;
apheader(2,1)=ndim;
apheader(2,2)=ndim/2+1;
apheader(2,3)=-diam/(2*rsampi);
apheader(2,4)=apstep;

ffstep=lambda*rsampi*180*3600/(pi*diam); %sampling interval in arcsec.
T=(mdim-1)*ffstep;                    %Far-field map dimensions
ffheader(1,1)=mdim;
ffheader(1,2)=mdim/2+1;
ffheader(1,3)=-T/2;
ffheader(1,4)=ffstep;
ffheader(2,1)=ndim;
ffheader(2,2)=ndim/2+1;
ffheader(2,3)=-T/2;
ffheader(2,4)=ffstep;

%Aperture axes
nx=apheader(1,1);xref=apheader(1,2);xval=apheader(1,3);xinc=apheader(1,4);
ny=apheader(2,1);yref=apheader(2,2);yval=apheader(2,3);yinc=apheader(2,4);

x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;   %X axis
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;   %Y axis
y=y';

%Far-field axes
nu=ffheader(1,1);uref=ffheader(1,2);uval=ffheader(1,3);uinc=ffheader(1,4);
nv=ffheader(2,1);vref=ffheader(2,2);vval=ffheader(2,3);vinc=ffheader(2,4);

u=-0.5*nu*uinc:uinc:(0.5*nu-1)*uinc;   %U axis
v=-0.5*nv*vinc:vinc:(0.5*nv-1)*vinc;   %V axis
v=v';

```


5.6 antmodel.m

```
%Make antenna model starting from some input data model.
%Aperture distribution is masked.
%
%function Eap=antmodel(diam,taper,header,rnphi,used,shfsector,shfpanel,coef)
%
% diam=antenna diameter
% taper=antenna taper in dB
% header=information about axis
% rnphi=uniform random phase distribution
% used= uniform random number generator seed
% shfsector=parameters for sector displacement
% shfpanel=parameters for panel displacement
% coef=coefficients of aberration function
%
%                               Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%
function Eap=antmodel(diam,taper,header,rnphi,seed,...
    shfsector,shfpanel,shfring,coef)
j=sqrt(-1);
%dem=8*log(10^(-1*taper/20));
dem=8*log(10^(1*taper/20));                               %ABC, 19/02/01
sigma=diam/sqrt(dem);                                     %sigma of gaussian distribution
Eap=gauss2d(0,sigma,header);
maximum=max(max(Eap));                                   %maximum value of gaussiann
amp=Eap/maximum;
pha=aberr(coef,header,diam);                             %add aberrations
rand('state',seed)
pha=pha+rnphi*(rand(size(amp))-0.5);                     %add uniform random phase [-rndphi/2
rndphi/2]
pha=sector(pha,header,shfsector);                       %shift sector
pha=panel(pha,header,shfpanel);                         %shift panel
pha=ring(pha,header,shfring);                           %shift panel ring
Eap=amp.*exp(j*pha);
```

5.7 mask.m

```
%function M=mask(header,diam,dblock,dleg,pleg,sleg,maskvalue)
%Creates a mask for taking the blocked area into account.
% mask=1 where no blocking
% mask=maskvalue where blocking
%
%                               Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%                               Modificado A. Barcia, CAY, Feb. 2001
%
function M=mask(header,diam,dblock,maskvalue)           %ABC(19/02/01)
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

radius=diam/2;
radblock=dblock/2;
M=ones(nx,ny);

for m=1:nx,
    for n=1:ny,
        r=sqrt(x(m)^2+y(n)^2);
        if r>radius
            M(m,n)=maskvalue;
```

