

EXPAND

**Programa de transformación de campo cercano esférico a campo
lejano con corrección de sonda**

© G.R. del D.S.S.R., de la E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, España.

All rights reserved, not allowed the reproduction by any means without permission in writing from the the authors.

Autores:

José Luis Besada
Leandro de Haro
Marta Pizarroso
Víctor Reguengo
Diego Mecerreyes

Julio 1999

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción general	2
2. BASE TEÓRICA DEL PROGRAMA	4
2.1 Cálculo de coeficientes	4
2.2 Cálculo de la corrección de sonda	8
2.2.1. Cálculo de los factores de corrección	8
2.2.2. Cálculo de los coeficientes de recepción	9
2.2.3. Cálculo de los coeficientes de traslación	10
2.3 Procedimiento de cálculo del programa	11
3. ENTRADA	12
3.1 Parámetros del fichero de entrada	12
3.2 Otros ficheros de entrada	16
3.2.1. Fichero de campo de entrada	16
3.2.2. Fichero de corrección de sonda	17
3.3 Número de modos	17
4. SALIDA	20
4.1 Fichero de información de salida	20
4.2 Otros ficheros de salida	27
4.2.1. Fichero de campo de salida	27
4.2.2. Fichero de corrección de sonda	28
5. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA Y DESCRIPCIÓN DE LAS SUBROUTINAS	29
5.1 Estructura del programa	30
5.2 Programa principal	31
5.2.1. Proceso de funcionamiento	33
5.3 Subrutinas	34

6. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	39
6.1 Cálculo de los coeficientes de recepción de la sonda	39
6.2 Ejemplo de transformación a campo lejano	42
6.3 Ejemplo de corrección de sonda	49
7. REFERENCIAS	60
8. APÉNDICES	61
8.1. Potencia calculada	61

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

Desde principios de los años 60 ha habido un creciente interés por desarrollar métodos que permitan predecir las propiedades de una antena en campo lejano a partir de medidas realizadas en campo cercano. Medir en campo cercano se ha hecho imprescindible en muchos casos por dos razones primordiales:

- la exigencia de medidas muy precisas para el desarrollo de antenas de grandes prestaciones.
- la imposibilidad de medir antenas de gran tamaño directamente en campo lejano.

En las medidas en campo próximo las componentes tangenciales del campo eléctrico producido por la antena bajo test se miden, en amplitud y fase, por la sonda sobre una superficie que puede encontrarse a unas pocas longitudes de onda de la estructura de la antena – usualmente en el interior de cámaras anecoicas –. Las superficies de medida más habitualmente utilizadas son la plana, la cilíndrica y la esférica.

La descripción en Campo Cercano Esférico es el procedimiento de medida del diagrama de radiación más ventajoso para nuestros propósitos y es el utilizado por este programa. Las ventajas de este método son la realización de las medidas en un ambiente más controlado y la simplicidad mecánica ligada a la geometría esférica (no es necesario mover la sonda durante la medida). Por el contrario, se complican tanto la formulación como los cálculos necesarios para la transformación a campo lejano y corrección de sonda en comparación con las técnicas de medida en geometría plana o cilíndrica, en las cuales la mayor parte del procesado de datos se realiza por medio de algoritmos FFT.

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL.

La influencia de la sonda en el caso bajo estudio es doble:

- la señal que en ella se mide no es el valor del campo en un punto concreto sino una media ponderada del mismo sobre su apertura.
- la presencia de la sonda provoca una reflexión múltiple entre ésta y la antena que se desea medir que se suma a la señal. Este aspecto, sin embargo, se desprecia en el programa EXPAND debido a la presencia de superficies absorbentes alrededor y siempre que se tenga presente que existe una distancia mínima por debajo de la cual no es posible medir sin cometer una error apreciable a causa de este efecto.

Otro punto de vista más práctico de ver este efecto de la sonda en las medidas en campo cercano esférico es el siguiente, que nos lleva a la inclusión en el programa EXPAND de dos tipos distintos de correcciones:

–1. Corrección de diagrama de sonda.

Una importante fuente de incorrecciones es la directividad de la sonda. Esto es debido a que, en la exploración o muestreo de medida, no siempre se recibe el lóbulo principal de la antena bajo test con el lóbulo principal de la sonda por lo que, si no se realiza una corrección, se calculan campos con lóbulos principales mayores y lóbulos secundarios menores que los reales. Este efecto, debido al diagrama de radiación de la propia sonda – a su directividad –, es inversamente proporcional a la distancia entre ambas antenas por lo que sólo es importante en medidas en campo cercano.

–2. Corrección de polarización.

Dado que una antena no puede medir una polarización con mayor exactitud que la suya propia ocurre que, si la polarización de la sonda no es ideal, no se discriminan correctamente las radiaciones copolar y contrapolar de la antena bajo test y hay una cierta respuesta de la sonda a la polarización cruzada.

Esta corrección de sonda se incluye en el programa de nombre EXPAND, el cual calcula los modos esféricos y lleva a cabo la transformación a campo lejano sin tener en

cuenta el efecto perturbador de la sonda, y cuya codificación se comenzó en el Grupo de Radiación del Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la E.T.S.I.T. en Marzo de 1992.

Esta ampliación da lugar a la versión definitiva del programa EXPAND, cuya codificación se comenzó en Marzo de 1998 y se dio por concluida en Julio de 1999 en el mismo Departamento.

Este programa EXPAND se ha implementado de manera que sea compatible con el programa SNIFTD de transformación con corrección de sonda, de modo que sus ficheros de entrada puedan ser intercambiables, aunque su funcionamiento interno sea muy diferente y basado en unos muy distintos métodos. Del mismo modo, los resultados prácticos del programa EXPAND se comparan con los que ofrece el SNIFTD con vistas a comprobar su funcionamiento.

2. BASE TEÓRICA DEL PROGRAMA

Se exponen en este capítulo las fórmulas básicas utilizadas por el programa, sin entrar en excesivo detalle dado que para ello se puede acudir a las referencias, no siendo necesaria una exhaustiva comprensión de la teoría para el correcto manejo del programa EXPAND.

2.1. CÁLCULO DE COEFICIENTES.

La señal que recibiría una sonda ideal en la que no hiciera falta la corrección de sonda {1} sería el campo transmitido, que se puede expresar como desarrollo en modos esféricos:

$$\bar{E}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=m}^{N(m)} (a_{mn} \bar{m}_{mn}(r, \theta, \phi) + b_{mn} \bar{n}_{mn}(r, \theta, \phi)) \quad (2.1)$$

donde \bar{m}_{mn} y \bar{n}_{mn} son funciones de onda esférica y a_{mn} y b_{mn} son los coeficientes de onda esférica, que se pueden obtener en función del campo eléctrico aplicando las propiedades de ortogonalidad respecto de cada una de las funciones de la separación de variables como:

$$a_{mn} = P_{mn}^a \frac{1}{h_n^{(2)}(kr)} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \quad (2.2)$$

$$b_{mn} = P_{mn}^b \frac{1}{\frac{1}{kr} \frac{d(kr h_n^{(2)}(kr))}{dkr}} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \quad (2.3)$$

donde:

$$P_{mn}^a = \int_0^\pi \left(A_m(\theta) j_m P_n^{|m|}(\cos\theta) / \sin\theta - B_m(\theta) \frac{d}{d\theta} (P_n^{|m|}(\cos\theta)) \right) \sin\theta d\theta \quad (2.4)$$

$$P_{mn}^b = \int_0^\pi \left(B_m(\theta) j_m P_n^{lm}(\cos\theta) / \sin\theta + A_m(\theta) \frac{d}{d\theta} \left(P_n^{lm}(\cos\theta) \right) \right) \sin\theta d\theta \quad (2.5)$$

$$A_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\theta(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi \quad (2.6)$$

$$B_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\phi(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi \quad (2.7)$$

Con corrección de sonda se ha de tener en cuenta que cada modo \bar{m}_{mn} y \bar{n}_{mn} en el sistema de coordenadas (r, θ, Φ) de la antena bajo test se expande como una combinación lineal de modos $\bar{m}_{\mu\nu}$ y $\bar{n}_{\mu\nu}$ en el sistema de coordenadas (r', θ', Φ') de la sonda $\{1\}$. Lo que ésta mide ya no es pues proporcional a la onda incidente. Cada modo incidente en la sonda dará una señal de salida que será el coeficiente de recepción de la sonda para ese modo particular $R_{\sigma\mu\nu}$ multiplicado por la amplitud compleja de dicho modo $a_{\sigma\mu\nu}$. Esta amplitud compleja ha de considerarse en el sistema de coordenadas de la sonda, luego hay que expresar el efecto de tres rotaciones (χ, θ, ϕ) y una traslación (de valor A). La señal total de salida en la sonda será el sumatorio de todas las señales producidas por los modos incidentes:

$$w(A, \chi, \theta, \phi) = \sum_{\sigma\mu\nu} a_{\sigma\mu\nu} R_{\sigma\mu\nu}^p = \sum_{\substack{smn \\ \mu}} T_{smn} e^{-jm\phi} d_{\mu m}^n(\theta) e^{-j\mu\chi} P_{s\mu m}(kA) \quad (2.8)$$

donde aparecen:

los coeficientes de la rotación en θ $d_{\mu m}^n(\theta)$, y dos exponenciales debidas a las otras dos rotaciones en ϕ y χ .

un factor llamado “constante de respuesta de la sonda” $P_{s\mu m}(kA)$, el cual expresa la sensibilidad de la sonda en el punto $(A, \chi, \theta, \phi) = (A, 0, 0, 0)$ a un modo (s, μ, n) de la antena bajo test de amplitud unidad, y que se define, en función de los coeficientes de traslación $C_{\sigma\mu\nu}^{sn}(kA)$ y de los parámetros de recepción $R_{\sigma\mu\nu}$ de la sonda, como

$$P_{s\mu m}(kA) = \frac{1}{2} \sum_{\sigma\nu} C_{\sigma\mu\nu}^{sn(4)}(kA) R_{\sigma\mu\nu} \quad (2.9)$$

La amplitud de la señal transmitida v y los parámetros de transmisión de la sonda T_{smn} , relacionados con los coeficientes de onda por las siguientes ecuaciones:

$$a_{mn} = \frac{k}{\sqrt{\eta}} K_0 K_1 v T_{1mn} ; \quad b_{mn} = \frac{k}{\sqrt{\eta}} K_0 K_1 v T_{2mn} \quad (2.10)$$

donde:

$$K_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot n(n+1)}} \left(-\frac{m}{|m|} \right)^m ; \quad K_1 = \sqrt{\frac{(2n+1)(n-|m|)!}{2(n+|m|)!}} \quad (2.11)$$

La corrección de diagrama de sonda que se va a introducir es válida únicamente para sondas linealmente polarizadas y cuyo diagrama sólo contenga los modos azimutales $m = \pm 1$. En la práctica pueden ser {1} un dipolo eléctrico hertziano (caso más particular) o una bocina cónica excitada por medio de una guíaonda circular en la que se propaga solamente el modo TE_{11} . Particularizando para este segundo caso la señal recibida en la sonda:

$$w(A, \chi, \theta, \phi) = \frac{\sqrt{6\pi}}{2} v \sum_{smn} \frac{P_{s1n}(kA)}{P_{s1n}^e(kA)} T_{smn} [\bar{F}_{smn}^{(4)}(A, \theta, \phi)] \cdot \hat{x}' \quad (2.12)$$

donde:

- el término $P_{s1n}(kA)/P_{s1n}^e(kA)$ es una relación entre las constantes de respuesta de la sonda en cuestión y del dipolo hertziano.
- \bar{F}_{smn} , para $s=1,2$, son funciones de onda esférica proporcionales, respectivamente, a \bar{m}_{mn} y \bar{n}_{mn} .
- $\hat{x}' = \hat{\theta} \cos \chi + \hat{\phi} \sin \chi$.

Este es el único caso en que los coeficientes a_{mn} y b_{mn} calculados mediante el procedimiento anteriormente descrito son proporcionales a los transmitidos y éstos pueden por tanto ser obtenidos sin más que dividir aquéllos por un factor de proporcionalidad.

Dicho procedimiento partía de separar la variación en θ y en ϕ del campo transmitido, ec. (2.1):

$$E_{\theta}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=|m|}^{\infty} \left[-jma'_{mn} P_n^{|m|}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} + b'_{mn} \left(\frac{d}{d\theta} (P_n^{|m|}(\cos \theta)) \right) \right] e^{-jm\phi} \quad (2.13)$$

$$E_{\phi}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=|m|}^{\infty} \left[-a'_{mn} \frac{d}{d\theta} (P_n^{|m|}(\cos \theta)) - jmb'_{mn} P_n^{|m|}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} \right] e^{-jm\phi} \quad (2.14)$$

Separando la variación en θ ($\chi = 0$) y en ϕ ($\chi = \pi/2$) del campo recibido, ec. (2.12):

$$w_{\theta}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=|m|}^{\infty} \left[-jma'_{mn} P_n^{|m|}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} + b'_{mn} \left(\frac{d}{d\theta} (P_n^{|m|}(\cos \theta)) \right) \right] e^{-jm\phi} \quad (2.15)$$

$$w_{\phi}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=|m|}^{\infty} \left[-a'_{mn} \frac{d}{d\theta} (P_n^{|m|}(\cos \theta)) - jmb'_{mn} P_n^{|m|}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} \right] e^{-jm\phi} \quad (2.16)$$

Así pues, es sencillo identificar en uno y otro caso las señales recibidas según θ y según ϕ para llegar al mismo resultado acerca de los que podemos llamar “coeficientes de onda de sonda” a_{mn}^p y b_{mn}^p , que son los coeficientes de onda que realmente recibimos en la sonda:

$$a_{mn}^p = \frac{\sqrt{6\pi\eta}}{2k} \frac{P_{11n}(kA)}{P_{11n}^e(kA)} a_{mn} = f_1(kA) \cdot a_{mn} \quad (2.17)$$

$$b_{mn}^p = \frac{\sqrt{6\pi\eta}}{2k} \frac{P_{21n}(kA)}{P_{21n}^e(kA)} b_{mn} = f_2(kA) \cdot b_{mn} \quad (2.18)$$

Dado que estos factores no dependen de θ ni de ϕ pueden, análogamente, resolverse las integrales y aplicar las propiedades de ortogonalidad del método sin corrección de sonda y llegar finalmente a que, con corrección:

$$a_{mn} = P_{mn}^a \frac{1}{h_n^{(2)}(kr)} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \frac{1}{f_1(kA)} \quad (2.19)$$

$$b_{mn} = P_{mn}^b \frac{1}{\frac{1}{kr} \frac{d(krh_n^{(2)}(kr))}{dkr}} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \frac{1}{f_2(kA)} \quad (2.20)$$

