

EVALUACION DE CAMBIO DE SUPERFICIE

DE ANTENA II DEL IAR

EVALUACIONES DE CAMBIO DE SUPERFICIE DE ANTENA II DEL IAR

Autores : Ing. J.A. Bava, Dr. C. Olano, Lic. J.C. Testori y Ing. A.J. Sanz.

INTRODUCCION

En este trabajo se realizara un análisis del cambio de superficie de antena II del IAR, profundizando el estudio en las bandas L, S y C, las que son de interés para observaciones radioastronomicas.

Se analizara y justificara las bondades de realizar el cambio de superficie de antena con un método de paneles, que es motivo de trabajos hechos con anterioridad que figura como informe interno del IAR. Además se analizaran medidas efectuadas sobre la estructura de antena II para verificar su correcto funcionamiento en las bandas antes mencionadas.

ANALISIS DE EFICIENCIA DE ANTENA

La ganancia de un reflector parabólicoⁱ puede escribirse como:

$$G_o = (4 \pi A / \lambda^2) \eta \quad (1)$$

Donde

G_o : ganancia referida al radiador isotropico.

A : área de apertura (área proyectada por el disco).

λ : longitud de onda.

η : eficiencia de apertura.

La eficiencia de apertura o también eficiencia de antena es un factor que evalúa la calidad de la antena con respecto a una serie de factores, pero para nuestro caso es valido efectuar el análisis con muy buena aproximación considerando que la eficiencia de antena es :

$$\eta = \eta_i \eta_s \eta_e \quad (2)$$

Donde

η_i : eficiencia de iluminación

η_s : eficiencia de sobreiluminación (spillover)

η_e : eficiencia de error de superficie.

Las eficiencias de iluminación y la de sobreiluminación son dependientes de como el alimentador principal del cabezal receptor ilumina al reflector parabólico. Estas eficiencias son netamente dependientes y hay un factor de compromiso para seleccionarlas, ya que un incremento de una de ellas traería aparejado un deterioro de la otra. Generalmente en las antenas comúnmente la eficiencia total varia entre un 60 a un 80%. En el caso de rugosidades de distribución aleatorias la eficiencia de error de superficie puede expresarse como :

$$\eta_e = e^{-(4 \pi \epsilon / \lambda)^2} \quad (3)$$

Donde ϵ es el error rms de la superficie o sea el apartamiento eficaz de la superficie real con respecto a la ideal.

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA

Los determinaciones teóricas se realizaron aplicando las ecuaciones sobre una planilla de calculo dando como resultado la tabla que adjuntamos.

El análisis y calculo se realizo comparando la superficie de la antena I (la que fue medidaⁱⁱ), en donde se saco como valor de imperfección rms de la superficie 6,6mm.

Cabe señalar que este fue tomado en las uniones entre los anillos y las costillas de la estructura de antena, sin considerar las deformaciones de la chapa que conforman la antena, lo que hace que este calculo teórico de eficiencia sea contemplando esos puntos y no la superficie real de la misma. Esta superficie figura en los gráfico como SUPERFICIE ACTUAL DE LA ANTENA I.

La superficie con paneles y que según trabajos preliminaresⁱⁱⁱ tendrá una imperfección^{iv} de superficie de 1mm y en los gráficos figura como SUPERFICIE CON PANELES.

Como resultado se realizaron los gráficos en banda L, S y C (figura 1, Figura 2 y figura 3) de la eficiencia de antena, valores sacados de la Tabla I dada por la planilla de calculo.

Debemos considerar que para determinar los valores que se calcularon en la Tabla I se considero la eficiencia producida por la iluminación (η_i) y la de sobreiluminación (η_s) del 70%, lo cual se ha comprobado que son valores correcto para el tipo de alimentador principal utilizado (bocinas corrugadas).

TABLA I							
Frecuencia	λ	η_e	η_e	η	$\lambda \eta$	GANANCIA	GANANCIA
[Mhz]	[cm]	$\epsilon = 6,6 \text{ mm}$	$\epsilon = 1 \text{ mm}$	$\epsilon = 6,6 \text{ mm}$	$\epsilon = 1 \text{ mm}$	$\epsilon = 6,6 \text{ mm}$	$\epsilon = 1 \text{ mm}$
BANDA L							
1100	27.27	0.74	0.95	0.52	0.67	47.9	49.0
1200	25.00	0.72	0.95	0.50	0.67	48.5	49.8
1300	23.08	0.70	0.95	0.49	0.66	49.1	50.4
1400	21.43	0.68	0.94	0.48	0.66	49.6	51.1
1500	20.00	0.66	0.94	0.46	0.66	50.1	51.6
1600	18.75	0.64	0.94	0.45	0.65	50.6	52.2
1700	17.65	0.63	0.93	0.44	0.65	51.0	52.7
1800	16.67	0.61	0.93	0.43	0.65	51.3	53.2
1900	15.79	0.59	0.92	0.41	0.65	51.7	53.6
2000	15.00	0.58	0.92	0.40	0.64	52.0	54.1
BANDA S							
2800	10.71	0.46	0.89	0.32	0.62	54.0	56.8
2900	10.34	0.45	0.89	0.31	0.62	54.2	57.1
3000	10.00	0.44	0.88	0.31	0.62	54.3	57.4
3100	9.68	0.42	0.88	0.30	0.61	54.5	57.7
3200	9.38	0.41	0.87	0.29	0.61	54.7	57.9
3300	9.09	0.40	0.87	0.28	0.61	54.8	58.2
3400	8.82	0.39	0.87	0.27	0.61	54.9	58.4
3500	8.57	0.38	0.86	0.27	0.60	55.1	58.6
3600	8.33	0.37	0.86	0.26	0.60	55.2	58.9
3700	8.11	0.36	0.86	0.25	0.60	55.3	59.1
BANDA C							
4400	6.82	0.30	0.83	0.21	0.58	56.0	60.5
4500	6.67	0.29	0.83	0.20	0.58	56.1	60.6
4600	6.52	0.28	0.82	0.20	0.58	56.1	60.8
4700	6.38	0.27	0.82	0.19	0.57	56.2	61.0
4800	6.25	0.27	0.82	0.19	0.57	56.3	61.1
4900	6.12	0.26	0.81	0.18	0.57	56.3	61.3
5000	6.00	0.25	0.81	0.18	0.57	56.4	61.5
5100	5.88	0.24	0.81	0.17	0.57	56.4	61.6
5200	5.77	0.24	0.80	0.17	0.56	56.5	61.8
5300	5.66	0.23	0.80	0.16	0.56	56.5	61.9