```

elseif r<radblock
    M(m,n)=maskvalue;
end,
end,
end,

```

5.8 maskcombi.m

```

%function M=maskcombi(header,diam,dblock,dleg,pleg,sleg,maskvalue,rcombi)
%Creates a mask for taking the blocked area into account.
% mask=1 where no blocking
% mask=maskvalue where blocking
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%           Modificado A. Barcia, CAY, Feb. 2001.
%
function [Mi,Mo]=maskcombi(header,diam,dblock,maskvalue,rcombi)
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

radius=diam/2;
radblock=dblock/2;
Mi=ones(nx,ny);
Mo=ones(nx,ny);

for m=1:nx,
    for n=1:ny,
        r=sqrt(x(m)^2+y(n)^2);
        if r>rcombi
            Mi(m,n)=maskvalue;
        elseif r<radblock
            Mi(m,n)=maskvalue;
        end,

        if r>radius
            Mo(m,n)=maskvalue;
        elseif r<rcombi
            Mo(m,n)=maskvalue;
        end,

    end,
end,
end,

```

5.9 gauss2d.m

```

% function Z=gauss2d(m,s,header)
% Returns a gaussian distribution with mean 'm' and sigma 's'
% to be used in antenna model
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%
function Z=gauss2d(m,s,header)

nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;
y=y';
X=ones(size(y))*x;Y=y*ones(size(x));

```

```
R=(sqrt(X.^2+Y.^2)-m)/s;
a=s*sqrt(2*pi);
Z=(1/a)*exp(-0.5*R.^2);
```

5.10 aberr.m

```
%function phi=aberr(coef,header,diam)
%computes aberrated phase function
%
% phi(x,y)= a*x/R + b*y/R + c + d*(x^2+y^2)/R^2 +
%           e*(x^3+x*y^2)/R^3 + f*(y^3+y*x^2)/R^3 +
%           g*(x^2-y^2)/R^2 + h*x*y/R^2
%
% where R is aperture radius
%
%coef(1)=a      %x-tilt (radians at the edge)
%coef(2)=b      %y-tilt (radians at the edge)
%coef(3)=c      %piston (radians at the edge)
%coef(4)=d      %axial defocus (radians at the edge)
%coef(5)=e      %x-coma (radians at the edge)
%coef(6)=f      %y-coma (radians at the edge)
%coef(7)=g      %Astig. 1st order 0° (radians at the edge)
%coef(8)=h      %Astig. 1st order 45° (radians at the edge)
%
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%
function phi=aberr(coef,header,diam)
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

y=y';
X=ones(size(y))*x;Y=y*ones(size(x));
R=diam/2;
phi= coef(1)*X/R+coef(2)*Y/R+coef(3)+coef(4)*(X.^2+Y.^2)/R^2+ ...
coef(5)*(X.^3+X.*Y.^2)/R^3+coef(6)*(Y.^3+Y.*X.^2)/R^3+ ...
coef(7)*(X.^2-Y.^2)/R^2+coef(8)*X.*Y./R^2;
```

5.11 sector.m

```
%function A=sector(B,header,shfsector)
%To displace a sector in aperture plane by delphi(rads)
%between azimuths a1 and a2 (in degrees)
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%
function A=sector(B,header,shfsector)
a1=shfsector(1);
a2=shfsector(2);
delphi=shfsector(3);
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
%x=xval:xinc:xval+(nx-1)*xinc;
%y=yval:yinc:yval+(ny-1)*yinc;
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

for m=1:nx,
```

```

for n=1:ny,
theta=atan2(y(n),x(m))*180/pi;
if (a1<theta)&(theta<a2)
A(m,n)=B(m,n)+delphi;
else
A(m,n)=B(m,n);
end,
end,
end,

```

5.12 panel.m