2.2. CÁLCULO DE LA CORRECCIÓN DE SONDA.

2.2.1. CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN.

Como se ve, el papel de la sonda es únicamente {1} introducir factores de peso $P_{sln}(\mathbf{kA})/P_{sln}^e(\mathbf{kA})$, dependientes de su posición y de sus parámetros de recepción, en las funciones de onda esférica que determinan la señal recibida. En concreto:

$$f_1(kA) = \frac{\sqrt{6\pi\eta}}{2k} \frac{P_{11n}(kA)}{P_{11n}^e(kA)} ; f_2(kA) = \frac{\sqrt{6\pi\eta}}{2k} \frac{P_{21n}(kA)}{P_{21n}^e(kA)} \quad (2.21)$$

$$P_{11n}(kA) = \frac{1}{2} \sum_{\sigma\nu} C_{\sigma 1\nu}^{1n(4)}(kA) R_{\sigma 1\nu} ; P_{21n}(kA) = \frac{1}{2} \sum_{\sigma\nu} C_{\sigma 1\nu}^{2n(4)}(kA) R_{\sigma 1\nu} \quad (2.22)$$

En el caso del dipolo eléctrico hertziano sus únicos coeficientes de recepción distintos de cero son R_{211} y $R_{2,-1,1}$, luego:

$$P_{11n}^e(kA) = \frac{-\sqrt{2}}{4} C_{211}^{1n(4)}(kA) ; P_{21n}^e(kA) = \frac{-\sqrt{2}}{4} C_{211}^{2n(4)}(kA) \quad (2.23)$$

Así pues, sustituyendo:

$$f_1(kA) = -\frac{\sqrt{6\pi\eta}}{\sqrt{2}k} \cdot \frac{\sum_{\nu} [C_{11\nu}^{1n(4)}(kA) R_{11\nu} + C_{21\nu}^{1n(4)}(kA) R_{21\nu}]}{C_{211}^{1n(4)}(kA)} \quad (2.24)$$

$$f_2(kA) = -\frac{\sqrt{6\pi\eta}}{\sqrt{2}k} \cdot \frac{\sum_{\nu} [C_{11\nu}^{2n(4)}(kA) R_{11\nu} + C_{21\nu}^{2n(4)}(kA) R_{21\nu}]}{C_{211}^{2n(4)}(kA)} \quad (2.25)$$

Por estos factores habrá que dividir todas las ecuaciones sin corrección de sonda en que aparezcan los coeficientes de onda para obtener las ecuaciones válidas para corrección de sonda. Dichos factores dependen únicamente de los coeficientes de recepción y de traslación de la sonda.

2.2.2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE RECEPCIÓN.

La obtención de coeficientes de recepción se realiza mediante el procedimiento que se relata a continuación, análogo al que se ha seguido para el cálculo de los coeficientes de onda.

La sonda que debemos usar para la corrección ha de ser por descontado una antena recíproca, en cuyo caso se cumple que $R_{smn} = (-1)^m T_{s,-m,n} \{1\}$. En concreto, dado que sólo necesitamos los coeficientes de recepción para los modos azimutales $m=1$:

$$R_{11n} = -T_{1,-1,n} ; R_{21n} = -T_{2,-1,n} \quad (2.26)$$

También sabemos, particularizando (2.10), que:

$$a_{-1n} = \frac{k}{\sqrt{\eta}} K_0 K_1 v T_{1,-1,n} ; b_{-1n} = \frac{k}{\sqrt{\eta}} K_0 K_1 v T_{2,-1,n} \quad (2.27)$$

Así pues, si despejamos en estas ecuaciones vemos que podemos expresar los coeficientes de recepción que nos interesan en función de los coeficientes de onda, y por tanto calcularlos del mismo modo.

Para ello deberemos tomar el campo radiado por la sonda a una distancia conocida (por ejemplo en campo lejano), y calcular estos coeficientes sin corrección de sonda, puesto que, al ser el campo teórico el que utilizamos, estamos asumiendo que hemos medido con una sonda ideal. Las ecuaciones para el cálculo de los coeficientes de recepción quedarían por tanto como sigue:

$$R_{11n} = -\frac{1}{vK_0K_1} \frac{\sqrt{\eta}}{k} \frac{P_{-1n}^a}{h_n^{(2)}(kr)} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \quad (2.28)$$

$$R_{21n} = -\frac{1}{vK_0K_1} \frac{\sqrt{\eta}}{k} \frac{P_{-1n}^b}{\frac{1}{kr} \frac{d(kr h_n^{(2)}(kr))}{dkr}} \frac{2n+1}{2n(n+1)} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!} \quad (2.29)$$

En estas ecuaciones $m=-1$, luego habrá que particularizar las constantes K_0 y K_1 para ese valor:

$$K_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot n(n+1)}} ; \quad K_1 = \sqrt{\frac{(2n+1)(n-1)!}{2(n+1)!}} \quad (2.30)$$

Y $v=1$ si elegimos un campo radiado por la sonda con excitación unidad para efectuar estos cálculos.

Y del mismo modo que hay que normalizar los coeficientes de onda esférica, tenemos que normalizar estos coeficientes de recepción, pues no en vano su cálculo es completamente análogo.

$$R_{s1n} = \frac{R_{s1n}}{\sqrt{2 \cdot PWR}} ; \quad PWR = \sum_{\mu} |R_{11n}|^2 + |R_{21n}|^2 \quad (2.31)$$

2.2.3. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRASLACIÓN.

Los coeficientes de traslación sólo dependen de la distancia de medida y del número de modos y su expresión es la siguiente {1}:

$$C_{11v}^{1n(4)}(kA) = \frac{1}{4} j^{n-v} FACT \cdot \sum_{p=|n-v|+1,2}^{|n+v|+1} \left[\frac{(n(n+1)+v(v+1)-p(p+1))^2}{n+v+p+1} \right] \cdot BIN(n,v,p) j^{-p} (2p+1) h_p^{(2)}(kA) \quad (2.32)$$

$$C_{21v}^{1n(4)}(kA) = \frac{1}{4} j^{n-v} FACT \cdot \sum_{p=|n-v|+1,2}^{|n+v|+1} \left[-2 j k A \frac{n(n+1)+v(v+1)-p(p+1)}{n+v+p+1} \right] \cdot BIN(n,v,p) j^{-p} (2p+1) h_p^{(2)}(kA) \quad (2.33)$$

Donde:

$$FACT = \frac{\sqrt{2n+1} \sqrt{2v+1}}{n(n+1) v(v+1)} \quad (2.34)$$

$$BIN(n,v,p) = \frac{\left(\frac{-n+v+p}{2} \right) \left(\frac{n-v+p}{2} \right) \left(\frac{n+v-p}{2} \right)}{\left(\frac{n+v+p}{2} \right)} \quad (2.35)$$

Estos coeficientes entre paréntesis de la forma $B(J) = \binom{J}{J/2}$ son los denominados coeficientes binomiales. En este caso es conveniente sustituirlos por $B'(J) = \binom{J}{J/2} 2^{-J}$ dado que el valor del quebrado de la fórmula, que es combinación de cuatro binomiales, no varía, y estos últimos coeficientes B' están acotados a un valor máximo de 0.5, lo que impide que se produzca “overflow” en algún punto del programa. Estos coeficientes se calculan por medio de la relación de recurrencia

$$B'(J+2) = \frac{J+1}{J+2} B'(J) \text{ con un valor inicial } B'(0) = 1 \quad (2.36)$$

2.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL PROGRAMA.

Los pasos que sigue el programa son:

1. Cálculo de los coeficientes de traslación, lectura por fichero de los coeficientes de recepción de la sonda y cálculo de los factores de corrección.
2. Cálculo de las funciones de Hankel.
3. Cálculo de las integrales $A_m(\theta)$ y $B_m(\theta)$ y, a partir de ellas, de las integrales P_{mn}^a y P_{mn}^b .
4. Cálculo de los coeficientes de onda normalizados.
5. Expansión en modos esféricos y obtención del campo a la distancia requerida.

3. ENTRADA

3.1. PARÁMETROS DEL FICHERO DE ENTRADA.

Los parámetros de entrada del programa son los siguientes, algunos irrelevantes para EXPAND, que sólo los acepta por cuestiones de compatibilidad con SNIFTD. En primer lugar se muestra un ejemplo de fichero de entrada en el que se han sustituido los valores de las variables por el tipo de variable FORTRAN al que corresponden, y a continuación se explica línea por línea el significado de cada variable.

CHARACTER*80	IDENT
REAL*8, CHARACTER*4	RIN, PRCOEF
5*INTEGER	NTHI, NPHI, NMAX, MMAX, MREP
2*INTEGER	NYMAXI, NYMAXO
REAL*8	ROUT
4*REAL*8	THETAI, THETA, PHI, PHIE
4*REAL*8	THETAI0, THETA0, PHI0, PHIE0
INTEGER	IRUN
CHARACTER*80	NFFILE
CHARACTER*80	FFFILE
2*INTEGER	CODEIN, CODEOUT
[CHARACTER*80]	PRINFILE (opcional)
2*REAL*8	THGAIN, PHGAIN

1. IDENT

IDENT contiene una cadena alfanumérica de hasta 80 caracteres para identificación que se incluye en el fichero de salida

2. RIN, PRCOEF

RIN especifica la distancia de medida. Si RIN=0.0, el programa asume que el campo de entrada es campo lejano.

PRCOEF es una cadena de cuatro caracteres. Si PRCOEF=PROB, el programa asume que el campo de entrada es un diagrama de sonda y calcula los coeficientes de recepción

de la misma, almacenándolos en un fichero. Si PRCOEF tiene otro valor cualquiera, el programa efectúa la transformación a campo lejano.

3. NTHE, NPHI, NMAX, MMAX, MREP.

NTHE y NPHI definen el espaciado del muestreo angular en todo el espacio en θ y ϕ respectivamente. El muestreo ha de ser equidistante y el espaciado entre puntos $\Delta\theta = 360^\circ/\text{NTHE}$ y $\Delta\phi = 360^\circ/\text{NPHI}$.

NMAX y MMAX especifican el número de modos en la transformación, los valores máximos de n y m en los coeficientes de onda a_{mn} y b_{mn} . Deben satisfacer las siguientes relaciones: $1 \leq \text{NMAX} \leq \text{NTHE}/2$ y $1 \leq \text{MMAX} \leq \min((\text{NPHI}-1)/2, \text{NMAX})$.

MREP es el factor por el que el campo se repite en una esfera completa. Es irrelevante su valor para EXPAND.

4. NYMAXI, NYMAXO.

Valores máximos de v de los coeficientes de recepción para las sondas de entrada y de salida respectivamente. Si la transformación se lleva a cabo sin corrección, con un dipolo hertziano como sonda, NYMAXI=1 es suficiente. La sonda de salida no se considera en ningún caso, luego el valor de NYMAXO es irrelevante.

5. ROUT.

Especifica la distancia en longitudes de onda de la esfera de salida en la cual queremos conocer el campo. Si ROUT=0.0, el programa asume que el campo de salida es campo lejano.

6. THETAI, THETA E, PHI, PHIE.

Son los valores en grados del primer y último punto de muestreo para θ y ϕ respectivamente.

Deben satisfacer las siguientes relaciones:

$$0^\circ \leq \theta_i \leq \theta_e \leq 180^\circ$$

$$\phi_i \leq \phi_e$$

$$\phi_e - \phi_i < 360^\circ$$

7. THEIOU, THEEOU, PHIOU, PHIEOU.

Aunque los intervalos $\Delta\theta$ y $\Delta\phi$ son automáticamente los mismos que los del campo de entrada, el campo de salida puede ser truncado a una región más pequeña, es decir:

$$\theta_i \leq \theta_i^{ou} \leq \theta_e^{ou} \leq \theta_e$$

$$\phi_i \leq \phi_i^{ou} \leq \phi_e^{ou} \leq \phi_e$$

8. IRUN.

Opción para el control de la dimensión del array SNIFTD. Parámetro irrelevante para EXPAND.

9. NFFILE.

Nombre del fichero de campo de entrada. Ha de ser necesariamente un fichero de cabecera, también llamado de "report", con extensión '.rcf' o '.rnf' por lo general, que haga referencia al fichero binario que contiene los valores de campo, y usualmente de extensión '.bcf' o '.bnf'. Adicionalmente, y debido al modo de funcionamiento interno del programa EXPAND, se crea un fichero de entrada ASCII, proveniente de la transformación de los ficheros de entrada MARCH, y que se denomina con el nombre genérico de '*filein*'.

10. FFFILE.

Nombre del fichero de campo de salida. Será un fichero de cabecera, con extensión por lo general '.rff', que hará referencia al fichero binario del mismo nombre y de extensión '.bff'. De la misma manera que en el apartado anterior, se obtiene un fichero intermedio de salida ASCII con el nombre genérico de '*fileout*'. En el caso de que PRCOEF=PROB, este fichero de ~~cabecera~~ contendrá los coeficientes de recepción de la sonda, y no existirá fichero binario alguno (así como tampoco un fichero ASCII).

11. CODEIN, CODEOUT.

Si CODEIN=1, el programa asume que se efectúa corrección por medio de una sonda cuyos coeficientes de recepción se encuentran en el fichero especificado en la línea siguiente. Si tiene otro valor el programa asume que la sonda es un dipolo hertziano y no lleva a cabo corrección ni busca en la línea siguiente el fichero de coeficientes.

CODEOUT hace referencia a la sonda de salida, y no se considera, siendo su valor irrelevante para EXPAND.

12. PRINFILE.

Sólo si CODEIN=1. Nombre del fichero que contiene los coeficientes de recepción de la sonda de medida. El primer número complejo debe ser la relación de polarización circular $Q_x = -Q_y$.

13. THGAIN, PHGAIN.

Valores de θ y ϕ para los cuales se quiere obtener la directividad. Parámetros irrelevantes para EXPAND, puesto que calcula siempre la directividad en el punto en que su valor es máximo.

3.2. OTROS FICHEROS DE ENTRADA.

3.2.1. FICHERO DE CAMPO DE ENTRADA

El fichero de campo de entrada, NFFILE, que debe especificarse ha de ser como el que sigue, un fichero denominado *"report file"*, que hace referencia en su primera línea al fichero binario tipo MARCH en que se encuentra el campo medido.

En el caso de este ejemplo el fichero de *"report"* se denomina p4_03500.nmf, y el fichero binario, como puede verse, p4_03500.bnf.

```
ORGANIZATION OF: p4_03500.bnf
CREATION: 12 May 1999      :45:29
OFFSET'S 1=181.46:3=101.77:4=184.60:A3=620:D=550cm ANTENA DE 1300cm
```

```
LEVEL OF RECORDS: 1
```

```
2 SEQUENCES OF 1 FUNCTIONS
```

THETA	.12165562E+00	0	0	37	72	1	
	.28136195E-04	0	0	3	123	1	
THETA	.15832150E-01	0	0	36	128	1	
	.40415627E-04	0	0	11	79	1	
UNUSED	.0000000000E+01	.0000000000E+01					0 EQUI S
UNUSED	.0000000000E+01	.0000000000E+01					0 EQUI S
THETA	00.00000000E-01	18.00000000E+01	Deg		73		EQUI S
PHI	00.00000000E-01	35.75000000E+01	Deg		144		EQUI S
FREQUENCY	35.00000000E-01	35.00000000E-01	GHz			1	CMPLX u

De esta manera, el programa EXPAND es compatible con SNIFTD, puesto que precisan idénticos ficheros de entrada. Sin embargo, para EXPAND sólo son relevantes, aparte lógicamente de la primera línea ya comentada, las tres últimas líneas del fichero, en las que se especifican los valores inicial y final de THETA y PHI en grados (0 y 180, y 0 y 357.5 respectivamente), el número de puntos de muestreo para ambas variables (73 y 144 respectivamente), así como el valor de la frecuencia de medida (3.5 GHz).