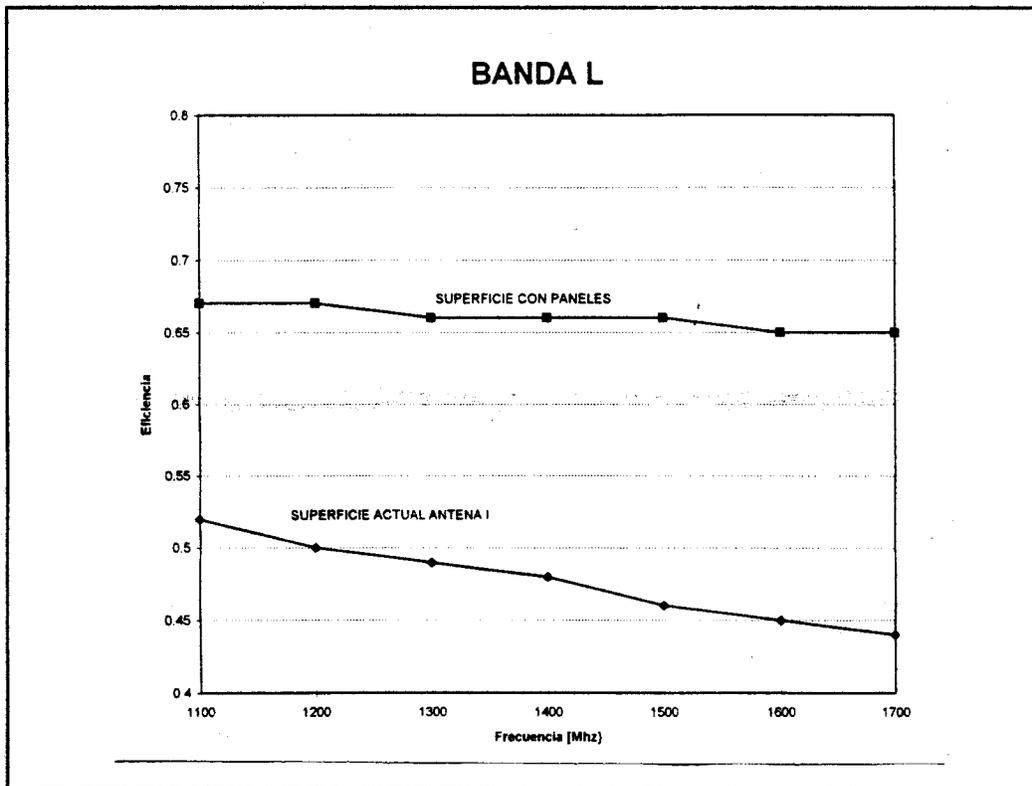


figura 1 - Eficiencia de antena con superficie actual y con paneles para banda L.

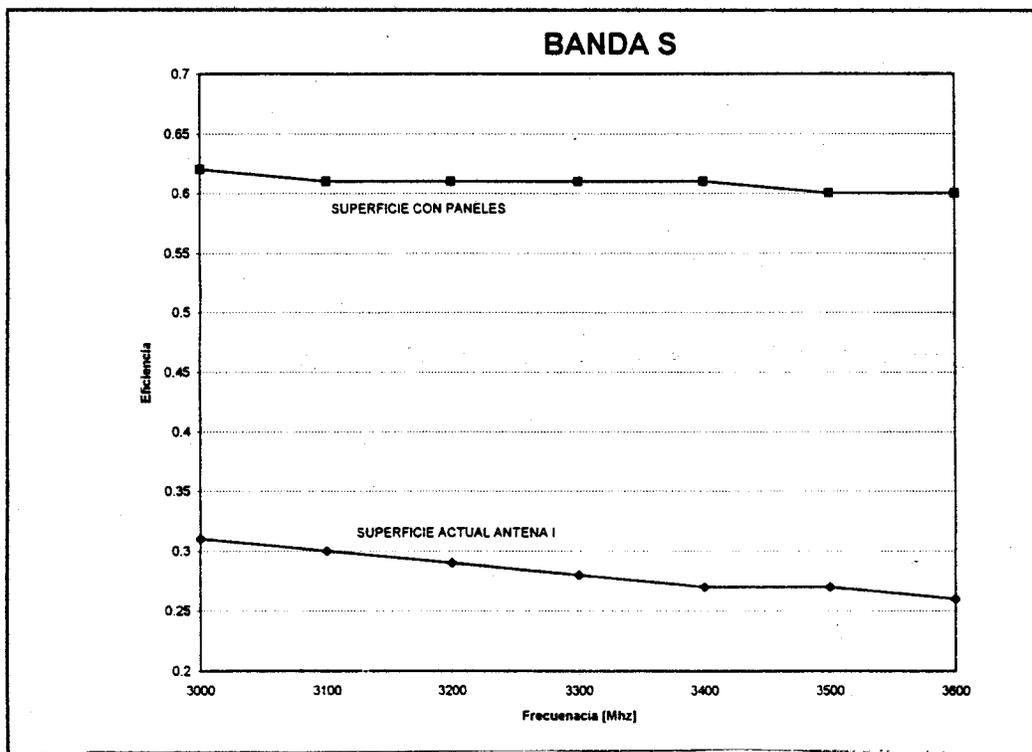


figura 2 - Eficiencia de antena con superficie actual y con paneles para banda S.