```

%function A=panel(B,header,shfpanel)
%To displace a panel in aperture plane by panphi(rads)
%between azimuths a1 and a2 (in degrees) and radius r1 and r2 (metres)
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, Dec. 1999.
%
function A=panel(B,header,shfpanel)
r1=shfpanel(1);
a1=shfpanel(2);
r2=shfpanel(3);
a2=shfpanel(4);
panphi=shfpanel(5);
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
%x=xval:xinc:xval+(nx-1)*xinc;
%y=yval:yinc:yval+(ny-1)*yinc;
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

for m=1:nx,
for n=1:ny,
theta=atan2(y(n),x(m))*180/pi;
radius=sqrt(x(m)^2+y(n)^2);
if (a1<theta)&(theta<a2)&(r1<radius)&(radius<r2)
A(m,n)=B(m,n)+panphi;
else
A(m,n)=B(m,n);
end,
end,
end,

```

5.13 ring.m

```

%function A=ring(B,header,shfring)
%To displace a panel ring in aperture plane by ringphi(rads)
%between radius r1 (inner radius) and r2 (outer radius) (metres)
%
%           Jose A. Lopez-Perez. CAY, March. 2000.
%
function A=ring(B,header,shfring)
r1=shfring(1);
r2=shfring(2);
ringphi=shfring(3);
nx=header(1,1);xref=header(1,2);xval=header(1,3);xinc=header(1,4);
ny=header(2,1);yref=header(2,2);yval=header(2,3);yinc=header(2,4);
%x=xval:xinc:xval+(nx-1)*xinc;
%y=yval:yinc:yval+(ny-1)*yinc;
x=-0.5*nx*xinc:xinc:(0.5*nx-1)*xinc;
y=-0.5*ny*yinc:yinc:(0.5*ny-1)*yinc;

```

```

for m=1:nx,
    for n=1:ny,
        radius=sqrt(x(m)^2+y(n)^2);
        if (r1<radius)&(radius<r2)
            A(m,n)=B(m,n)+ringphi;
        else
            A(m,n)=B(m,n);
        end,
    end,
end,

```

5.14 eta_ohm.m

```

function etal = eta_ohm(sigm1,sigm2,mur1,mur2,ri,F,R,rs,T,f)
% eficiencia óhmica de reflector parabólico
%
%                               Alberto Barcia, CAY, Feb. 2001
%
% Eficiencia por pérdidas óhmicas en reflector parabólico compuesto por dos
zonas con
%distintas conductividades.
%
% sigm1, sigm2 = conductividades de 1ª y 2ª zona
% mur1, mur2 = permeabilidades relativas de 1ª y 2ª zona
% F = distancia focal
% rs = radio subreflector (comienzo 1ª zona)
% ri = radio límite entre zonas
% R = radio reflector (fin 2ª zona)
% T = "taper" en el borde (dB, >=0)
% f = frecuencia
%
% Unidades MKS.

Rs1=res_sup(sigm1,mur1,f); Rs2=res_sup(sigm2,mur2,f);
A1=perd_geom(rs,ri,F,R,rs,T);    A2=perd_geom(ri,R,F,R,rs,T);

etal = 1-Rs1.*A1-Rs2.*A2;

function Rs = res_sup(sigm,mur,frec)
%Resistencia superficial de un conductor
mu=4.*pi.*10.^(-7).*mur;                %permeabilidad magnética
delt=1./sqrt(pi.*frec.*mu.*sigm);      %profundidad de penetración
Rs = 1./(sigm.*delt);

```

5.15 perd_geom.m

```

function A=perd_geom(r1,r2,F,R,rs,T)
% Factor geométrico en pérdidas óhmicas en reflector parabólico
%
%                               Alberto Barcia, CAY, Feb. 2001
%
% El factor A multiplicado por Rs (resistencia superficial del material) da la
%reducción de la eficiencia debida a pérdidas óhmicas en el segmento de
paraboloide
%considerado (cuya proyección sobre la apertura es la corona circular
comprendida
%entre los radios r1 y r2). Así, en un parabolioide con tres anillos de paneles
de
%materiales distintos, la eficiencia óhmica etal es:

```