3.2.2. FICHERO DE CORRECCIÓN DE Sonda

El fichero de corrección de sonda, PRINFILE, es el que contiene los coeficientes de recepción de la sonda. El primer valor complejo almacenado ha de ser la relación de polarización circular $Q_x = Q_y$ (en este caso $0.5209255+j0.8533566$), y a continuación los coeficientes R_{11n} y R_{21n} desde $n=1 \dots n_{max}$.

```
(.507693,.8609197)
(.1208741,-.163407)
(-3.07808E-04,5.32296E-04)
(5.71971E-04,3.11809E-04)
(-.410021,-.238302)
(-.129724,.2406353)
(3.02085E-04,-4.75351E-04)
(-3.24544E-04,-1.33850E-04)
(.3046082,.190776)
(2.02905E-02,-9.77786E-02)
(-1.12353E-04,7.19579E-05)
(-1.09450E-04,-1.47301E-04)
(-8.47846E-02,-8.16489E-02)
(2.47866E-02,1.85400E-02)
(-9.77401E-05,3.38154E-04)
```

3.3. NÚMERO DE MODOS.

En una guía de onda esférica, el número de modos que se pueden propagar aumenta conforme se incrementa el radio de la guía {1}. La transición entre propagación y evanescencia para un modo ocurre alrededor de la distancia

$$r_t = \frac{n}{k} \quad (2.37)$$

Con $r \ll r_t$ el decrecimiento es extremadamente rápido, pero va suavizándose cuando r se aproxima a r_t .

Sobre la región cercana a r_t comienza gradualmente la propagación, y para r mayor que r_t la amplitud de las funciones radiales (funciones esféricas de Hankel y otras que incluyen a sus derivadas) se comporta aproximadamente como una asíntota del tipo r^{-1} . Si se toma $r_0=r_t$ como el radio de la mínima esfera que encierra la antena bajo test, se ha

comprobado {3} que el 99.9% de la potencia total radiada está contenida en modos esféricos con orden $n \leq kr_0$.

A la fuerte atenuación que sufren los modos si se sobrepasa el umbral kr_0 hay que sumar que la excitación de los modos de índice superior es notablemente más débil cuando n es mayor que r_0 {2}.

Generalmente, para una completa seguridad en lo que a potencia se refiere, se suele tomar un número de modos de la forma

$$N_{\max} = kr_0 + n_1 \quad (2.38)$$

El valor de n_1 depende de la posición de la antena emisora en el sistema de coordenadas, así como del punto de medida y de precisión requerida. kr_0 a su parte entera.

Se suele tomar, para el caso de modos en N , un número de modos $N = kr_0 + 10$ para caracterizar del campo. En el caso de modos en M se puede tomar ese mismo valor como referencia, aunque si se realiza muestreo polar se puede utilizar la expresión {1}:

$$M_{\max} = N_{\max} \cdot \sin \theta_{\text{fin}} \quad (2.39)$$

donde θ_{fin} es el ángulo final en la coordenada θ .

Estos valores se dan como referencia (cota superior), ya que es posible que en algunos casos se pueda truncar la serie de modos en kr_0 más alguna unidad, pero nunca por debajo de ese valor.

Las observaciones realizadas muestran que el número de modos que contienen el porcentaje de potencia óptimo para caracterizar el campo se encuentra por debajo de $kr_0 + 10$ en todos los casos, dato que se considera como suficiente para truncar las series en M y N .

Si para cada modo con subíndice m (modo m) se suma la potencia de los modos con subíndice n (modos n) se observa la forma de variación de potencia, o acumulación de

la misma, según se incrementa el subíndice m . Igualmente sucede si efectuamos la operación inversa, es decir, intercambiando los modos m por los modos n .

La suma de la potencia de los modos individuales, tanto en un caso como en otro, es obviamente la potencia total, que en ambas situaciones es la misma.

Se puede deducir aproximadamente donde se puede truncar la serie de modos en dicho índice. Esto sucede cuando se alcanza la cifra de 0.0 dB de potencia acumulada (valor normalizado). Existe también la posibilidad de observar el porcentaje de potencia acumulado en unidades naturales. El truncamiento se puede efectuar aproximadamente cuando dicho porcentaje alcanza el 99.99% o el 100%, valores que resultan cercanos a los que la potencia acumulada alcanza los 0.0 dB.

4. SALIDA

4.1 FICHERO DE INFORMACIÓN DE SALIDA.

El fichero de información de salida es, en este caso, diferente a su análogo en la ejecución del programa SNIFTD, pero contiene básicamente la misma información. Se incluye el siguiente ejemplo:

```

* @@@@ EXPAND PROGRAM INFORMATION FILE @@@@
Medida de antena con offset. D=130 cm.

```

```

***** GENERAL INFORMATION *****
Maximum mode number in M : 71
Maximum mode number in N : 72
Distance from feed origin (lambdas): 64.167
Frequency (MHz): 3500.0
Name of near E-field file : p4_03500.rnf
Name of coefficients file : fcoef
Name of far-field file (output): p4xf.rff

```

```

***** DATA OF NEAR-FIELD INPUT DATA FILE *****
Initial THETA (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final THETA (radians): 3.14159 = 180.00000 degrees.
Number of samples in THETA : 73
Initial PHI (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final PHI (radians): 6.23955 = 357.50000 degrees.
Number of samples in PHI : 144

```

```

***** DATA OF FAR-FIELD OUTPUT FILE *****
Initial THETA for output (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final THETA for output (radians): 3.14159 = 180.00000 degrees.
Number of samples in THETA (output): 73
Initial PHI for output (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final PHI for output (radians): 6.23955 = 357.50000 degrees.
Number of samples in PHI (output): 144

```

```

*** DATA FOR PROBE POLARIZATION CORRECTION ***
Linear polarization ratio of port I: (.0,.0)
Linear polarization ratio of port II : (.0,.0)
Amplitude phase factor : (1.0,.0)

```

```

Starting execution : 2-Jun-99 at 18:55:39

```

```

*****

```

```

** Input data in "CLASS A" FORMAT **

```


N-MODE Power truncation

Power :	.9732E-03	in mode M=	0 (N= 48)	@@@@	Reached :	99.97 %
Power :	.5664E-05	in mode M=	1 (N= 51)	@@@@	Reached :	99.95 %
Power :	.2361E-03	in mode M=	2 (N= 49)	@@@@	Reached :	99.97 %
Power :	.9821E-06	in mode M=	3 (N= 52)	@@@@	Reached :	99.96 %
Power :	.5110E-05	in mode M=	4 (N= 49)	@@@@	Reached :	99.95 %
Power :	.3550E-07	in mode M=	5 (N= 62)	@@@@	Reached :	99.96 %
Power :	.3973E-07	in mode M=	6 (N= 60)	@@@@	Reached :	99.95 %
Power :	.1106E-07	in mode M=	7 (N= 62)	@@@@	Reached :	99.95 %
Power :	.9755E-08	in mode M=	8 (N= 64)	@@@@	Reached :	99.95 %
Power :	.2954E-08	in mode M=	9 (N= 62)	@@@@	Reached :	99.98 %
Power :	.5704E-09	in mode M=	10 (N= 63)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2679E-09	in mode M=	11 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.1599E-09	in mode M=	12 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.1280E-09	in mode M=	13 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.1090E-09	in mode M=	14 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.7304E-10	in mode M=	15 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.6231E-10	in mode M=	16 (N= 63)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.6447E-10	in mode M=	17 (N= 64)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.5613E-10	in mode M=	18 (N= 63)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.5195E-10	in mode M=	19 (N= 66)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.5801E-10	in mode M=	20 (N= 65)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.4188E-10	in mode M=	21 (N= 66)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.4118E-10	in mode M=	22 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.4693E-10	in mode M=	23 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.3627E-10	in mode M=	24 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2948E-10	in mode M=	25 (N= 71)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.3303E-10	in mode M=	26 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2838E-10	in mode M=	27 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.3140E-10	in mode M=	28 (N= 68)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.3159E-10	in mode M=	29 (N= 69)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2357E-10	in mode M=	30 (N= 69)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2984E-10	in mode M=	31 (N= 70)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2293E-10	in mode M=	32 (N= 72)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.1833E-10	in mode M=	33 (N= 70)	@@@@	Reached :	100.00 %
Power :	.2586E-10	in mode M=	34 (N= 72)	@@@@	Reached :	98.82 %
Power :	.1879E-10	in mode M=	35 (N= 72)	@@@@	Reached :	98.18 %
Power :	.1559E-10	in mode M=	36 (N= 72)	@@@@	Reached :	93.45 %
Power :	.1861E-10	in mode M=	37 (N= 72)	@@@@	Reached :	89.87 %
Power :	.1576E-10	in mode M=	38 (N= 72)	@@@@	Reached :	90.11 %
Power :	.1386E-10	in mode M=	39 (N= 72)	@@@@	Reached :	87.39 %
Power :	.1271E-10	in mode M=	40 (N= 72)	@@@@	Reached :	85.26 %
Power :	.1434E-10	in mode M=	41 (N= 72)	@@@@	Reached :	88.81 %
Power :	.1134E-10	in mode M=	42 (N= 72)	@@@@	Reached :	82.51 %
Power :	.1267E-10	in mode M=	43 (N= 72)	@@@@	Reached :	75.31 %
Power :	.1140E-10	in mode M=	44 (N= 72)	@@@@	Reached :	73.67 %
Power :	.1242E-10	in mode M=	45 (N= 72)	@@@@	Reached :	70.31 %
Power :	.1042E-10	in mode M=	46 (N= 72)	@@@@	Reached :	65.09 %
Power :	.1350E-10	in mode M=	47 (N= 72)	@@@@	Reached :	70.96 %
Power :	.1177E-10	in mode M=	48 (N= 72)	@@@@	Reached :	71.45 %
Power :	.1825E-10	in mode M=	49 (N= 72)	@@@@	Reached :	60.21 %
Power :	.1302E-10	in mode M=	50 (N= 72)	@@@@	Reached :	66.13 %
Power :	.1398E-10	in mode M=	51 (N= 72)	@@@@	Reached :	60.66 %
Power :	.2088E-10	in mode M=	52 (N= 72)	@@@@	Reached :	60.30 %
Power :	.1368E-10	in mode M=	53 (N= 72)	@@@@	Reached :	60.83 %


```

Power : .2062E-10 in mode M= 54 (N= 72) @@@@ Reached : 62.31 %
Power : .1620E-10 in mode M= 55 (N= 72) @@@@ Reached : 61.97 %
Power : .1512E-10 in mode M= 56 (N= 72) @@@@ Reached : 42.56 %
Power : .1606E-10 in mode M= 57 (N= 72) @@@@ Reached : 56.77 %
Power : .1588E-10 in mode M= 58 (N= 72) @@@@ Reached : 51.46 %
Power : .1296E-10 in mode M= 59 (N= 72) @@@@ Reached : 38.98 %
Power : .1428E-10 in mode M= 60 (N= 72) @@@@ Reached : 49.79 %
Power : .1102E-10 in mode M= 61 (N= 72) @@@@ Reached : 46.82 %
Power : .7789E-11 in mode M= 62 (N= 72) @@@@ Reached : 39.41 %
Power : .8660E-11 in mode M= 63 (N= 72) @@@@ Reached : 44.12 %
Power : .7654E-11 in mode M= 64 (N= 72) @@@@ Reached : 34.38 %
Power : .7359E-11 in mode M= 65 (N= 72) @@@@ Reached : 25.20 %
Power : .8049E-11 in mode M= 66 (N= 72) @@@@ Reached : 18.83 %
Power : .8471E-11 in mode M= 67 (N= 72) @@@@ Reached : 25.97 %
Power : .8431E-11 in mode M= 68 (N= 72) @@@@ Reached : 19.82 %
Power : .8674E-11 in mode M= 69 (N= 72) @@@@ Reached : 15.67 %
Power : .1195E-10 in mode M= 70 (N= 72) @@@@ Reached : 14.90 %
Power : .9683E-11 in mode M= 71 (N= 72) @@@@ Reached : 8.51 %

```

```

*****
*****

```

```

*****
*****

```

M-MODE Analysis

Power in mode M	%	Cumulative summation	dB
0	79.69	79.69	-.99
1	.46	80.16	-.96
2	19.33	99.49	-.02
3	.08	99.57	-.02
4	.42	99.99	.00
5	.00	99.99	.00
6	.00	100.00	.00
7	.00	100.00	.00
8	.00	100.00	.00
9	.00	100.00	.00
10	.00	100.00	.00
11	.00	100.00	.00
12	.00	100.00	.00
13	.00	100.00	.00
14	.00	100.00	.00
15	.00	100.00	.00
16	.00	100.00	.00
17	.00	100.00	.00
18	.00	100.00	.00
19	.00	100.00	.00
20	.00	100.00	.00
21	.00	100.00	.00
22	.00	100.00	.00
23	.00	100.00	.00
24	.00	100.00	.00
25	.00	100.00	.00
26	.00	100.00	.00
27	.00	100.00	.00
28	.00	100.00	.00
29	.00	100.00	.00
30	.00	100.00	.00
31	.00	100.00	.00
32	.00	100.00	.00

33	.00	100.00	.00
34	.00	100.00	.00
35	.00	100.00	.00
36	.00	100.00	.00
37	.00	100.00	.00
38	.00	100.00	.00
39	.00	100.00	.00
40	.00	100.00	.00
41	.00	100.00	.00
42	.00	100.00	.00
43	.00	100.00	.00
44	.00	100.00	.00
45	.00	100.00	.00
46	.00	100.00	.00
47	.00	100.00	.00
48	.00	100.00	.00
49	.00	100.00	.00
50	.00	100.00	.00
51	.00	100.00	.00
52	.00	100.00	.00
53	.00	100.00	.00
54	.00	100.00	.00
55	.00	100.00	.00
56	.00	100.00	.00
57	.00	100.00	.00
58	.00	100.00	.00
59	.00	100.00	.00
60	.00	100.00	.00
61	.00	100.00	.00
62	.00	100.00	.00
63	.00	100.00	.00
64	.00	100.00	.00
65	.00	100.00	.00
66	.00	100.00	.00
67	.00	100.00	.00
68	.00	100.00	.00
69	.00	100.00	.00
70	.00	100.00	.00
71	.00	100.00	.00