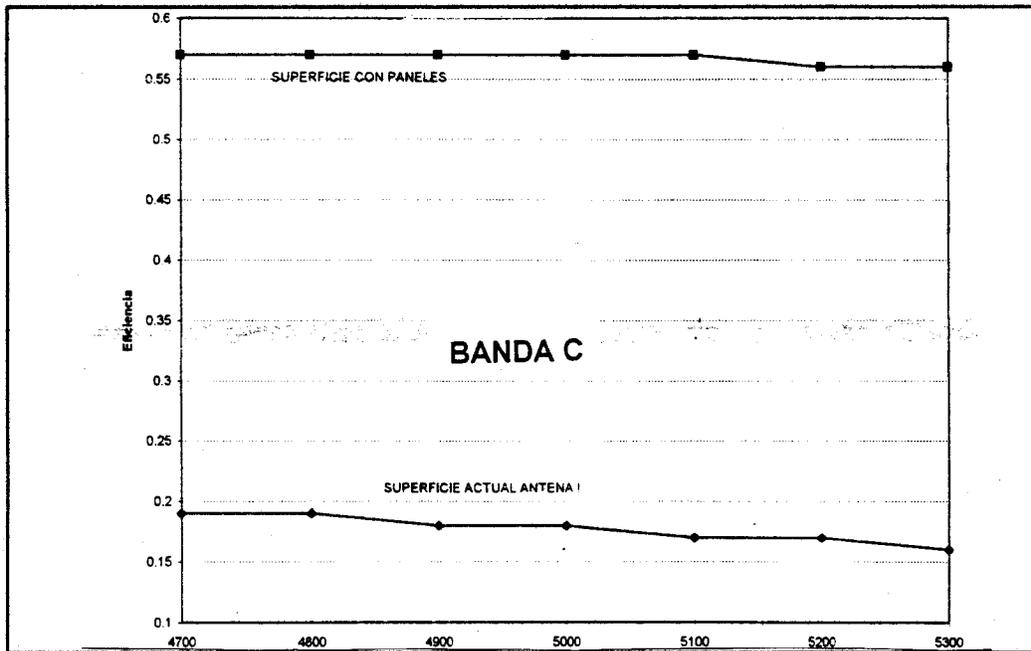


figura 3 - Eficiencia de antena con superficie actual y con paneles para banda C.

Además de el cálculo teórico hemos hecho la determinación de la eficiencia de antena en función de medidas de radiofuentes en banda C. La elección de la banda fue debido a que poseíamos un cabezal de receptor comercial para uso satelital en banda de 4 Ghz, lo que permitía un rápido montaje y utilización.

El cabezal se montó en la antena I y se realizaron observaciones simultáneas en 1420 Mhz con la antena II como se observa en el gráfico mostrado a continuación. En el cabezal de 4 Ghz se le instaló un diodo de ruido, que permitió calibrar la fuente observada. El mismo cabezal produce una conversión de frecuencia, mas la conversión del receptor de sala de control, resulta una observación en la frecuencia de 3,7 GHz. En la gráfica se ven dos observaciones de continuo de PICTOR A, observándose una diferencia de amplitud entre las dos frecuencias. La diferencia de amplitud entre las dos observaciones es producto del efecto de decaimiento de la eficiencia de antena con la frecuencia, y además existe un decaimiento de la densidad de flujo con la frecuencia expresado por :

$$(S_{1,4\text{GHz}} / S_{3,7\text{GHz}}) = (F_{1,4\text{GHz}} / F_{3,7\text{GHz}})^\alpha$$

Donde

$S_{1,4\text{GHz}}$: densidad de flujo de la radiofuente en 1,4 GHz

$S_{3,7\text{GHz}}$: densidad de flujo de la radiofuente en 3,7 Ghz

$F_{1,4\text{GHz}}$ y $F_{3,7\text{GHz}}$: son los valores de frecuencia en igual unidad

α : es un factor que depende del tipo de emisión de la radiofuente que estamos observando.

Para PICTOR A el valor de α se sacó deduciendo el mismo de flujos de la radiofuente en 1420 Mhz y en 5 Ghz. Luego :

$$\alpha = \log (S_{1,4\text{GHz}} / S_{5\text{GHz}}) / (F_{1,4\text{GHz}} / F_{5\text{GHz}}) = \log (68,8 / 23) / \log (1,42 / 5) = -0,87$$

Luego para 3,7 Ghz tendremos :

$$(S_{1,4\text{GHz}} / S_{3,7\text{GHz}}) = (F_{1,4\text{GHz}} / F_{3,7\text{GHz}})^\alpha = 2,3$$

O sea que la radiofuente PICTOR A será vista por este efecto 2,3 veces mas pequeña

En la gráfica podemos observar la radiofuente calibrada con los diodos de ruido respectivamente, dando la siguientes temperaturas :

Temperatura de PICTOR A en 1420 MHz = 5,7° K

Temperatura de PICTOR A en 3,7 Ghz = 1,79° K

PRIMERA RADIOFUENTE
OBSERVADA EN 4,2 GHz

EN EL IAR

RADIOFUENTE PICTOR

OBSERVACION

EN 4,2 GHz

OBSERVACION
SIMBIANA EN

1 420 MHz



Además según referencia ^v la eficiencia de la antena II en la frecuencia de 1420 Mhz es de 32,4%. Por lo tanto haciendo la comparación de las temperaturas en ambas antenas, tenemos que la radiofuente con la antena I se tendría que ver en 1420 Mhz con una amplitud de 2,3 veces mayor según lo visto anteriormente, luego la eficiencia de la antena I por comparación será :

$$\eta = \frac{(2,46 \cdot 1,79)}{5,7} \cdot 32,4\% = 23,4\%$$

Vemos entonces que este valor de eficiencia determinado con medidas y observaciones , es coincidente a los valores teóricos determinados en la Tabla I.