```

%          etal = 1-Rs1*A1-Rs2*A2-Rs3*A3
%
% Reflector con simetría de revolución. Distribución gaussiana en amplitud
(quasi-
%óptica). En antenas Cassegrain (rs>0) no se tiene en cuenta la potencia
disipada
%ni la transmitida en el área bloqueada. Se desprecia el efecto de las patas del
%subreflector.
%
% F=distancia focal      R=radio reflector      rs=radio subreflector
% r1,r2=radios(sobre la apertura) que limitan el segmento de reflector
considerado
% eta=impedancia intrínseca del medio (120*pi)
% T="taper" en el borde (dB, >=0)
%
% Magnitudes en sistema MKS

eta=120*pi;
a=T./(20.*R.^2.*log10(exp(1)));
A = 8.*a./eta./(exp(-2.*a.*rs.^2)-exp(-
2.*a.*R.^2)).*quad('f1',r1,r2,[],[],F,R,T);

```

5.16 f1.m

```

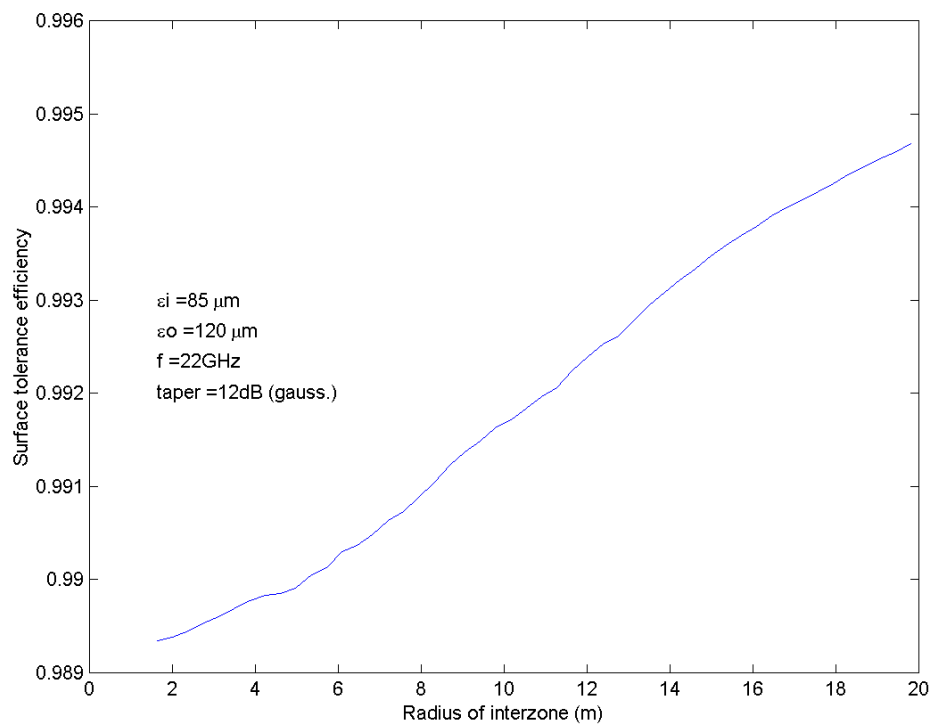
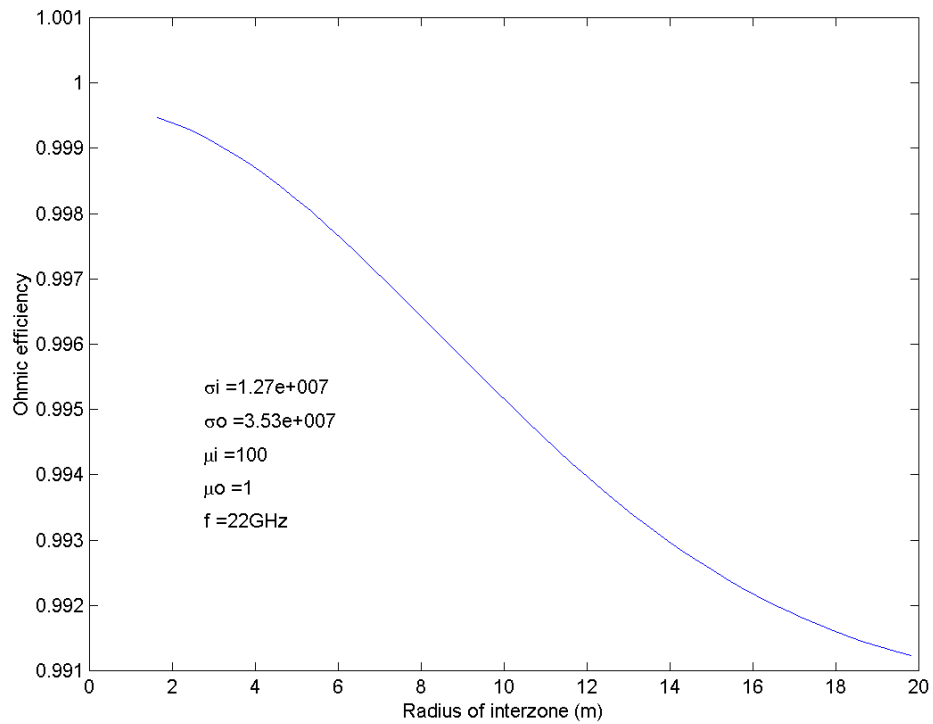
function y = f1(r,F,R,T)
% integrando auxiliar para perd_geom.m
%
%          Alberto Barcia, CAY, FEb. 2001
%
% iluminación gaussiana en amplitud (quasi-óptica)
% F = distancia focal del receptor
% R = radio
% T = "taper" en el borde (dB,>=0)