Relative total Power (A): 1.221150894296322E-03

N-MODE Analysis

Power in mode N	%	Cumulative summation	dB
1	5.59	5.59	-12.53
2	1.23	6.82	-11.66
3	6.25	13.07	-8.84
4	.70	13.77	-8.61
5	6.74	20.52	-6.88
6	.93	21.45	-6.69
7	6.45	27.89	-5.54
8	.51	28.40	-5.47
9	4.00	32.40	-4.89

10	.71	33.11	-4.80
11	3.26	36.37	-4.39
12	.96	37.33	-4.28
13	3.06	40.39	-3.94
14	.65	41.04	-3.87
15	3.66	44.70	-3.50
16	.52	45.23	-3.45
17	3.85	49.08	-3.09
18	.24	49.32	-3.07
19	4.47	53.78	-2.69
20	.31	54.09	-2.67
21	3.94	58.04	-2.36
22	.09	58.12	-2.36
23	3.51	61.63	-2.10
24	.05	61.68	-2.10
25	3.63	65.30	-1.85
26	.56	65.86	-1.81
27	5.06	70.92	-1.49
28	.99	71.90	-1.43
29	6.99	78.90	-1.03
30	.72	79.62	-.99
31	5.22	84.84	-.71
32	.68	85.51	-.68
33	1.98	87.49	-.58
34	.25	87.74	-.57
35	1.12	88.87	-.51
36	.37	89.24	-.49
37	1.44	90.67	-.43
38	1.22	91.90	-.37
39	1.78	93.67	-.28
40	1.57	95.24	-.21
41	1.42	96.66	-.15
42	1.25	97.91	-.09
43	.78	98.69	-.06
44	.63	99.32	-.03
45	.33	99.65	-.02
46	.20	99.85	-.01
47	.10	99.95	.00
48	.04	99.99	.00
49	.01	100.00	.00
50	.00	100.00	.00
51	.00	100.00	.00
52	.00	100.00	.00
53	.00	100.00	.00
54	.00	100.00	.00
55	.00	100.00	.00
56	.00	100.00	.00
57	.00	100.00	.00
58	.00	100.00	.00
59	.00	100.00	.00
60	.00	100.00	.00
61	.00	100.00	.00
62	.00	100.00	.00
63	.00	100.00	.00
64	.00	100.00	.00
65	.00	100.00	.00
66	.00	100.00	.00
67	.00	100.00	.00
68	.00	100.00	.00
69	.00	100.00	.00
70	.00	100.00	.00

71	.00	100.00	.00
72	.00	100.00	.00

* Relative total Power (B): 1.220830916359500E-03

Difference A-B = 2.620298100066725E-02 %

FEED PATTERN SPECIFIED BY SPHERICAL WAVE EXPANSION
CALCULATION OF ELECTRIC FAR FIELD

MAXIMAL NUMBER IN M = 71

MAXIMAL NUMBER IN N = 72

FIELD NORMALIZED TO DBi. DATA IN NATURAL UNITS.

NEAR-FIELD FROM DATA FILE: p4_03500.rnf

72 MODES IN PHI WITH M POSITIVE OR ZERO.

SPHERICAL WAVE EXPANSION WITH 4770 MODES SUCCESSFULLY READ

TOTAL POWER = .1962E-03

Approximate calculation of far field pattern.

DIRECTIVITY: 14.923 dBi at specified distance.

Maximum linear X polar component: 14.913 dBi

Maximum linear Y polar component: 14.258 dBi

Maximum circular RHC component: 14.931 dBi

Maximum circular LHC component: 14.951 dBi

Finished execution : 2-Jun-99 at 19:06:53

Puede considerarse que el fichero consta de tres cuerpos principales:

El primer cuerpo es de información general, el que detalla todos los parámetros de entrada – salida utilizados en la ejecución.

El segundo cuerpo es en el que se incluyen las siguientes tablas de potencia (ver apéndice 8.1): una de potencia de los modos en M con truncamiento de la serie de modos en N, otra de potencia calculada por medio del análisis de modos en M, y una tercera de potencia calculada por medio del análisis de modos en N. La diferencia entre estos dos últimos análisis en potencia también se incluye bajo el epígrafe “*Difference A-B*”. Una diferencia mayor del 0.25% supone que el número de modos utilizados es insuficiente y el resultado puede ser erróneo (no es el caso del ejemplo, en que la diferencia es de un 0.0262%)

El tercer cuerpo del fichero es el que contiene las consideraciones pertinentes al diagrama de radiación, como la directividad a la distancia especificada y los valores de las componentes polar y contrapolar.

4.2 OTROS FICHEROS DE SALIDA.

4.2.1. FICHERO DE CAMPO DE SALIDA

El fichero de campo de salida, FFFILE, que se obtiene es un fichero del tipo “*report file*”, que hace referencia en su primera línea al fichero binario tipo MARCH en que se encuentra el campo medido.

En el caso de este ejemplo, el mismo que hemos tomado como ejemplo para la entrada, el fichero de “*report*” se denomina p4_03500.rff, y el fichero binario, como puede verse, p4_03500.bff.

```
ORGANIZATION OF: p4_03500.bff
CREATION: 05/12/99      16:33:01
ver PATH
```

```
LEVEL OF RECORDS: 1
```

```
2 SEQUENCES OF 1 FUNCTIONS
```

THETA	0.12165562	0	0	37	72	1	
	0.28136195E-04	0	0	3	123	1	
THETA	0.15832150E-01	0	0	36	128	1	
	0.40415627E-04	0	0	11	79	1	
UNUSED	.0000000000E+01	.0000000000E+01					0 EQUI S
UNUSED	.0000000000E+01	.0000000000E+01					0 EQUI S
THETA	00.00000000E-01	18.00000000E+01	Deg				73 EQUI S
PHI	00.00000000E-01	35.75000000E+01	Deg				144 EQUI S
FREQUENCY	35.00000000E-01	35.00000000E-01	GHz				1 CMPLX u

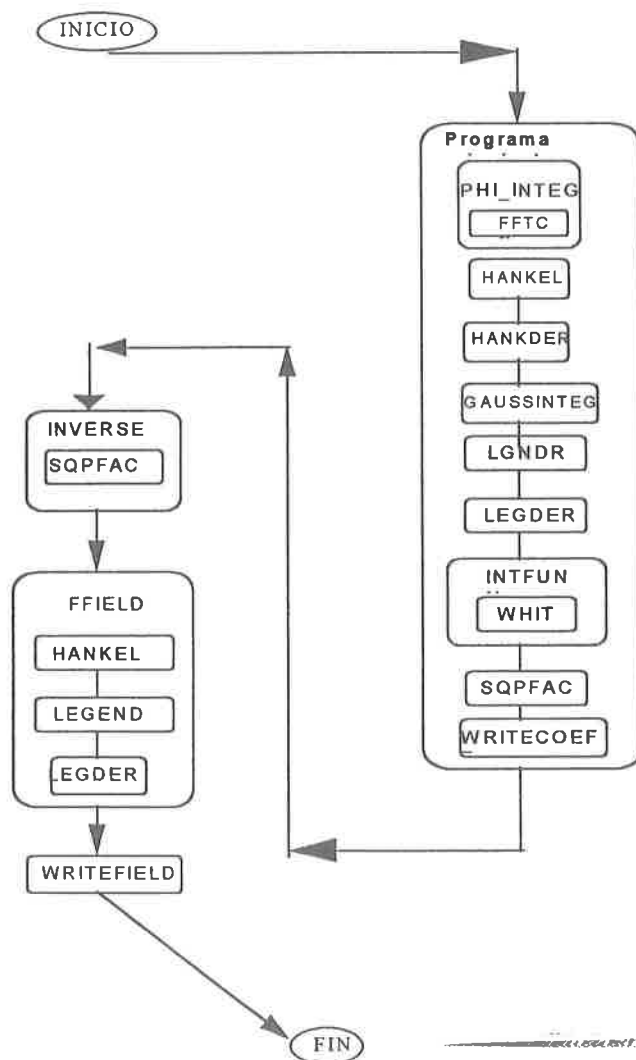
Además, se obtiene otro fichero de salida ASCII, del mismo nombre que los ficheros MARCH pero que carece de extensión, en este caso p4_03500.

4.2.2. FICHERO DE CORRECCIÓN DE Sonda

- En el caso de que $PRCOEF=PROB$, es decir, en el caso de que la ejecución corresponda a calibrado de sonda, el fichero de salida FFFILE es el fichero de coeficientes de recepción de la sonda, el mismo fichero que hemos llamado PRINFILE en el epígrafe 3.2.2.

5.1. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

La estructura del programa se expone esquemáticamente en la figura siguiente:



5.2. PROGRAMA PRINCIPAL.

El programa o módulo principal se comporta de muy distinta manera en función del modo de funcionamiento, dependiendo de que PRCOEF sea igual a 'PROB', modo calibrado de sonda, o de que no lo sea.

La primera operación en cualquier caso es la lectura del fichero de datos de entrada, mediante llamadas a subrutinas incluidas en el programa marchgr.for.

Posteriormente, para ambos casos, el programa principal sigue:

- Efectuando la corrección de polarización de sonda, según se leen los datos del fichero de campo.
- Controlando los errores en los datos que previsiblemente afecten a la ejecución.

A partir de aquí:

a) Si la opción es calibrado de sonda continúa:

- Obteniendo las funciones esféricas de Hankel de segunda clase, mediante llamadas a las subrutinas HANKEL y HANKDER.
- Realizando las integrales

$$A_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\theta(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi$$

$$B_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\phi(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi$$

mediante llamadas a una subrutina de algoritmo rápido de Fourier (FFT).

- Obteniendo los puntos y pesos para la integración de Gauss-Legendre, mediante llamadas a la subrutina GAUSSINTEG
- Procediendo al cálculo de las integrales de ortogonalidad por medio de llamadas a las subrutinas PLGNDR, LEGDER e INTFUN.
- Calculando los coeficientes de recepción de la sonda.
- Escribiendo en el fichero de salida los coeficientes deseados.

b) Si la opción es corrección de sonda continua:

- Leyendo de fichero los coeficientes de recepción de la sonda.
- Obteniendo las funciones esféricas de Hankel de segunda clase, mediante llamadas a las subrutinas HANKEL y HANKDER.
- Realizando las integrales

$$A_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\theta(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi$$

$$B_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E_\phi(r, \theta, \phi) e^{jm\phi} d\phi$$

mediante llamadas a una subrutina de algoritmo rápido de Fourier (FFT).

- Obteniendo los puntos y pesos para la integración de Gauss-Legendre, mediante llamadas a la subrutina GAUSSINTEG
- Procediendo al cálculo de las integrales de ortogonalidad por medio de llamadas a las subrutinas PLGNDR, LEGDER e INTFUN.
- Calculando los coeficientes de onda esférica y efectuando el truncamiento de la serie de modos en N para un determinado porcentaje de potencia.
- Llevando a cabo la transformación a campo lejano a partir de los coeficientes, por medio de llamadas a las subrutinas INVERSE, FFIELD y WRITEFIELD.

5.2.1. PROCESO DE FUNCIONAMIENTO.

A continuación, se muestran esquemas que indican el proceso seguido durante la ejecución del programa en ambos modos de funcionamiento.

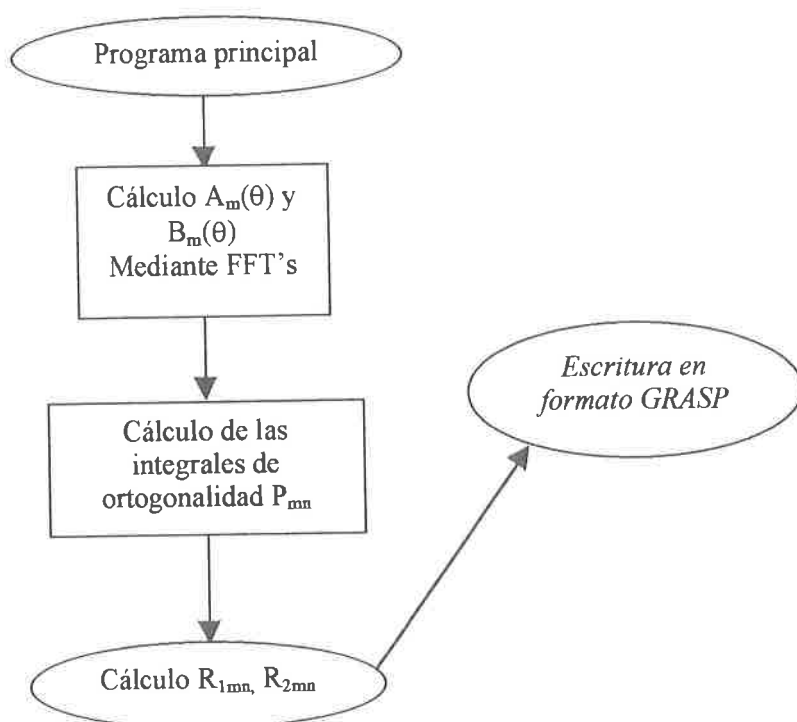


Figura 5.a) Estructura de funcionamiento del programa EXPAND en calibrado de sonda.

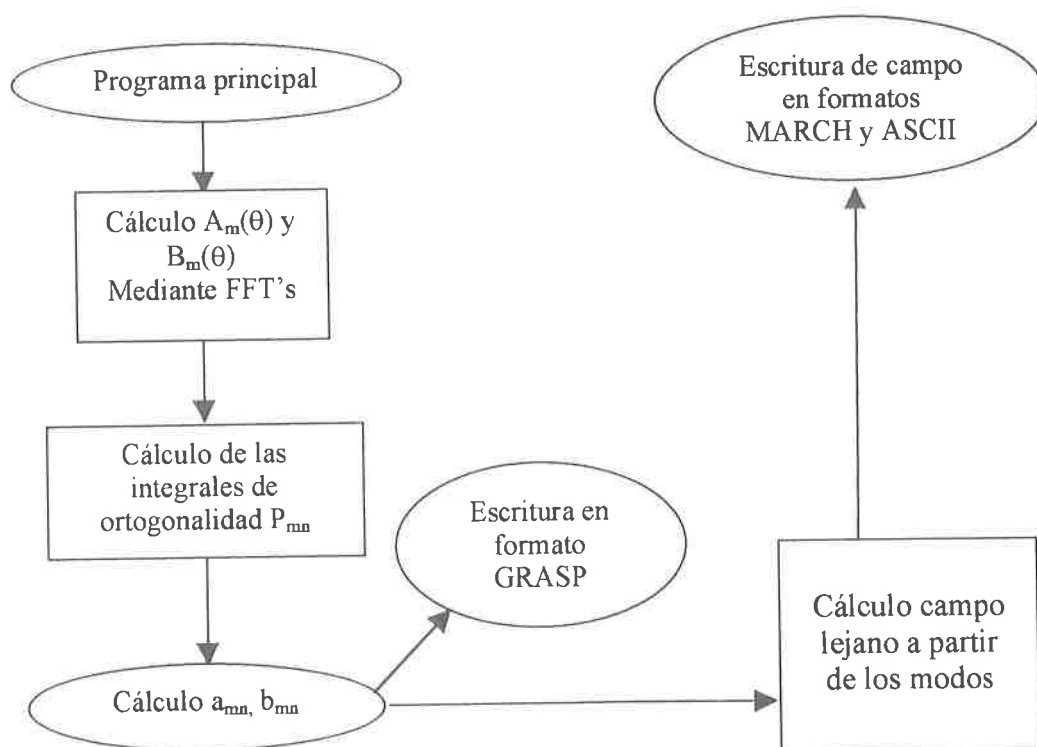


Figura 5.b) Estructura de funcionamiento del programa EXPAND en corrección de sonda.