ANALISIS DEL APUNTAMIENTO DE ANTENA

La estructura de la antena no es perfecta y algunos de sus inconvenientes o errores en el apuntamiento de la antena deben ser estudiados, pudiendo estos descalificar a la antena para observaciones en ciertas bandas de frecuencias y haciendo en vano el cambio de superficie de antena, ya que el apuntamiento de la antena se haría imposible si los errores son comparables con el lóbulo principal del diagrama de irradiación de la antena.

El lóbulo principal de la antena determina la resolución de la parábola ⁱ, la cual es dada por el ángulo de potencia mitad y puede expresarse como :

$$\theta_{1/2} = K (\lambda / D) \quad (4)$$

Donde

$\theta_{1/2}$: resolución o ángulo de potencia mitad.

D : diámetro de la antena.

K : factor que depende de la iluminación del alimentador principal.

El factor K se toma igual a 70, siendo generalmente una buena aproximación en la mayoría de los casos.

El error de apuntamiento de la antena lo pueden producir varios factores que afectarán al mismo de distintas formas. Dichos factores son :

1- Factores de desajuste de los ejes de la antena

- Imperfecto paralelismo entre el eje polar de la antena y el eje de rotación de la tierra.
- Falta de perpendicularidad entre los ejes del instrumento (plano ecuatorial con plano polar).

2- Factores de errores instrumentales :

- Errores en el sistema de sensado de la posición.
- Errores en la medida de la determinación del apuntamiento.

Trataremos de analizar estos errores y ver como afectan cada uno de ellos sobre el apuntamiento de la antena, de tal forma intentaremos rescatar los errores de apuntamiento que podrían limitar el uso de las antenas en frecuencias mayores.

En los trabajos realizados en el IAR^{v vi} sobre errores de apuntamiento, sacando los errores totales (figura 4) sin analizar los efectos de los errores sistemáticos y de los errores accidentales o al azar que son los que dirán la frecuencia máxima de utilización de las antenas. A nuestro fin estos errores contemplan todos los factores anteriormente enunciados, que trataremos de clarificar.

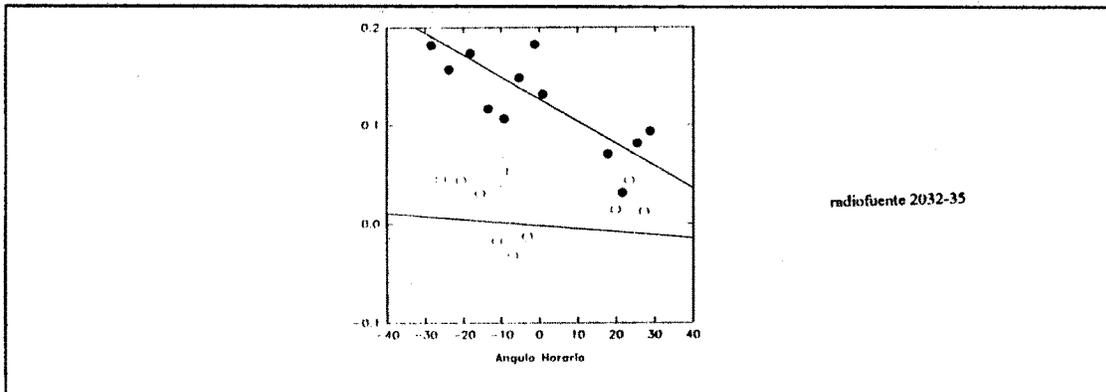


figura 4- Errores de apuntamiento de la antena para una radiofuente.

FACTORES DE DESAJUSTE DE LOS EJES DE LA ANTENA.

Este factor de error puede ser producido por el desajuste de los ejes de la antena en sus dos direcciones. Esto producirá los

desajustes mencionados anteriormente que son : imperfecto paralelismo del eje polar de la antena y el eje de rotación de la tierra y la falta de perpendicularidad entre los del instrumento. (plano ecuatorial con el eje polar). en ambos casos estos factores producirán un error sistemático de apuntamiento cuyos efectos se intentará demostrar.

Supongamos el primer caso en donde el eje polar de la antena esta desplazado con respecto al eje polar de la tierra, para simplicidad del análisis suponemos que el desplazamiento ocurre sobre el meridiano del lugar, originándose, como vemos en la figura 5, un desplazamiento del polo del instrumento P' en un ángulo γ con respecto del polo sur celeste P (distancia polar de P').