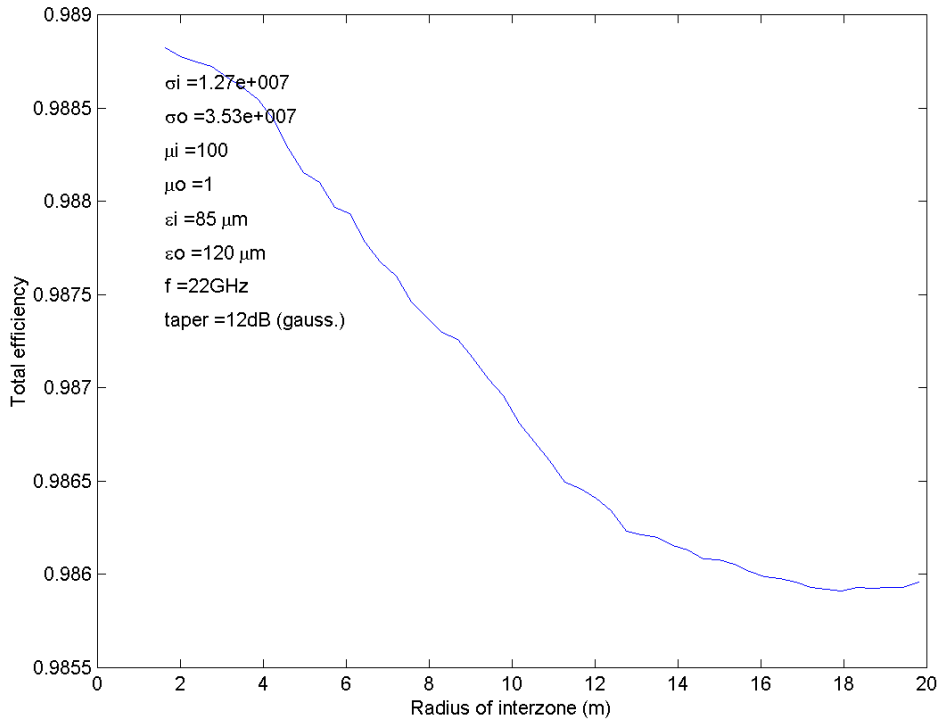
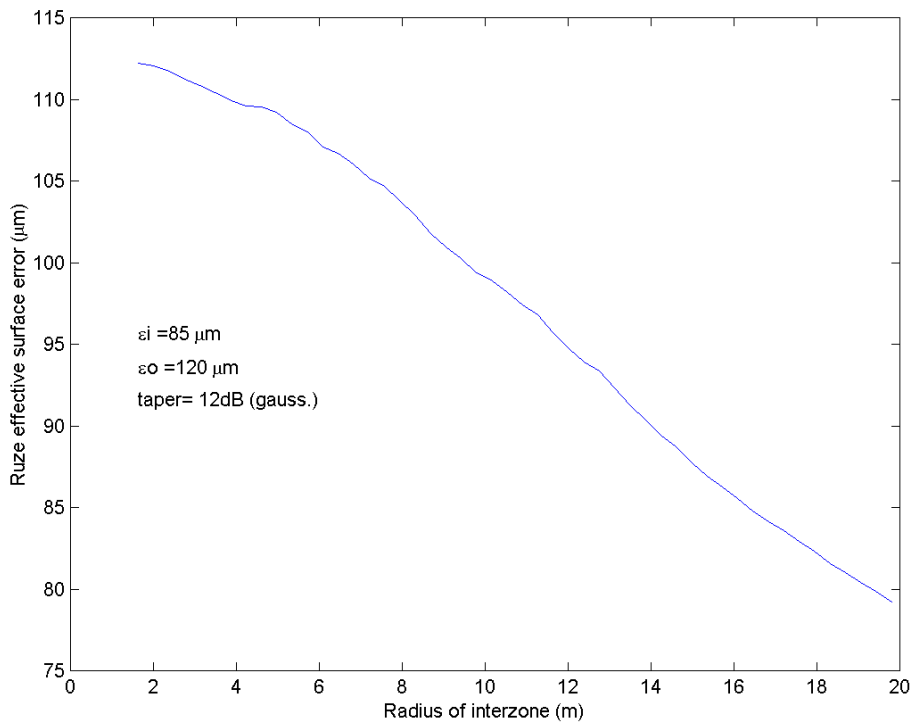
a = T./(20.*R.^2.*log10(exp(1)));