5.3. SUBROUTINAS.

Se presentan a continuación las principales subrutinas, aquellas de mayor interés para la comprensión del programa.

5.3.1.) Subrutina SORT.

En esta subrutina, el programa se encarga de modificar los datos tomados en formato de tipo B ($-\pi < \theta < \pi$, $0 < \phi < \pi$) para transformarlos en formato de tipo A ($0 < \theta < \pi$, $0 < \phi < 2\pi$).

5.3.2) Subrutina PHI_INTEG

Esta subrutina es llamada para calcular $A_m(\theta)$ y $B_m(\theta)$. (Ecs. 2.6-2.7), y a su vez llama a la subrutina externa FFTCC. También lleva a cabo un desdoblamiento de las referidas funciones de θ para valores de la variable negativos.

5.3.3.) Subrutina FFTCC.

Es un algoritmo de transformación rápida de Fourier FFT con datos de tipo complejo, tanto en entrada como en salida. No pertenece al listado del programa, sino que está incluida como fichero, bajo el nombre de 'FFTCC.FXP'.

5.3.4.) Subrutina GAUSSINTEG.

Se trata de una subrutina perteneciente a 'Numerical Recipes' {5} que permite calcular los puntos x_i y pesos ω_i necesarios para la integración de Gauss-Legendre. Dicha fórmula demuestra que :

$$\int_a^b f(x) dx \cong \sum_{i=1}^N \omega_i f(x_i)$$

El número de puntos en principio puede ser arbitrario, ha de ser especificado en el fichero BOUNDS.INC.

Se utiliza una aproximación inicial para el cálculo de los puntos (que son los ceros del polinomio de Legendre de orden n) y por medio del algoritmo de Newton-Raphson se mejora dicho cálculo hasta un valor con un error ϵ , parámetro de la subrutina.

A continuación se calculan los pesos mediante una fórmula conocida, sirviéndose de los puntos obtenidos previamente.

La fórmula utilizada, que aparece en la literatura, válida para el intervalo de integración entre -1 y 1 es la siguiente:

$$\omega_i = \frac{2}{(1-x_i^2) \left[P'_n(x_i) \right]^2}$$

En esta subrutina dicha expresión se ha modificado para que sea apropiada en el intervalo comprendido entre 0 y π .

5.3.5.) Subrutina INTFUN.

En esta subrutina se realiza el cálculo de las funciones subintegrales pertenecientes a las integrales de ortogonalidad (Ecs. 2.4-2.5), mediante llamadas a otras subrutinas, tales como PLGNDR, LEGDER y WHIT.

Los factores subintegrales se dividen en partes reales e imaginarias, perteneciendo a cada una de ellas las expresiones siguientes:

$$\text{Real}(P_{mn}^a) = \int_0^\pi \left[-\text{Im}(A_m(\theta)) m P_n^m(\cos\theta) - \text{Re}(B_m(\theta)) \frac{d}{d\theta} (P_n^m(\cos\theta)) \sin\theta \right] d\theta$$

$$\text{Imag}(P_{mn}^a) = \int_0^\pi \left[\text{Re}(A_m(\theta)) m P_n^m(\cos\theta) - \text{Im}(B_m(\theta)) \frac{d}{d\theta} (P_n^m(\cos\theta)) \sin\theta \right] d\theta$$

$$\text{Real}(P_{mn}^b) = \int_0^\pi \left[-\text{Im}(B_m(\theta)) m P_n^m(\cos\theta) + \text{Re}(A_m(\theta)) \frac{d}{d\theta} (P_n^m(\cos\theta)) \sin\theta \right] d\theta$$

$$\text{Imag}(P_{mn}^b) = \int_0^\pi \left[\text{Re}(B_m(\theta)) m P_n^m(\cos\theta) + \text{Im}(A_m(\theta)) \frac{d}{d\theta} (P_n^m(\cos\theta)) \sin\theta \right] d\theta$$

Una vez calculados, y, mediante la integración de Gauss-Legendre, el programa principal calcula el valor de P_{mn}^a, P_{mn}^b .

5.3.6.) Subrutina (función) PLGNDR.

En ella se obtiene el valor de un polinomio asociado de Legendre de orden m y grado n, $P_n^m(\cos\theta)$ para una abscisa X determinada, mediante fórmulas recursivas.

5.3.7.) Subrutina (función) LEGDER.

Esta subrutina permite calcular el valor de la derivada del polinomio asociado de Legendre de orden m y grado n , para un valor de abscisa determinado, usando fórmulas recursivas. Es decir se realiza la operación:

$$\frac{d}{d\theta} P_n^m(\cos\theta)$$

5.3.8.) Subrutina (función) WHIT.

Esta subrutina permite el cálculo de cualquier valor de los factores subintegrales para el cálculo de las integrales de ortogonalidad, realizada por INTFUN, ya que se trata de una rutina de interpolación.

El valor de abscisa interpolado no es otro que el proporcionado por la rutina de GAUSSINTEG, que entre sus funciones indica el valor de la abscisa necesaria para realizar la integración.

Se trata de una interpolación de banda limitada, también conocida como algoritmo de Whittaker o *zero-padding*, que se efectúa en el intervalo $(-\theta, \theta)$, gracias a una réplica de la función en la zona de θ negativas.

5.3.9.) Subrutina TRCOEF

Se encarga de calcular los coeficientes de traslación de la sonda.

5.3.10.) Subrutina INVERSE.

Esta subrutina pertenece a la parte de programa encargada de realizar la transformación a campo lejano.

En ella se realiza la lectura de modos del fichero en formato GRASP, y se controlan las dimensiones de los datos.

Las variables de salida A,B,NNMAX de esta subrutina sólo tienen por objeto proporcionar información necesaria para los cálculos de la subrutina FFIELD y la variable NMAXT permite el cálculo de las funciones de Hankel de segunda clase en campo lejano.

5.3.11.) Subrutina FFIELD.

Es una parte del programa que calcula un punto de campo lejano especificado por las coordenadas en (θ, ϕ) a partir de los datos tomados del fichero inicial y de la rutina INVERSE .

Básicamente utiliza las mismas ecuaciones que se han requerido en las subrutinas anteriores. Las únicas diferencias estriban en la existencia de una rutina nueva llamada LEGEND y la extensión de las fórmulas para un ámbito de campo lejano.

La extensión de las fórmulas para campo lejano no consiste más que en sustituir $h_n^{(2)}(kr)$ y su derivada en todas las fórmulas utilizadas, por su asíntota en infinito (cálculo aproximado) o particularizarlas por un r concreto (cálculo exacto).

Con las nuevas expresiones, y conocidos los modos esféricos, que se acaban de leer del fichero, se realiza la operación siguiente, en el caso de cálculo aproximado:

$$\tilde{E}_{\infty}(r, \theta, \phi) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=|m|}^N (a_{mn} \bar{m}_{mn}^{\infty}(r, \theta, \phi) + b_{mn} \bar{n}_{mn}^{\infty}(r, \theta, \phi))$$

Al ser llamada reiteradamente esta rutina, es posible conseguir el valor del campo lejano para todo punto (θ, ϕ) del espacio.

5.3.12.) Subrutina LEGEND.

Calcula el valor de todos los polinomios asociados de Legendre desde el grado 0 hasta el grado N, para valores de $\cos\theta$ y $\sin\theta$ determinados.

Su valor se almacena en un array lineal para su uso en la rutina FFIELD.

5.3.13.) Subrutina WRITEFIELD

Se encarga de escribir el campo lejano en un fichero, en el formato adecuado. Efectúa algunos cálculos relacionados con la directividad y las componentes polares y contrapolares (lineales y circulares) cuyos resultados se verán expresados en el fichero de información de salida.

5.3.14.) Subrutina externa READCORTE

Lee del fichero binario de un conjunto de ficheros en formato MARCH-GR un corte en θ del campo. No pertenece, como las tres siguientes, al listado del programa, sino que están incluidas en el programa marchgr.for

5.3.15.) Subrutina externa *WRITECORTE*

Lee un corte en θ del campo del fichero binario de un conjunto de ficheros en formato MARCH-GR.

5.3.16.) Subrutina externa *READREPFIL*

Lee el fichero de cabecera correspondiente a un conjunto de ficheros en formato MARCH-GR.

5.3.17.) Subrutina externa *WRITEREPFIL*

Escribe el fichero de cabecera correspondiente a un conjunto de ficheros en formato MARCH-GR.

5.3.18.) Subrutina *MARCH2DOS*

Transforma los ficheros de entrada de tipo MARCH-GR en ficheros ASCII para poder llevar a cabo la corrección de sonda y la transformación a campo lejano pertinentes. Utiliza para ello varias subrutinas incluidas en el programa externo *marchgr.for*, entre ellas las cuatro anteriormente mencionadas.

5.3.17.) Subrutina *DOS2MARCH*

Transforma el fichero de salida ASCII en ficheros de tipo MARCH-GR, fichero de report y fichero binario. Utiliza para ello varias subrutinas incluidas en el programa externo *marchgr.for*, entre ellas las cuatro anteriormente mencionadas.

6. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

6.1. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE RECEPCIÓN DE LA SONDA.

Para el cálculo de los coeficientes de recepción de la sonda se necesita un fichero que contenga el campo medido de dicha sonda sobre una esfera a una cierta distancia. En este caso, se ha generado teóricamente el campo de una sonda de nuestro interés, que sólo propague modos azimutales $m=\pm 1$, en concreto una bocina cónica linealmente polarizada excitada por el modo TE_{11} . Este tipo de sondas son las únicas cuyo efecto se puede corregir.

Los ficheros de entrada son en este ejemplo *boc3.rcf* y *boc3.bcf*.

Debido a que $M_{MAX}=1$, es suficiente que este campo esté muestreado únicamente con tres puntos en PHI, puesto que sabemos que $1 \leq M_{MAX} \leq \min((N_{PHI}-1)/2, N_{MAX})$. En cuanto al muestreo en THETA, es suficiente tomar $N_{MAX}=25$

El campo generado teóricamente es campo lejano, luego se toma $RIN=1000\lambda$.

Para obtener los coeficientes de recepción de la sonda en el fichero de salida, $PRCOEF='PROB'$, y los parámetros concernientes a la sonda de medida (CODEIN, NYMAXI), los de una sonda ideal (ver 3.1.)

El fichero de entrada es:

```
Medida de sonda. Calculo de coeficientes.
1000.0 'PROB'
360 3 25 1 1
1 1
1000.000
0.0 180.00 0.0 240.00
0.0 180.00 0.0 240.00
1
'boc3.rcf'
'probed.rff'
-1 -1
0.0 0.0
RIN, PRCOEF
NTHE, NPHI, NMAX, MMAX, MREP
NYMAXI, NYMAXO
ROUT
THETAI, THETAЕ, PHII, PHIE
THETAIOU, THETAЕOU, PHIIОU, PHIEOU
IRUN
NFFILE
FFFILE
CODEIN, CODEOUT
THGAIN, PHGAIN
```

Y el fichero de salida *probed.rff* que se obtiene:

```
(1.0, .0)
(.120925816770402, -.163369342314513)
(-3.077990236649032E-04, 5.320896115556332E-04)
(5.716140458570491E-04, 3.122051918469786E-04)
(-.409791753503574, -.238693585828565)
(-.130183339431215, .2403871627996117)
(3.027704044093936E-04, -4.747615179798322E-04)
(-3.243789820864466E-04, -1.349531623308846E-04)
(.3039991972676459, .1917448509823484)
(2.075720645613610E-02, -9.768062148883933E-02)
(-1.126979123429847E-04, 7.176173628899287E-05)
(-1.084550407986700E-04, -1.481105726534364E-04)
(-8.423712229729669E-02, -8.221364612163650E-02)
(2.462049348370655E-02, 1.876015100603143E-02)
(-1.008235487027369E-04, 3.372512573345108E-04)
(3.978986064057907E-04, 3.184990501236693E-04)
(1.196170482520357E-02, 3.777874220676131E-02)
```

El primer valor complejo es el parámetro de polarización circular $Q_x = -Q_y$ que se considera igual a la unidad, sonda perfectamente polarizada. Para calcular su valor real se requiere otro programa auxiliar, o bien el programa SNIFTD, cuyo resultado es:

```
(.507693, .8609197)
(.1208741, -.163407)
(-3.07808E-04, 5.32296E-04)
(5.71971E-04, 3.11809E-04)
(-.410021, -.238302)
(-.129724, .2406353)
(3.02085E-04, -4.75351E-04)
(-3.24544E-04, -1.33850E-04)
(.3046082, .190776)
(2.02905E-02, -9.77786E-02)
(-1.12353E-04, 7.19579E-05)
(-1.09450E-04, -1.47301E-04)
(-8.47846E-02, -8.16489E-02)
(2.47866E-02, 1.85400E-02)
(-9.77401E-05, 3.38154E-04)
(4.01497E-04, 3.13844E-04)
(1.23938E-02, 3.76393E-02)
```

Vemos que la sonda está linealmente polarizada, como debe ser para que funcione el programa de corrección, puesto que $Q_x \cong \frac{1+j\sqrt{3}}{2}$, o lo que es lo mismo, $|Q_x|=1$. Por tanto $Q_y = -Q_x$.

La comparación de los calibrados de sonda que realizan EXPAND y SNIFTD nos lleva a la conclusión de que consiguen muy similares resultados.

6.2. EJEMPLO DE TRANSFORMACIÓN A CAMPO LEJANO.

Medida sobre el cluster del ASYRIO a 10.5 GHz. Haz a 31° . Medida efectuada a una distancia de 189.35λ .