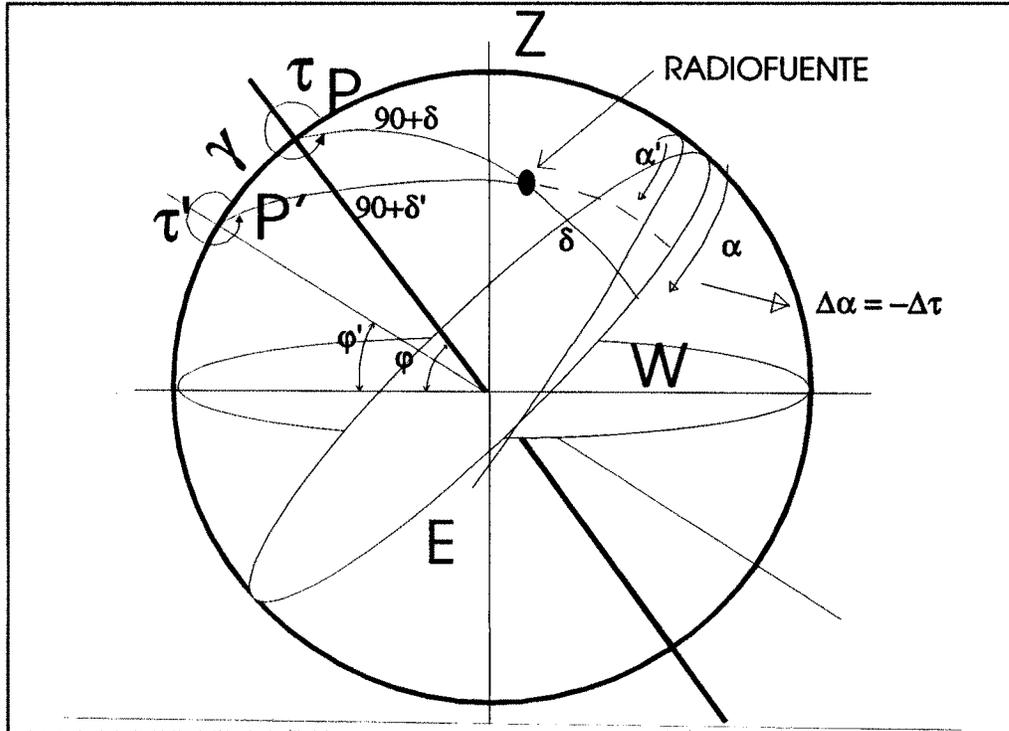


figura 5- Esfera celeste con los ángulos que forman el eje polar terrestre y el eje desaliado de la antena.

Es φ la latitud del lugar, y tomamos que la latitud del eje polar del instrumento φ' , menor que la del lugar .
Vemos que :

$$\varphi' = \varphi - \gamma \quad (5)$$

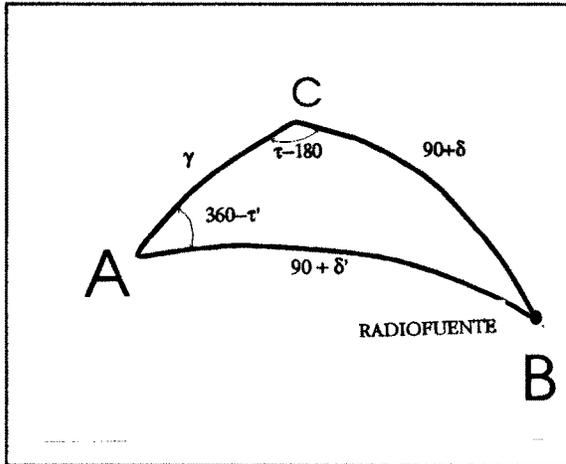
Recordando triángulos esféricos (7) tenemos en el caso de que tres puntos A, B y C de una superficie esférica sean unidos por arcos se forma un triángulo esférico AB, BC y CA y ángulos esféricos A, B y C. Si denominamos laterales a, b y c a los opuestos a los ángulos A, B y C respectivamente, podemos expresar en función de estos parámetros las ecuaciones mas importantes de triangulación esféricas dadas por :

Ley del seno

$$\frac{\text{sen } a}{\text{sen } A} = \frac{\text{sen } b}{\text{sen } B} = \frac{\text{sen } c}{\text{sen } C} \quad (6)$$

Ley del coseno

$$\cos a = \cos b \cos c + \text{sen } b \text{ sen } c \cos A \quad (7)$$



Luego nuestro triángulo esférico que surge de la figura 5 lo contemplamos en la figura 6, de donde surge las siguientes ecuaciones. Por Ley del seno tenemos que :

$$\frac{\text{sen} (360 - \tau')}{\text{sen} (90 + \delta)} = \frac{\text{sen} (\tau - 180)}{\text{sen} (90 + \delta')} \quad (8)$$

τ y δ son el ángulos horarios y la declinación de catalogo de la radiofuente. τ' y δ' son las correspondientes coordenadas instrumentales.

figura 6- Triángulo esférico generado.

Luego simplificando y despejando la ecuación (8), nos queda

$$\text{sen } \tau = \frac{\text{cos } \delta'}{\text{cos } \delta} \text{sen } \tau' \quad (9)$$

Utilizando la ley del coseno y analizando el triángulo esférico de la figura 6 tenemos :

$$\text{cos} (90 + \delta) = \text{cos } \gamma \text{cos} (90 + \delta') + \text{sen } \gamma \text{sen} (90 + \delta') \text{cos} (360 - \delta) \quad (10)$$

Simplificando

$$-\text{sen } \delta = -\text{cos } \gamma \text{sen } \delta' + \text{sen } \gamma \text{cos } \delta' \text{cos } \tau' \quad (11)$$

Como suponemos que el error de desviación es muy pequeño ($\gamma \ll 1$), tenemos que $\text{cos } \gamma = 1$ y $\text{sen } \gamma = \gamma$ por lo tanto la (11) nos queda :

$$-\text{sen } \delta = -\text{sen } \delta' + \gamma \text{cos } \delta' \text{cos } \tau' \quad (12)$$

$$\text{sen } \delta = \text{sen } \delta' - \gamma \text{cos } \delta' \text{cos } \tau' \quad (13)$$

$$\text{sen } \delta - \text{sen } \delta' = \gamma \text{cos } \delta' \text{cos } \tau' \quad (14)$$

Por otro lado podemos deducir que

$$\delta - \delta' = \Delta\delta \quad \delta = \delta' + \Delta\delta \quad (15)$$

$$\text{sen } \delta = \text{sen} (\delta' + \Delta\delta) = \text{sen } \delta' + \text{cos } \delta' \Delta\delta \quad (16)$$

Donde hemos considerado $\Delta\delta$ pequeño por lo tanto $\text{cos } \Delta\delta = 1$ y $\text{sen } \Delta\delta = \Delta\delta$. Luego

$$\text{sen } \delta - \text{sen } \delta' = \text{cos } \delta' \Delta\delta \quad (17)$$

Reemplazamos la (17) en la (14) tenemos

$$\text{cos } \delta' \Delta\delta = \gamma \text{cos } \delta' \text{cos } \tau' \quad (18)$$

$$\Delta\delta = -\gamma \cos \tau'$$

(19)

se puede apreciar en la ecuación (19) que la variación en declinación es pequeña debido al efecto de corrimiento del eje polar. En la figura 7 vemos graficado el error que se tendría para un corrimiento de $0,1^\circ$ en el eje polar en función del ángulo horario de las antenas del IAR, que corresponde a 4 hs de observación.