y = (8.*F.^2+r.^2)./sqrt(4.*F.^2+r.^2).*exp(-2.*a.*r.^2).*r./2./F;

```

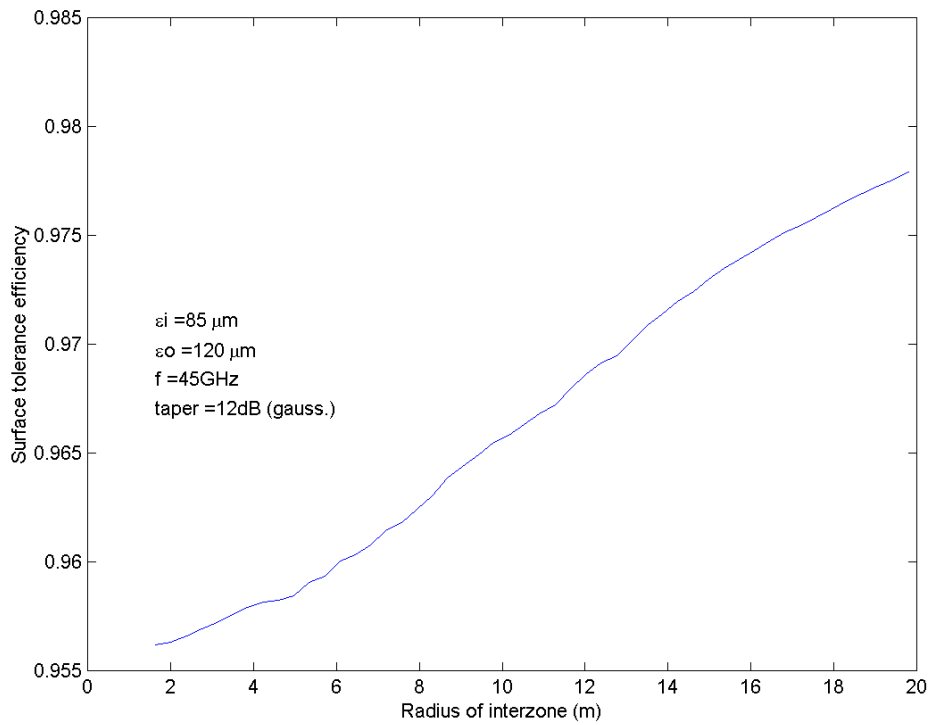