El muestreo en THETA no es completo, de 0° a 180° , sino que se toma de 0° a 100° .

```
@@@@@ EXPAND2 PROGRAM INFORMATION FILE @@@@@
Tercera medida del cluster del ASYRIO. Haz a  $31^\circ$ 
```

```
***** GENERAL INFORMATION *****
Maximum mode number in M : 35
Maximum mode number in N : 50
Distance from feed origin (lambdas): 189.35
Frequency (MHz): 10500.0
Name of near E-field file : cpep_asyrio3_105w_10500.
Name of output coefficients file : fcoef
Name of far-field file (output): cpepx.rff
```

```
***** DATA OF NEAR-FIELD INPUT DATA FILE *****
Initial THETA (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final THETA (radians): 1.74533 = 100.00000 degrees.
Number of samples in THETA : 41
Initial PHI (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final PHI (radians): 6.19592 = 355.00000 degrees.
Number of samples in PHI : 72
```

```
***** DATA OF FAR-FIELD OUTPUT FILE *****
Initial THETA for output (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final THETA for output (radians): 1.74533 = 100.00000 degrees.
Number of samples in THETA (output): 41
Initial PHI for output (radians): .00000 = .00000 degrees.
Final PHI for output (radians): 6.19592 = 355.00000 degrees.
Number of samples in PHI (output): 72
```

```
Starting execution : 8-Jul-99 at 11:38:25
```

```
*****
*****
```

```
*** DATA FOR PROBE POLARIZATION CORRECTION ***
Linear polarization ratio of port I: (.0,.0)
Linear polarization ratio of port II : (.0,.0)
Amplitude phase factor : (1.0,.0)
```

```
** Input data in "CLASS A" FORMAT **
*****
*****
```

N-MODE Power truncation


```

Power : .4060E-06 in mode M=  Q (N= 50) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .1653E-05 in mode M=  1 (N= 35) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .5286E-06 in mode M=  2 (N= 50) @@@@ Reached : 99.84 %
Power : .3356E-06 in mode M=  3 (N= 35) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .2079E-06 in mode M=  4 (N= 36) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .1937E-06 in mode M=  5 (N= 38) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .1669E-06 in mode M=  6 (N= 43) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .1092E-06 in mode M=  7 (N= 50) @@@@ Reached : 99.95 %
Power : .7382E-07 in mode M=  8 (N= 50) @@@@ Reached : 99.88 %
Power : .5791E-07 in mode M=  9 (N= 50) @@@@ Reached : 99.90 %
Power : .5859E-07 in mode M= 10 (N= 50) @@@@ Reached : 99.89 %
Power : .5749E-07 in mode M= 11 (N= 50) @@@@ Reached : 99.87 %
Power : .4670E-07 in mode M= 12 (N= 50) @@@@ Reached : 99.81 %
Power : .3147E-07 in mode M= 13 (N= 50) @@@@ Reached : 99.72 %
Power : .1886E-07 in mode M= 14 (N= 50) @@@@ Reached : 99.47 %
Power : .1210E-07 in mode M= 15 (N= 50) @@@@ Reached : 99.31 %
Power : .8821E-08 in mode M= 16 (N= 50) @@@@ Reached : 99.12 %
Power : .6850E-08 in mode M= 17 (N= 50) @@@@ Reached : 98.45 %
Power : .5075E-08 in mode M= 18 (N= 50) @@@@ Reached : 97.67 %
Power : .3783E-08 in mode M= 19 (N= 50) @@@@ Reached : 96.86 %
Power : .2152E-08 in mode M= 20 (N= 50) @@@@ Reached : 95.18 %
Power : .1398E-08 in mode M= 21 (N= 50) @@@@ Reached : 93.21 %
Power : .7076E-09 in mode M= 22 (N= 50) @@@@ Reached : 86.01 %
Power : .3917E-09 in mode M= 23 (N= 50) @@@@ Reached : 67.45 %
Power : .3856E-09 in mode M= 24 (N= 50) @@@@ Reached : 60.89 %
Power : .2855E-09 in mode M= 25 (N= 50) @@@@ Reached : 48.26 %
Power : .2384E-09 in mode M= 26 (N= 50) @@@@ Reached : 58.67 %
Power : .1607E-09 in mode M= 27 (N= 50) @@@@ Reached : 30.65 %
Power : .2068E-09 in mode M= 28 (N= 50) @@@@ Reached : 41.59 %
Power : .1742E-09 in mode M= 29 (N= 50) @@@@ Reached : 29.98 %
Power : .1618E-09 in mode M= 30 (N= 50) @@@@ Reached : 23.12 %
Power : .1476E-09 in mode M= 31 (N= 50) @@@@ Reached : 25.62 %
Power : .1774E-09 in mode M= 32 (N= 50) @@@@ Reached : 26.60 %
Power : .2073E-09 in mode M= 33 (N= 50) @@@@ Reached : 21.45 %
Power : .1679E-09 in mode M= 34 (N= 50) @@@@ Reached : 19.24 %
Power : .2003E-09 in mode M= 35 (N= 50) @@@@ Reached : 11.09 %

```


M-MODE Analysis

Power in mode M	%	Cumulative summatio	dB
0	10.18	10.18	-9.92
1	41.43	51.60	-2.87
2	13.25	64.85	-1.88
3	8.41	73.27	-1.35
4	5.21	78.48	-1.05
5	4.86	83.34	-.79
6	4.18	87.52	-.58
7	2.74	90.26	-.45
8	1.85	92.11	-.36
9	1.45	93.56	-.29
10	1.47	95.03	-.22

11	1.44	96.47	-.16
12	1.17	97.64	-.10
13	.79	98.43	-.07
14	.47	98.90	-.05
15	.30	99.21	-.03
16	.22	99.43	-.02
17	.17	99.60	-.02
18	.13	99.73	-.01
19	.09	99.82	-.01
20	.05	99.87	-.01
21	.04	99.91	.00
22	.02	99.93	.00
23	.01	99.94	.00
24	.01	99.95	.00
25	.01	99.95	.00
26	.01	99.96	.00
27	.00	99.96	.00
28	.01	99.97	.00
29	.00	99.97	.00
30	.00	99.98	.00
31	.00	99.98	.00
32	.00	99.99	.00
33	.01	99.99	.00
34	.00	99.99	.00
35	.01	100.00	.00

Relative total Power (A): 3.989142704894103E-06

N-MODE Analysis

Power in mode N	%	Cumulative summation	dB
1	12.56	12.56	-9.01
2	6.72	19.28	-7.15
3	2.13	21.41	-6.69
4	1.03	22.44	-6.49
5	2.99	25.42	-5.95
6	6.40	31.83	-4.97
7	8.17	40.00	-3.98
8	7.02	47.02	-3.28
9	4.26	51.29	-2.90
10	3.08	54.36	-2.65
11	4.55	58.91	-2.30
12	6.48	65.39	-1.84
13	6.75	72.14	-1.42
14	5.62	77.75	-1.09
15	4.01	81.76	-.87
16	2.50	84.26	-.74
17	1.82	86.08	-.65
18	2.15	88.23	-.54
19	2.75	90.98	-.41
20	2.85	93.83	-.28
21	2.35	96.17	-.17
22	1.60	97.77	-.10
23	.95	98.72	-.06

24	.52	99.24	-.03
25	.28	99.52	-.02
26	.16	99.67	-.01
27	.10	99.78	-.01
28	.07	99.84	-.01
29	.04	99.88	-.01
30	.03	99.91	.00
31	.02	99.93	.00
32	.01	99.94	.00
33	.01	99.95	.00
34	.01	99.96	.00
35	.00	99.96	.00
36	.00	99.97	.00
37	.00	99.97	.00
38	.00	99.97	.00
39	.00	99.97	.00
40	.00	99.98	.00
41	.00	99.98	.00
42	.00	99.98	.00
43	.00	99.98	.00
44	.00	99.99	.00
45	.00	99.99	.00
46	.00	99.99	.00
47	.00	99.99	.00
48	.00	100.00	.00
49	.00	100.00	.00
50	.00	100.00	.00

Relative total Power (B): 3.983719874084360E-06

Difference A-B = .1359397547520708 %

FEED PATTERN SPECIFIED BY SPHERICAL WAVE EXPANSION

CALCULATION OF ELECTRIC FAR FIELD

MAXIMAL NUMBER IN M = 35

MAXIMAL NUMBER IN N = 50

FIELD NORMALIZED TO DBi. DATA IN NATURAL UNITS.

NEAR-FIELD FROM DATA FILE: cpep_asyrio3_105w_10500

36 MODES IN PHI WITH M POSITIVE OR ZERO.

SPHERICAL WAVE EXPANSION WITH ~~2234~~ ³⁶ MODES' SUCCESSFULLY READ

TOTAL POWER = .6186E-06

Approximate calculation of far field pattern.

DIRECTIVITY: 20.276 dBi at specified distance.

Maximum linear X polar component: -.522 dBi

Maximum linear Y polar component: 20.247 dBi

Maximum circular RHC component: 20.498 dBi

Maximum circular LHC component: 20.060 dBi

Finished execution : 8-Jul-99 at 11:39:21

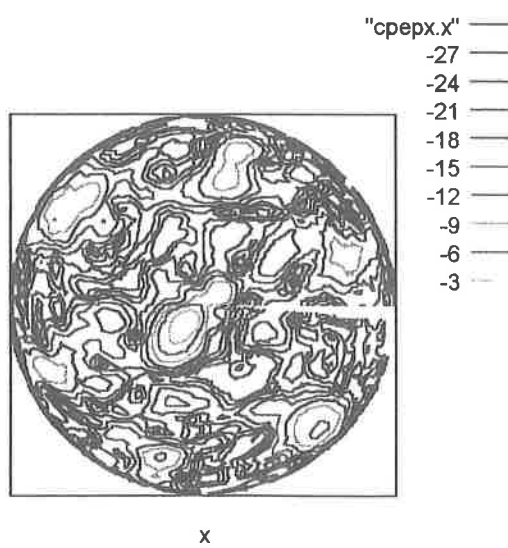
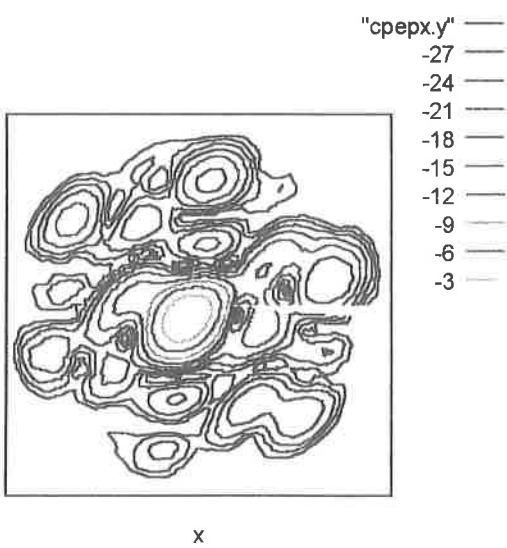
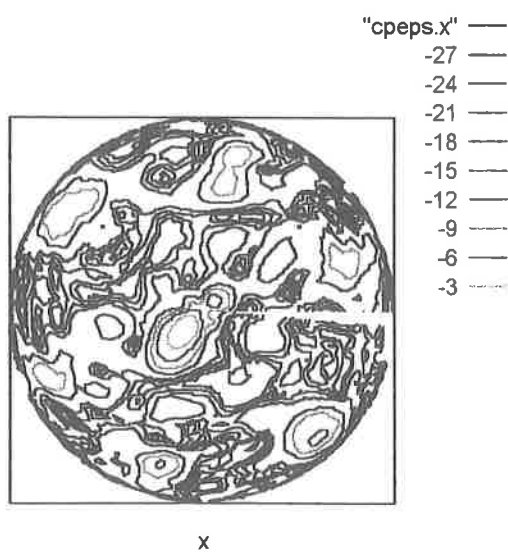
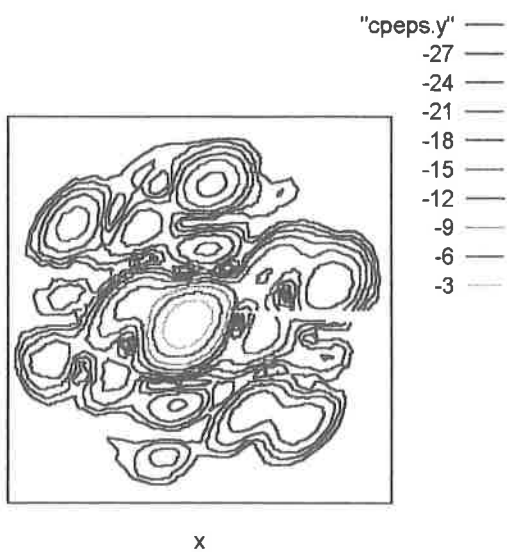
Una forma de comparación es la representación gráfica por medio del programa GNUPLOT, a través del programa auxiliar de transformación TRFPLOT, de los campos obtenidos por EXPAND y por SNIFTD. Para ello, hay que convertir a ASCII los ficheros de salida de SNIFTD (*cpeps*). La salida de EXPAND ya ofrece un fichero de campo ASCII (*cpepx*), aparte de la salida MARCH.

Las gráficas de la página siguiente representan las componentes copolar (.x) y contrapolar (.y) del campo alrededor del máximo de radiación ($\theta=0^\circ$, $\phi=0^\circ$). La representación por tanto comprende los valores: $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ y $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

El valor máximo se normaliza a 0 dB.

Otra manera de observar las diferencias es la comparación numérica. Para ello se muestran tres cortes principales en PHI, y la diferencia en decibelios entre uno y otro campo lejano para cada valor de THETA. Los valores de Ecp y Exp son los del campo SNIFTD, y el error la diferencia con el campo EXPAND.

Los resultados se muestran en las páginas siguientes:



Diferencia en dB entre: cpepsd y
cpepxd
.0 41 2.5 .0 72 5.0

Corte en FI=0 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

.00	-1.162	-.030	-27.496	-.024
2.50	-2.102	-.038	-29.133	-.334
5.00	-3.816	-.003	-29.789	-.261
7.50	-6.615	-.041	-31.512	.011
10.00	-11.160	-.156	-36.189	.262
12.50	-18.656	.197	-43.982	.934
15.00	-19.246	.039	-55.615	-1.548
17.50	-15.125	.002	-42.685	.634
20.00	-14.071	-.014	-37.998	.055
22.50	-15.460	-.006	-36.511	-.112
25.00	-18.256	-.065	-36.948	-.161
27.50	-19.097	.018	-36.934	-.079
30.00	-16.530	-.025	-37.523	.220
32.50	-14.178	-.052	-40.579	.190
35.00	-12.984	.037	-44.139	-.755
37.50	-12.525	-.026	-47.339	-.267
40.00	-12.471	-.054	-49.156	.610
42.50	-12.658	.015	-50.094	-.516
45.00	-13.211	-.011	-43.596	.543
47.50	-14.339	-.025	-39.306	-.039

Corte en FI=45 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

.00	-1.162	-.030	-27.496	-.024
2.50	-2.616	.046	-29.653	.492
5.00	-5.456	.112	-34.488	1.259
7.50	-9.611	-.221	-40.095	-1.488
10.00	-16.910	-.124	-44.784	.578
12.50	-25.563	-.803	-44.564	-.258
15.00	-18.194	.054	-44.974	-.498

17.50	-15.939	.019	-44.147	.242
20.00	-16.283	-.093	-44.923	-1.342
22.50	-18.936	.067	-46.211	-.574
25.00	-24.883	.093	-45.476	1.048
27.50	-29.311	-.082	-46.273	1.033
30.00	-22.321	.098	-42.232	.277
32.50	-18.780	-.079	-38.311	-.026
35.00	-17.307	-.052	-35.708	-.436
37.50	-17.181	.047	-35.741	.142
40.00	-17.847	-.024	-36.559	.133
42.50	-19.197	-.078	-39.152	-.227
45.00	-21.082	.043	-44.048	-.037
47.50	-22.679	.032	-42.091	-.151

Corte en FI=90 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

.00	-1.162	-.030	-27.496	-.024
2.50	-.477	-.036	-25.020	-.339
5.00	-.287	-.049	-23.366	-.722
7.50	-.769	-.022	-23.957	.223
10.00	-1.972	-.001	-25.460	.573
12.50	-3.879	-.025	-27.219	-.390
15.00	-6.619	-.030	-30.360	-.516
17.50	-10.437	.007	-35.045	.608
20.00	-15.589	-.005	-41.260	.545
22.50	-20.591	-.040	-38.751	-.030
25.00	-19.544	.028	-35.089	.096
27.50	-17.243	-.039	-33.926	.073
30.00	-16.247	-.053	-33.464	-.266
32.50	-16.489	.028	-34.552	.003
35.00	-17.752	.029	-36.356	.235
37.50	-19.623	-.121	-37.218	-.025
40.00	-21.011	-.080	-36.766	.014
42.50	-20.142	.073	-34.370	-.172
45.00	-18.215	.027	-32.782	-.047
47.50	-16.739	-.069	-32.074	.089

6.3. EJEMPLO DE CORRECCIÓN DE Sonda.

La antena bajo test es una parábola de 130 cm con offset. La frecuencia de transmisión es de 3.5 GHz. La medida se realiza a 550 cm, 64.167λ .