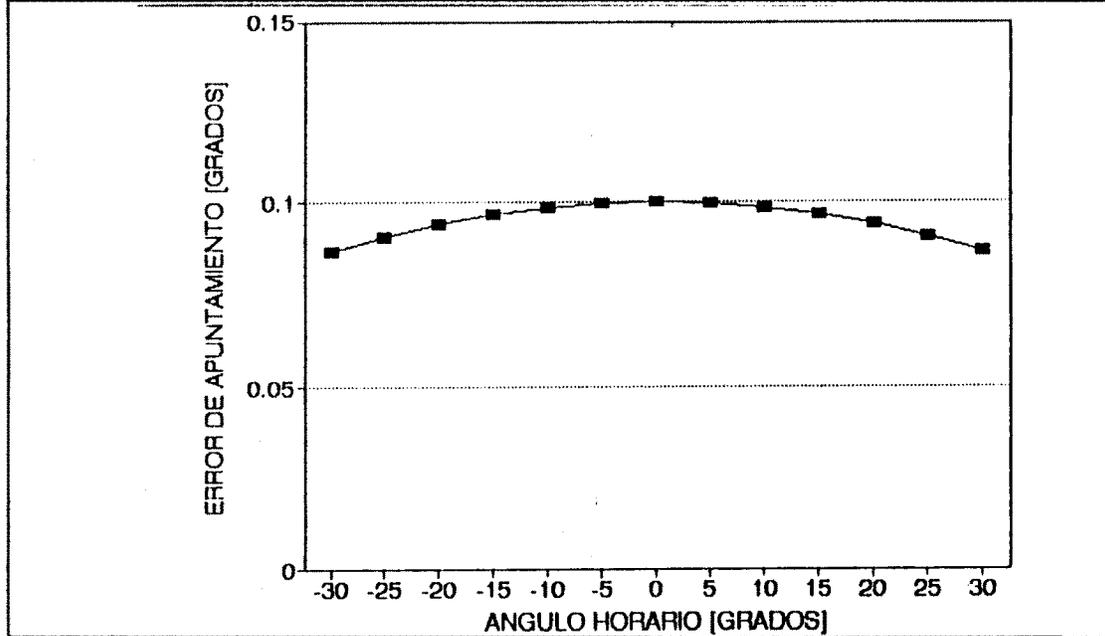


figura 7 - Error en declinación debido al desajuste del eje polar de la antena.

Prosiguiendo con el análisis de la misma forma hicimos con la declinación y obtenemos :

$$\tau - \tau' = \Delta\tau \quad \tau = \tau' + \Delta\tau \quad (20)$$

Por lo tanto

$$\text{sen } \tau = \text{sen} (\tau' + \Delta\tau) = \text{sen } \tau' + \cos \tau' \Delta\tau \quad (21)$$

En donde hemos considerado $\Delta\tau$ pequeño ($\Delta\tau \ll 1$). Además tenemos que

$$\cos \delta' = \cos (\delta + \Delta\delta) = \cos \delta + \text{sen } \delta \Delta\delta \quad (22)$$

Reemplazando las ecuaciones (21) y (22) en la ley del seno o sea en la ecuación (9)

$$\text{sen } \tau' + \cos \tau' \Delta\tau = \frac{\cos \delta + \text{sen } \delta \Delta\delta}{\cos \delta} \text{sen } \tau' \quad (23)$$

$$\text{sen } \tau' + \cos \tau' \Delta\tau = (1 + \text{tg } \delta \Delta\delta) \text{sen } \tau' \quad (24)$$

$$\cos \tau' \Delta\tau = \text{tg } \delta \text{sen } \tau' \Delta\delta \quad (25)$$

Introducimos la ecuación (19) en la (25) o se reemplazamos $\Delta\delta$ y tenemos

$$\cos \tau' \Delta\tau = \gamma \cos \tau' \text{tg } \delta \text{sen } \tau' \quad (26)$$

$$\Delta\tau = -\gamma \operatorname{tg} \delta \operatorname{sen} \tau'$$

(27)

Vemos en la ecuación (27) la variación de el ángulo horario en función de los errores del eje polar, en donde podemos apreciar que este factor tiene una dependencia con la declinación, esto da que tengamos distintos errores para distintas declinaciones, los cuales mostramos en la figura 8.