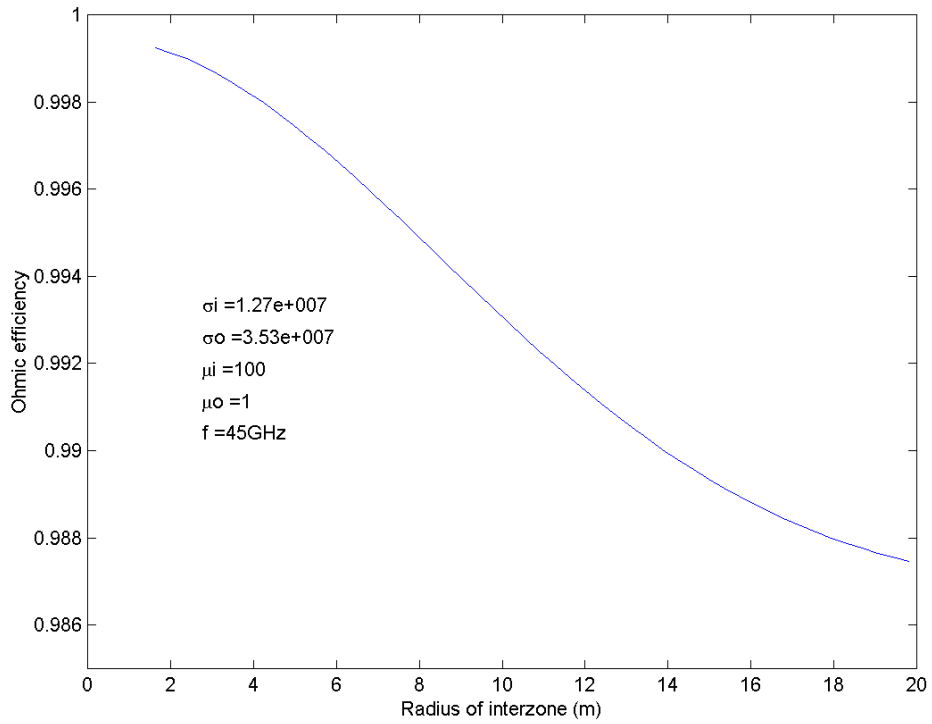
6 APÉNDICE 2. Resultados para la antena de 40 m del CAY:

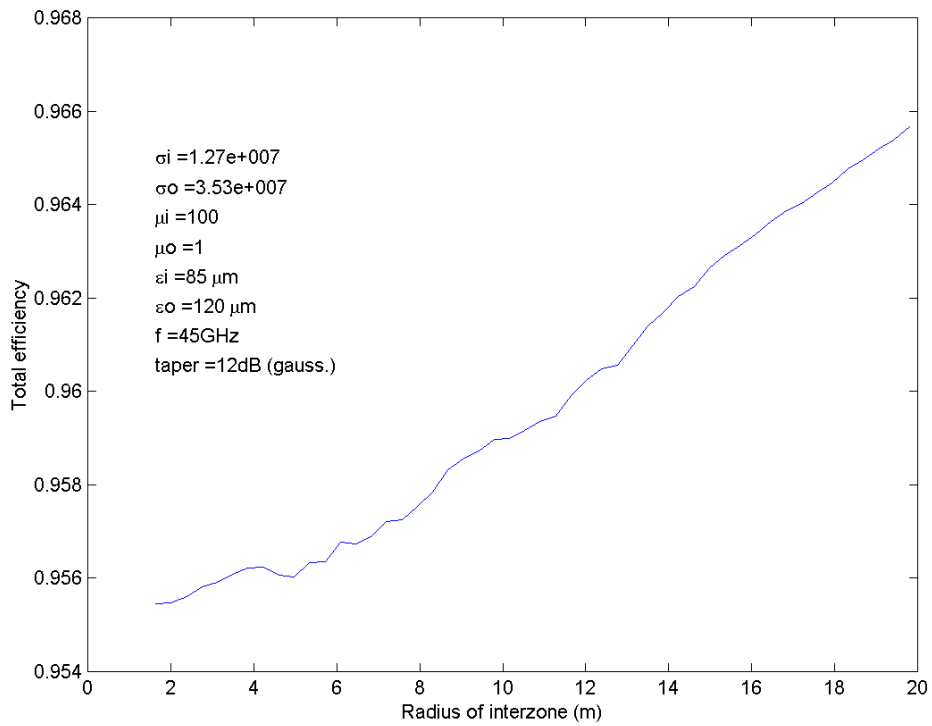