Disponemos de la medida en campo cercano (ficheros p4_03500.rnf y p4_03500.bnf), conseguida en una cámara anecoica por medio de una sonda considerada ideal.

Se transforma a campo lejano con el programa EXPAND, obteniendo los ficheros p4xf.rff, p4xf.BFF (MARCH-GR) y p4xf (ASCII). La transformación se efectúa sin corrección de sonda ni de polarización, CODEIN=-1, y, por tanto, no aparece PRINFILE, fichero de coeficientes de la sonda.

El intervalo de muestreo es de 2.5° :

$$\Delta\theta = 360^\circ / NTHE = 360^\circ / 144 = 2.5^\circ = \Delta\phi = 360^\circ / NPHI$$

Se especifica para la transformación el mayor número de modos permitido por las

ecuaciones de muestreo $1 \leq NMAX \leq \frac{NTHE}{2}$; $1 \leq MMAX \leq \min\left(\frac{NPHI - 1}{2}, NMAX\right)$, es decir,

$NMAX=72$ y $MMAX=71$.

NYMAXI se pone a uno ya que no hay corrección.

El fichero de entrada, p4.sni, es:

```

Medida de antena con offset. D=130 cm.
64.167 'PPPP'          RIN, PRCOEF
144 144 72 71 1       NTHE, NPFI, NMAX, MMAX, MREP
1 1                   NYMAXI, NYMAXO
0.000000             ROUT
0.0 180.00 0.0 357.50 THETAI, THETA E, PHII, PHIE
0.0 180.00 0.0 357.50 THETAIOU, THETAEOU, PHIIOU, PHIEOU
1                     IRUN
'p4_03500.rnf'        NFFILE
'p4xf.rff'            FFFILE
-1 -1                CODEIN, CODEOUT
0.0 0.0              THGAIN, PHGAIN

```

El fichero de campo cercano 'p4_03500.rnf' al que hace referencia es el mismo del apartado 3.2.1 :

```

ORGANIZATION OF: p4_03500.bnf
CREATION: 12 May 1999      :45:29
OFFSET'S 1=181.46:3=101.77:4=184.60:A3=620:D=550cm ANTENA DE 1300cm

```

LEVEL OF RECORDS: 1

2 SEQUENCES OF 1 FUNCTIONS

THETA	.12165562E+00	0	0	37	72	1
	.28136195E-04	0	0	3	123	1
THETA	.15832150E-01	0	0	36	128	1
	.40415627E-04	0	0	11	79	1
UNUSED	.000000000000E+01	.000000000000E+01		0	EQUI	S
UNUSED	.000000000000E+01	.000000000000E+01		0	EQUI	S
THETA	00.000000000E-01	18.000000000E+01	Deg	73	EQUI	S
PHI	00.000000000E-01	35.750000000E+01	Deg	144	EQUI	S
FREQUENCY	35.000000000E-01	35.000000000E-01	GHz	1	CMPLX	u

El fichero de salida, p4.sno, es el mismo que servía de ejemplo en el capítulo 4.1, que no se repite aquí.

Podemos efectuar una comparación de los campos lejanos obtenidos con EXPAND y con SNIFTD para hacernos una idea del comportamiento del primero. Los ficheros de entrada son por descontado los mismos, pues EXPAND se ha implementado de manera que sea compatible con el programa propiedad de TICRA A/S.

La tercera etapa de la comparación es la comparación numérica. Para ello se muestran tres cortes principales en PHI, y la diferencia en decibelios entre uno y otro campo lejano para cada valor de THETA. Los valores de Ecp y Exp son los del campo SNIFTD, y el error la diferencia con el campo EXPAND. El resultado es el siguiente:

Corte en FI=0 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-33.126	-.031	-34.043	.188
47.50	-34.657	1.432	-33.827	.112
50.00	-32.972	-1.318	-36.450	-.226
52.50	-28.695	.338	-40.976	-.854
55.00	-27.551	-.683	-37.244	.732
57.50	-32.782	-.839	-35.955	-.199
60.00	-23.220	.078	-37.467	-.111
62.50	-30.160	.459	-43.951	-.373
65.00	-22.327	.321	-41.482	1.262
67.50	-24.401	-.452	-40.528	-.015
70.00	-18.738	.353	-41.372	-.370
72.50	-25.068	.381	-53.426	-2.711
75.00	-19.583	.182	-44.831	-.488
77.50	-22.908	.702	-41.581	-.104
80.00	-12.899	-.069	-37.184	-.244
82.50	-17.866	.217	-49.309	1.029
85.00	-14.118	-.189	-68.760	9.688
87.50	-7.511	.089	-44.376	-.311
90.00	-.009	.002	-50.621	1.959
92.50	-2.998	.060	-38.764	.714
95.00	-27.389	.020	-38.631	.228
97.50	-24.255	.328	-48.674	-1.908
100.00	-12.875	.038	-37.013	-.489
102.50	-14.396	.121	-37.478	-.488
105.00	-23.986	-.079	-41.329	.630
107.50	-34.556	-1.181	-39.641	.053
110.00	-16.146	.275	-39.619	-.629
112.50	-20.892	.050	-43.540	-.227
115.00	-27.097	.755	-43.976	.783
117.50	-41.299	-4.929	-42.789	.204
120.00	-20.869	.121	-39.189	.485
122.50	-22.439	-.243	-42.085	-.506
125.00	-33.287	1.386	-43.073	-.081
127.50	-31.247	-.432	-45.979	.008
130.00	-32.775	.276	-43.186	.062
132.50	-27.898	-.733	-37.577	.158

Corte en FI=45 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-31.150	-.468	-43.069	2.318
47.50	-31.772	.277	-38.156	.962
50.00	-31.973	-.703	-39.505	-.840
52.50	-25.128	-.230	-32.810	.534
55.00	-20.761	.041	-30.477	.583
57.50	-32.661	-.129	-31.301	-1.518
60.00	-20.449	.019	-30.369	.566
62.50	-33.503	.585	-31.447	.635
65.00	-20.472	.194	-33.917	1.302
67.50	-27.051	-.103	-28.044	-.253
70.00	-21.544	.380	-31.477	.739
72.50	-34.610	-1.082	-29.875	.765
75.00	-24.393	.139	-27.806	.440
77.50	-25.850	.533	-33.773	1.447
80.00	-18.195	-.223	-21.049	.096
92.50	-18.155	-.017	-37.760	-3.205
95.00	-16.978	.047	-21.740	-.185

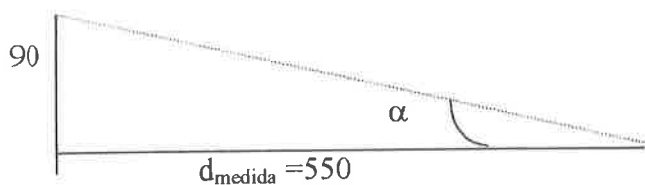
87.50	-13.985	.093	-15.567	.234
90.00	-6.951	.032	-5.294	-.007
92.50	-11.261	.018	-6.604	.020
95.00	-35.180	1.444	-25.783	.355
97.50	-29.741	-.496	-21.426	-.195
100.00	-20.771	-.061	-17.392	-.174
102.50	-23.756	.188	-17.227	.277
105.00	-35.177	.962	-29.970	-.240
107.50	-35.821	.548	-33.535	1.768
110.00	-30.362	.305	-20.295	.341
112.50	-30.815	-.375	-22.816	.132
115.00	-36.066	.510	-28.879	.722
117.50	-36.432	-.605	-31.295	-1.116
120.00	-38.728	-.642	-21.117	.214
122.50	-33.465	-.115	-22.788	.096
125.00	-37.898	.885	-33.203	1.459
127.50	-38.384	.214	-27.015	-.296
130.00	-35.307	.617	-30.269	.019
132.50	-46.905	-1.733	-23.631	-.484

Corte en FI=90 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-37.155	.174	-31.066	-.136
47.50	-32.950	.434	-30.032	.963
50.00	-31.936	-.471	-32.365	-1.395
52.50	-35.249	-.471	-27.898	.268
55.00	-27.164	-.033	-24.450	-.428
57.50	-42.141	.970	-43.069	-5.564
60.00	-27.312	.399	-22.282	-.079
62.50	-36.324	-.374	-30.483	.816
65.00	-26.567	-.066	-23.302	.197
67.50	-38.582	-.410	-26.339	-.039
70.00	-33.000	.147	-22.389	.450
72.50	-34.381	.235	-33.120	.810
75.00	-27.900	.030	-21.368	.339
77.50	-30.411	.229	-24.261	.193
80.00	-28.557	-.104	-15.032	-.010
82.50	-25.865	.151	-20.204	.110
85.00	-24.637	-.130	-15.149	.092
87.50	-21.064	-.070	-9.159	.157
90.00	-15.969	.045	-1.191	.015
92.50	-22.405	.130	-4.122	.005
95.00	-47.545	1.175	-35.360	1.724
97.50	-38.351	.836	-22.745	.069
100.00	-31.033	-.177	-15.089	-.156
102.50	-38.150	-.674	-16.885	.341
105.00	-37.744	.787	-30.880	.475
107.50	-38.467	.098	-46.252	1.899
110.00	-35.317	.033	-18.710	.174
112.50	-35.055	-.226	-21.631	.124
115.00	-37.690	.611	-32.274	.462
117.50	-45.654	-.562	-32.312	-1.373
120.00	-33.769	.580	-20.211	.277
122.50	-38.689	-1.136	-22.906	-.027
125.00	-39.274	-.403	-32.508	1.120
127.50	-36.726	-.191	-29.438	-.511
130.00	-46.150	2.103	-35.697	.309
132.50	-39.740	-.024	-24.342	-.476

Por otra parte, en el máximo de offset la antena presenta un radio mayor de 65 cm., presenta un radio de unos 90 cm, que es el que hay que tener en cuenta para las consideraciones sobre el efecto de la sonda.



El ángulo α con que la sonda ve a la antena de medida es apreciable, de casi 10° , luego sí que habrá un pequeño efecto de distorsión de sonda.

Para comprobar este efecto se genera un nuevo campo, que será la transformación a campo lejano por medio del programa SNIFTD del campo cercano medido al que se le introduce corrección de sonda. Si ésta no fuera necesaria, el resultado sería lógicamente el mismo que sin corrección, el campo *p4snf*, pero veremos que no es así. La siguiente tabla compara los valores de la transformación sin corrección, Ecp y Exp, con los de la transformación con corrección.

El fichero de coeficientes de corrección es el correspondiente a una sonda que sólo propague modos azimutales $m=\pm 1$, en concreto una bocina cónica linealmente polarizada excitada por el modo TE_{11} .

Se toma NYMAXI=15.

CAMPO TEÓRICO CERCANO
TRANSFORMADO A CAMPO LEJANO POR
SNIFTD vs.
CAMPO TEÓRICO CERCANO +
CORRECCIÓN SNIFTD Y TRANSFORMADO
A CAMPO LEJANO.

Corte en FI=0 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-33.156	.038	-33.855	-.091
47.50	-33.225	.222	-33.715	-.104
50.00	-34.290	.060	-36.676	-.088
52.50	-28.357	.058	-41.830	-.102
55.00	-28.234	.074	-36.512	-.111
57.50	-33.621	-.120	-36.154	-.133
60.00	-23.142	.056	-37.578	-.068
62.50	-29.701	.095	-44.324	-.101
65.00	-22.006	.127	-40.220	.033
67.50	-24.853	-.042	-40.543	.004
70.00	-18.384	.135	-41.742	-.010
72.50	-24.687	.063	-56.137	-.143
75.00	-19.401	.259	-45.319	.271
77.50	-22.206	-.179	-41.686	-.088
80.00	-12.968	.127	-37.427	-.019
82.50	-17.649	-.049	-48.280	-.296
85.00	-14.306	.346	-59.073	.454
87.50	-7.422	-.157	-44.687	.070
90.00	-.007	.000	-48.662	.216
92.50	-2.938	-.063	-38.049	-.015
95.00	-27.369	-2.520	-38.402	.003
97.50	-23.927	.769	-50.582	.342
100.00	-12.837	.122	-37.502	.014
102.50	-14.275	-.013	-37.966	-.092
105.00	-24.065	.502	-40.699	-.217
107.50	-35.737	-.651	-39.589	-.139
110.00	-15.871	.117	-40.248	.003
112.50	-20.842	-.026	-43.767	-.015
115.00	-26.342	.469	-43.193	.072
117.50	-46.228	1.044	-42.585	.041
120.00	-20.748	.078	-38.703	-.026
122.50	-22.682	-.053	-42.591	-.072
125.00	-31.902	.143	-43.155	-.113
127.50	-31.678	.180	-45.971	-.237
130.00	-32.499	.134	-43.124	-.142
132.50	-28.631	.035	-37.419	-.129

Corte en FI=45 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-31.618	.049	-40.751	.241
47.50	-31.495	.102	-37.194	.281
50.00	-32.676	.235	-40.345	.315
52.50	-25.357	-.080	-32.276	-.021
55.00	-20.720	.019	-29.894	.055
57.50	-32.790	-.231	-32.819	-.192
60.00	-20.430	.072	-29.803	.169
62.50	-32.918	.276	-30.811	.073
65.00	-20.278	.116	-32.615	-.128
67.50	-27.155	-.016	-28.297	-.026
70.00	-21.164	.141	-30.738	.158
72.50	-35.691	-.051	-29.109	.024