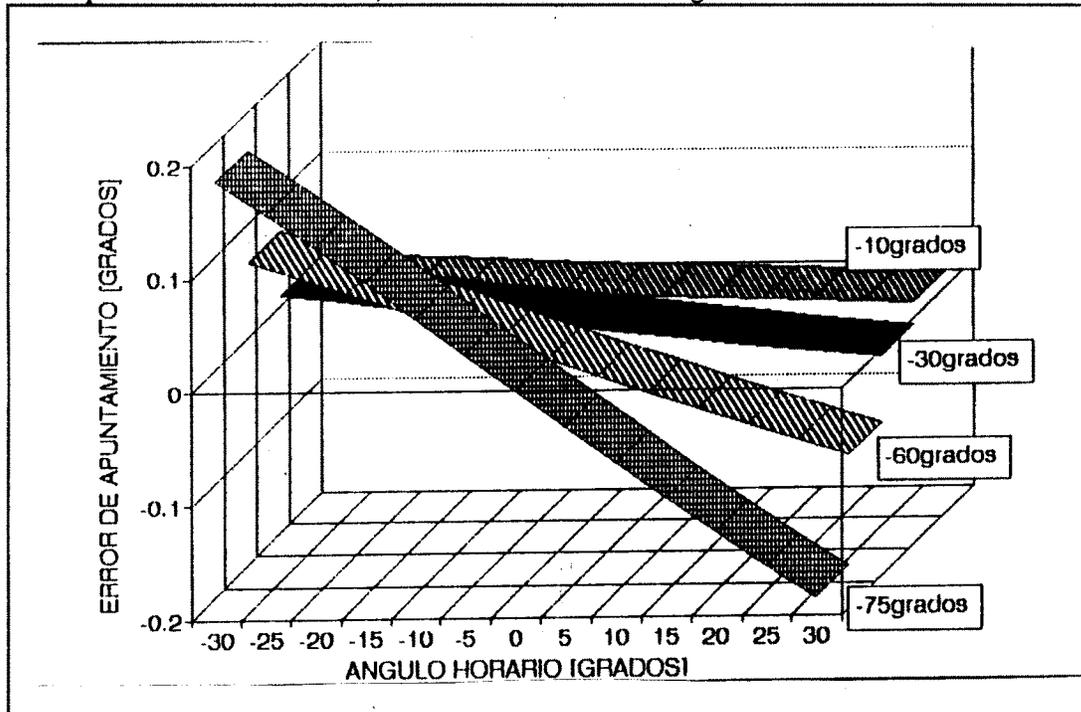


figura 8- Error en ángulo horario debido al desajuste del eje polar de la antena.

Los efectos analizados hasta el momento pueden apreciarse perfectamente en las medidas efectuadas sobre la antenas con respecto a los errores de apuntamiento ν^{vi} y se ven perfectamente en la figura 4 trazando la curva que mejor ajusta a las observaciones.

La falta de perpendicularidad entre los ejes del instrumento (plano ecuatorial con el eje polar), producirá un efecto similar en el apuntamiento de la antena.

Debemos remarcar que estos errores son independientes de la frecuencias utilizada, por lo tanto no deberían ser tenidos en cuenta para evaluar la utilización espectral de la antena. En la evaluación final trataremos de restar estos errores sistemáticos.

FACTORES MECANICOS DE LA ANTENA

Hay factores mecánicos mencionados anteriormente que pueden limitar a la antena en su frecuencia máxima de utilización y son :

- Deformación en la estructura mecánica de la antena en distintas posiciones de la misma.
- Juego libre de los engranajes que forman el sistema de movimiento de la antena.

Ambos factores darán una dispersión de los parámetros de error que dependerán a su vez de las condiciones que en ese momento se este observando, como por ejemplo, posición de la antena, temperatura ambiente, viento etc.

Es también cierto que los efectos de deformación de superficie van a afectar también a la eficiencia de antena eso hace que este factor sea de especial estudio y medida en forma separada al factor de apuntamiento.

El efecto de juego libre se puede visualizar en las paradas de los movimientos de antena, mientras el de deformación estructural es mas difícil de medir y por supuesto mucho mas difícil en frecuencias de 1420Mhz. Es por eso que para evaluarlo analíticamente , suponiendo que son errores que estarán sumados a

otros efectos que deterioran el apuntamiento y que no podrán separarse, se puede determinar sacando las desviaciones estándar de los errores de cada radiofuente medida.

Debemos señalar que las medidas efectuadas en unos de los trabajos^v fueron realizadas atacando a la radiofuentes siempre en un mismo sentido, esto haría que el error por juego libre se minimice, ya que lo que se intenta con este método es que los engranajes apoyen siempre sobre el mismo lado.

FACTORES DE ERRORES INSTRUMENTALES

En estos factores se contempla :

- Errores en el sistema de sensado de la posición.
- Errores en la medida de sensado de la posición.

Los errores en el sistema de sensado, estarán dados por el error en la determinación de la posición y por el juego libre de los engranajes asociados a estos.

Los errores del encoder esta dado por la cantidad de pasos de cuantificación que se utilizan para sensar la variación de grados. Por ejemplo si sensamos los 90° de declinación con 13 bits tendremos :

$$\text{Paso de cuantificación} = 2^n = 2^{13} = 8192 \text{ pasos}$$

$$\text{Error de lectura} = \frac{90^\circ}{8192} = 0,011^\circ$$

Aunque este valor sea significativo sería un problema asociado al de mejora del encoder.

El juego libre de los engranajes asociados al encoder de posición son evaluados conjuntamente con el juego libre de los engranajes de movimiento en el caso que se trataron los factores mecánicos de la antena.

Mientras los errores de medida de la determinación del apuntamiento de las radiofuentes son dependientes de los métodos utilizados y del equipamiento, pudiendo ser perfectamente evaluados, siendo factores que no presentan la importancia de los demás errores.