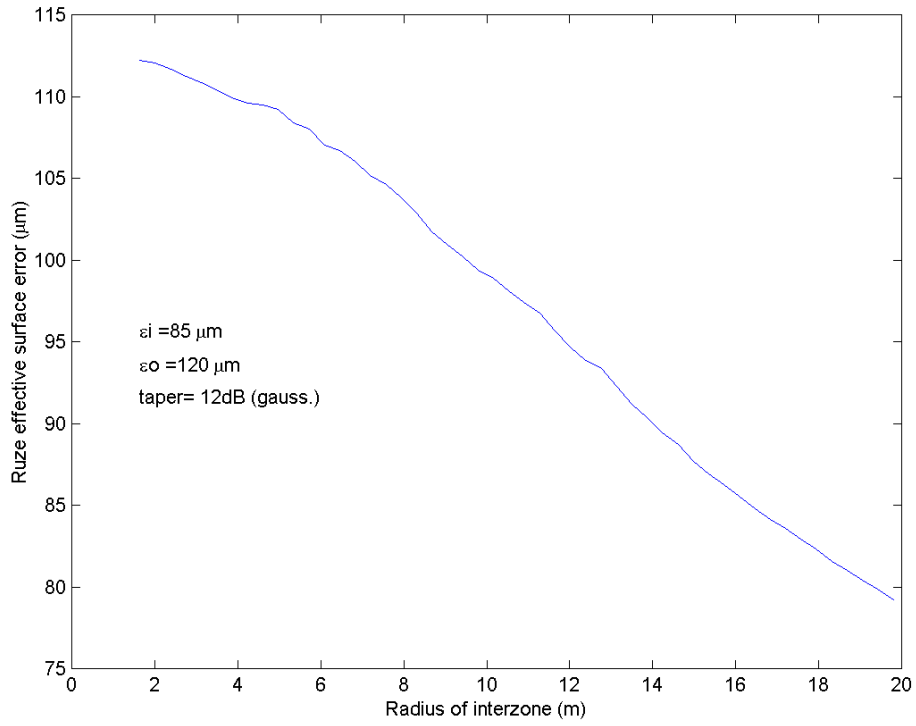
6.1 Frecuencia 22 GHz





6.2 Frecuencia 45 GHz





6.3 Frecuencia 115 GHz