CONCLUSION

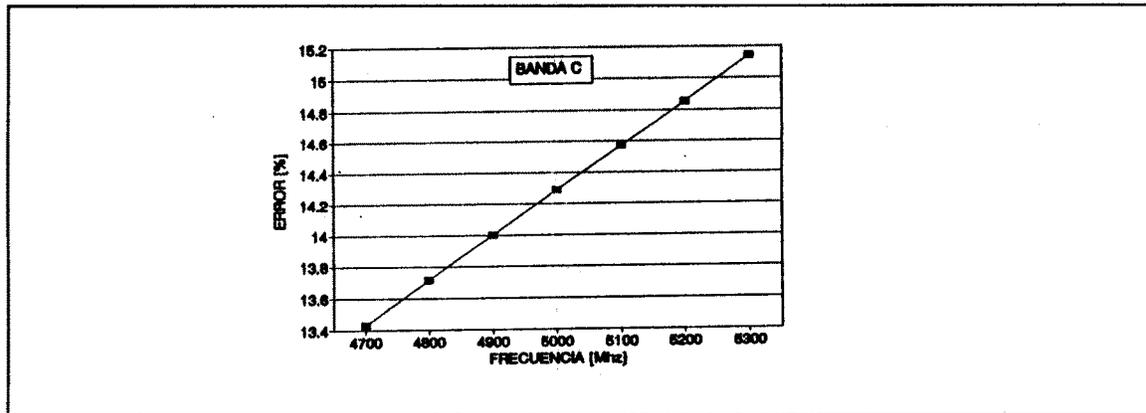
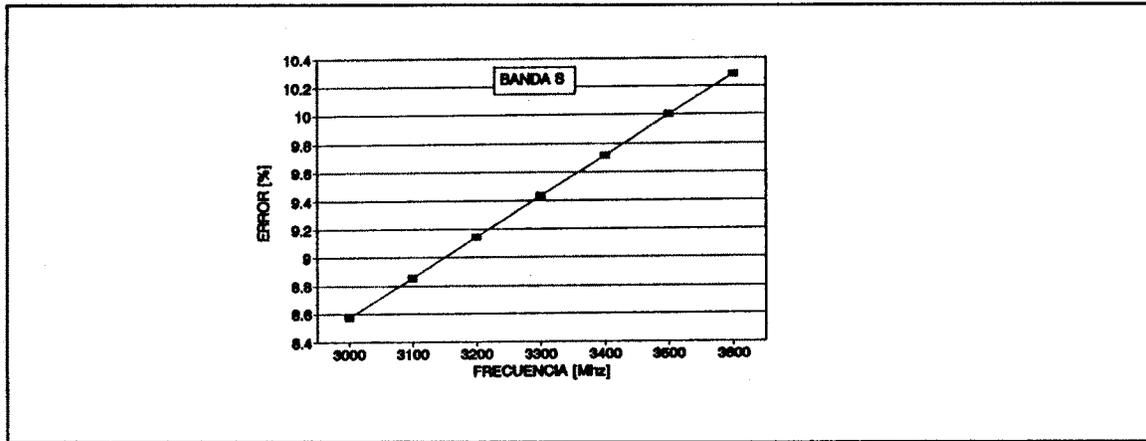
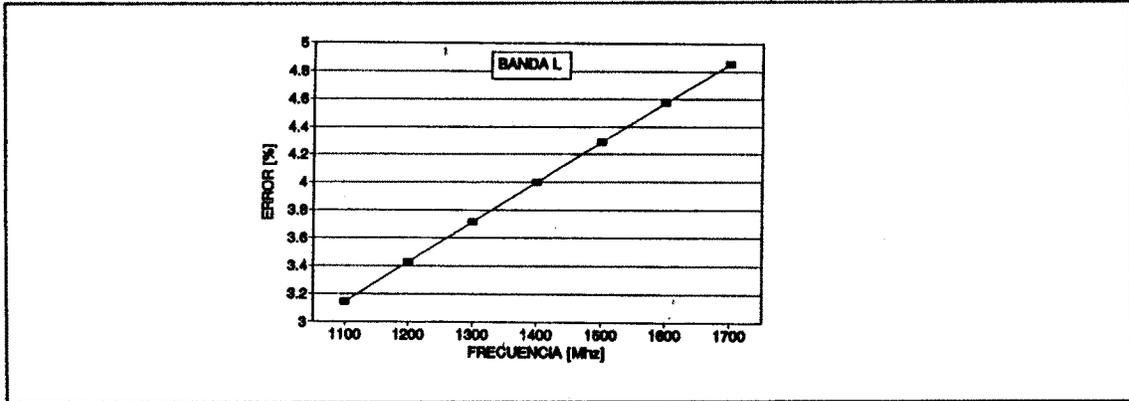
Según las referencias^{vi} la exactitud del apuntamiento, después de las correcciones correspondientes, está en promedio en 0,02°. Con este valor podemos sacar el error de apuntamiento relativo a la resolución que posea la antena en cada frecuencia, por lo tanto :

$$\text{Error \%} = \frac{\Delta\alpha}{\Omega}$$

Siendo Ω el ángulo sólido de la antena expresado por

$$\Omega = 70 (\lambda / D)$$

Donde λ es la longitud de onda y D el diámetro de la antena. El error porcentual de apuntamiento lo hemos graficado en función de la frecuencia en las bandas L, S y C. Estos gráficos nos expresan el comportamiento previsto con las antenas en estas bandas de interés.



ⁱ Microondas y Recepción Satelital- J.A. Bava y A.J. Sanz- Editorial HASA.

ⁱⁱ Medida de imperfecciones de superficie de antenas reflectoras parabólicas- J.A. Bava, A.J. Sanz, C.H. Muravchik, C. Rago y P. Aambel- IX Congreso Chileno de Energía Eléctrica- Arica 1991.

ⁱⁱⁱ Estudio y proyecto de superficie para reflectores de 30 mts- J.A. Bava y A.J. Sanz- Informe Interno del IAR.

^{iv} Modificaciones de la superficie reflectora de un radiotelescopio del IAR- J. Iocco, A. Ortiz y A. Actis- Trabajo de proyecto final de Dpto. Aeronáutica UNLP- Informe Interno del IAR.

^v Informe de física experimental - Calibración de la antena II del Instituto Argentino de Radioastronomía - UNLP - Diego Vallejo - 1987

^{vi} Determinaciones de los errores de apuntamiento de la antena I del IAR- R. Morras y E. Bajaja- Informe Interno del IAR.

^{vii} Resultados de las mediciones de las posiciones de radiofuentes 1978 a 1981- E. Bajaja- Informe Interno del IAR.