75.00	-24.255	.337	-27.367	.029
77.50	-25.317	-.064	-32.326	-.343
80.00	-18.418	.133	-20.952	.104
82.50	-18.173	-.060	-40.965	-.165
85.00	-16.931	.255	-21.926	.368
87.50	-13.892	-.124	-15.333	-.263
90.00	-6.919	.010	-5.301	-.004
92.50	-11.243	-.087	-6.584	-.037
95.00	-33.736	-1.049	-25.428	-1.191
97.50	-30.237	-.538	-21.622	.396
100.00	-20.832	.095	-17.566	.139
102.50	-23.568	-.143	-16.950	.056
105.00	-34.214	.541	-30.210	.763
107.50	-35.273	-.346	-31.767	.541
110.00	-30.057	.190	-19.954	.109
112.50	-31.190	-.080	-22.684	.036
115.00	-35.556	-.543	-28.157	.364
117.50	-37.037	-.205	-32.411	-.131
120.00	-39.370	-.210	-20.903	.032
122.50	-33.580	-.171	-22.691	-.003
125.00	-37.013	.305	-31.744	.281
127.50	-38.170	.010	-27.311	.082
130.00	-34.691	.102	-30.250	.078
132.50	-48.637	.537	-24.115	-.012

Corte en FI=90 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-36.981	-.043	-31.203	.011
47.50	-32.516	-.017	-29.069	.181
50.00	-32.407	.044	-33.760	.167
52.50	-35.720	-.096	-27.631	-.002
55.00	-27.197	.036	-24.878	.075
57.50	-41.172	-.094	-48.633	-.958
60.00	-26.913	.083	-22.361	.106
62.50	-36.698	-.129	-29.667	.191
65.00	-26.632	.074	-23.106	.180
67.50	-38.992	-.183	-26.378	-.088
70.00	-32.853	.278	-21.939	.211
72.50	-34.146	-.046	-32.310	.131
75.00	-27.870	.100	-21.029	.251
77.50	-30.181	-.071	-24.067	-.145
80.00	-28.661	.224	-15.042	.130
82.50	-25.714	-.001	-20.094	-.080
85.00	-24.767	.195	-15.057	.334
87.50	-21.135	-.086	-9.002	-.168
90.00	-15.925	.011	-1.176	.004
92.50	-22.275	-.122	-4.117	-.060
95.00	-46.370	-.613	-33.636	-5.502
97.50	-37.515	-.202	-22.675	.534
100.00	-31.210	.107	-15.245	.159
102.50	-38.824	-.427	-16.544	.010
105.00	-36.957	.245	-30.405	1.028
107.50	-38.369	-.332	-44.353	-1.093
110.00	-35.283	-.012	-18.537	.099
112.50	-35.281	-.020	-21.507	-.010
115.00	-37.080	-.236	-31.813	.548
117.50	-46.215	-.263	-33.684	-.617
120.00	-33.190	-.019	-19.934	.054
122.50	-39.824	-.025	-22.933	-.039
125.00	-39.678	-.058	-31.387	.315
127.50	-36.917	-.011	-29.949	.139
130.00	-44.047	-.230	-30.388	.077
132.50	-39.764	-.113	-24.519	.001

Se observa que hay tres puntos en estos cortes en los que se producen errores de cierta consideración si corregimos el campo medido idealmente, lo cual quiere decir que la corrección de sonda sí tiene cierta relevancia en este caso y para esta distancia.

Existe la posibilidad de simular, a partir de un campo teórico, o bien de un campo medido con una sonda ideal –como es el caso–, el campo que habría medido una bocina cónica linealmente polarizada excitada por el modo TE_{11} , es decir, una sonda cuyo efecto somos capaces de corregir (puesto que sólo propaga modos azimutales $m=\pm 1$).

Esta simulación se lleva a cabo por medio de otra versión del programa EXPAND que efectúa el proceso inverso a la corrección de sonda e introduce por consiguiente el efecto de la sonda, consiste básicamente en lo que podría denominarse “descorrección”. Conseguimos por tanto el campo medido en la bocina (*p4b*, *p4b.rnf*, *p4b.bnf*).

El siguiente paso es corregir este campo con EXPAND y con SNIFTD, obteniendo los campos *p4f* y *p4c* respectivamente, y comparar sus resultados.

Donde mejor se ven los errores es en la comparación numérica. Se muestran a continuación las dos tablas que se obtienen:

CAMPO TEÓRICO CERCANO
TRANSFORMADO A CAMPO LEJANO POR
SNIFTD vs.
CAMPO CERCANO CON EFECTO SONDA+
CORRECCIÓN SNIFTD Y TRANSFORMADO
A CAMPO LEJANO.

Corte en FI=0 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-33.156	-.120	-33.855	-.016
47.50	-33.225	-.135	-33.715	-.011
50.00	-34.290	-.133	-36.676	-.007
52.50	-28.357	-.034	-41.830	-.032
55.00	-28.234	-.011	-36.512	-.084
57.50	-33.621	-.087	-36.154	-.018
60.00	-23.142	-.035	-37.578	.093
62.50	-29.701	-.119	-44.324	-.035
65.00	-22.006	-.065	-40.220	.242
67.50	-24.853	-.152	-40.543	.098
70.00	-18.384	.069	-41.742	-.073
72.50	-24.687	.070	-56.137	-.249
75.00	-19.401	-.209	-45.319	.512
77.50	-22.206	.000	-41.686	-.081
80.00	-12.968	-.090	-37.427	.042
82.50	-17.649	.047	-48.280	-.368
85.00	-14.306	-.187	-59.073	-.444
87.50	-7.422	.047	-44.687	.422
90.00	-.007	.000	-48.662	.293
92.50	-2.938	-.042	-38.049	.167
95.00	-27.369	.896	-38.402	.047
97.50	-23.927	-.075	-50.582	.310
100.00	-12.837	-.016	-37.502	.068
102.50	-14.275	-.086	37.966	.026
105.00	-24.065	.303	-40.699	-.251
107.50	-35.737	-.705	-39.589	-.048
110.00	-15.871	.016	-40.248	.246
112.50	-20.842	-.109	-43.767	-.122
115.00	-26.342	-.159	-43.193	.082
117.50	-46.228	-2.714	-42.585	.055
120.00	-20.748	-.007	-38.703	.060
122.50	-22.682	-.115	-42.591	-.035
125.00	-31.902	.291	-43.155	-.124
127.50	-31.678	.004	-45.971	-.068
130.00	-32.499	.012	-43.124	.107
132.50	-28.631	-.013	-37.419	.072

Corte en FI=45 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-31.618	.011	-40.751	-.118
47.50	-31.495	-.123	-37.194	.351
50.00	-32.676	-.104	-40.345	.283
52.50	-25.357	-.075	-32.276	.175
55.00	-20.720	-.002	-29.894	.547
57.50	-32.790	-.041	-32.819	.135
60.00	-20.430	.025	-29.803	-.742
62.50	-32.918	.243	-30.811	-.351
65.00	-20.278	.070	-32.615	-1.247
67.50	-27.155	-.003	-28.297	-.218
70.00	-21.164	.074	-30.738	.286
72.50	-35.691	-.153	-29.109	-.028

75.00	-24.255	.162	-27.367	-.739
77.50	-25.317	.086	-32.326	-.077
80.00	-18.418	.042	-20.952	-.298
82.50	-18.173	-.015	-40.965	1.666
85.00	-16.931	.023	-21.926	-.516
87.50	-13.892	.039	-15.333	.062
90.00	-6.919	.005	-5.301	-.010
92.50	-11.243	-.082	-6.584	-.021
95.00	-33.736	-1.553	-25.428	.331
97.50	-30.237	-1.036	-21.622	.084
100.00	-20.832	-.082	-17.566	.007
102.50	-23.568	-.457	-16.950	.014
105.00	-34.214	.775	-30.210	.101
107.50	-35.273	-.995	-31.767	.044
110.00	-30.057	.210	-19.954	.007
112.50	-31.190	-.335	-22.684	-.008
115.00	-35.556	-.299	-28.157	.008
117.50	-37.037	.299	-32.411	.041
120.00	-39.370	-1.581	-20.903	.001
122.50	-33.580	-.140	-22.691	.017
125.00	-37.013	.404	-31.744	.042
127.50	-38.170	.634	-27.311	-.024
130.00	-34.691	-.038	-30.250	-.026
132.50	-48.637	2.293	-24.115	.002

Corte en FI=90 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-36.981	.045	-31.203	-.102
47.50	-32.516	-.118	-29.069	.028
50.00	-32.407	.028	-33.760	-.117
52.50	-35.720	-.100	-27.631	.001
55.00	-27.197	.025	-24.878	.003
57.50	-41.172	.067	-48.633	.707
60.00	-26.913	.021	-22.361	-.034
62.50	-36.698	-.153	-29.667	-.105
65.00	-26.632	-.010	-23.106	-.097
67.50	-38.992	-.215	-26.378	-.166
70.00	-32.853	-.037	-21.939	.097
72.50	-34.146	.030	-32.310	.075
75.00	-27.870	.012	-21.029	-.183
77.50	-30.181	-.047	-24.067	.082
80.00	-28.661	.047	-15.042	-.124
82.50	-25.714	-.022	-20.094	.068
85.00	-24.767	-.048	-15.057	-.209
87.50	-21.135	-.005	-9.002	.052
90.00	-15.925	-.019	-1.176	-.002
92.50	-22.275	-.050	-4.117	-.038
95.00	-46.370	-3.390	-33.636	1.590
97.50	-37.515	.620	-22.675	-.115
100.00	-31.210	-.111	-15.245	-.011
102.50	-38.824	-.800	-16.544	-.080
105.00	-36.957	.282	-30.405	-.074
107.50	-38.369	-.573	-44.353	-1.569
110.00	-35.283	.569	-18.537	.008
112.50	-35.281	.187	-21.507	-.102
115.00	-37.080	-.364	-31.813	-.405
117.50	-46.215	-.577	-33.684	-.072
120.00	-33.190	.230	-19.934	-.014
122.50	-39.824	.346	-22.933	-.056
125.00	-39.678	.247	-31.387	.219
127.50	-36.917	.290	-29.949	-.018
130.00	-44.047	-.518	-30.388	.006
132.50	-39.764	.074	-24.519	-.030

CAMPO TEÓRICO CERCANO
TRANSFORMADO A CAMPO LEJANO POR
SNIFTD vs.
CAMPO CERCANO CON EFECTO SONDA+
CORRECCIÓN EXPAND Y TRANSFORMADO
A CAMPO LEJANO.

Corte en FI=0 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-33.156	-.019	-33.855	-.017
47.50	-33.225	-.011	-33.715	-.019
50.00	-34.290	.062	-36.676	.049
52.50	-28.357	.003	-41.830	.022
55.00	-28.234	-.005	-36.512	-.007
57.50	-33.621	-.093	-36.154	-.040
60.00	-23.142	.004	-37.578	.045
62.50	-29.701	.009	-44.324	.032
65.00	-22.006	.023	-40.220	.007
67.50	-24.853	-.009	-40.543	-.031
70.00	-18.384	.001	-41.742	-.018
72.50	-24.687	-.009	-56.137	-.167
75.00	-19.401	-.010	-45.319	-.123
77.50	-22.206	.012	-41.686	-.019
80.00	-12.968	-.007	-37.427	-.005
82.50	-17.649	.002	-48.280	.185
85.00	-14.306	-.001	-59.073	-.540
87.50	-7.422	-.001	-44.687	-.005
90.00	-.007	.001	-48.662	-.030
92.50	-2.938	.000	-38.049	.020
95.00	-27.369	.004	-38.402	-.052
97.50	-23.927	.014	-50.582	.232
100.00	-12.837	.003	-37.502	.013
102.50	-14.275	.000	-37.966	.018
105.00	-24.065	.002	-40.699	-.030
107.50	-35.737	-.041	-39.589	.039
110.00	-15.871	.001	-40.248	-.013
112.50	-20.842	-.005	-43.767	.046
115.00	-26.342	-.019	-43.193	-.020
117.50	-46.228	-.026	-42.585	.079
120.00	-20.748	-.006	-38.703	-.067
122.50	-22.682	.003	-42.591	.031
125.00	-31.902	-.078	-43.155	-.046
127.50	-31.678	.026	-45.971	.190
130.00	-32.499	-.030	-43.124	-.166
132.50	-28.631	.045	-37.419	.046

Corte en FI=45 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-31.618	-.018	-40.751	.087
47.50	-31.495	-.051	-37.194	.144
50.00	-32.676	.053	-40.345	-.166
52.50	-25.357	.000	-32.276	-.002
55.00	-20.720	.012	-29.894	-.011
57.50	-32.790	-.071	-32.819	.006
60.00	-20.430	.001	-29.803	.006
62.50	-32.918	-.016	-30.811	.038
65.00	-20.278	.000	-32.615	.046
67.50	-27.155	.012	-28.297	-.020
70.00	-21.164	.006	-30.738	.012
72.50	-35.691	-.042	-29.109	.004
75.00	-24.255	-.020	-27.367	-.037

77.50	-25.317	-.001	-32.326	-.008
80.00	-18.418	-.011	-20.952	-.008
82.50	-18.173	-.009	-40.965	.154
85.00	-16.931	.005	-21.926	.003
87.50	-13.892	-.002	-15.333	.008
90.00	-6.919	.003	-5.301	-.003
92.50	-11.243	-.002	-6.584	.002
95.00	-33.736	.024	-25.428	.014
97.50	-30.237	-.046	-21.622	.022
100.00	-20.832	-.005	-17.566	.013
102.50	-23.568	.002	-16.950	.002
105.00	-34.214	.067	-30.210	.048
107.50	-35.273	.070	-31.767	-.036
110.00	-30.057	-.021	-19.954	-.003
112.50	-31.190	-.031	-22.684	.004
115.00	-35.556	.094	-28.157	-.003
117.50	-37.037	-.058	-32.411	.030
120.00	-39.370	-.031	-20.903	.007
122.50	-33.580	.021	-22.691	-.028
125.00	-37.013	-.015	-31.744	-.068
127.50	-38.170	-.006	-27.311	.001
130.00	-34.691	.035	-30.250	-.061
132.50	-48.637	.495	-24.115	.035

Corte en FI=90 grados

THETA Ecp(dB) error(dB)Exp(dB)error(dB)

45.00	-36.981	.098	-31.203	-.028
47.50	-32.516	.105	-29.069	.005
50.00	-32.407	-.084	-33.760	-.027
52.50	-35.720	-.006	-27.631	-.017
55.00	-27.197	-.039	-24.878	.007
57.50	-41.172	.147	-48.633	.117
60.00	-26.913	.011	-22.361	.004
62.50	-36.698	.130	-29.667	-.001
65.00	-26.632	.022	-23.106	.004
67.50	-38.992	-.098	-26.378	.008
70.00	-32.853	-.010	-21.939	.001
72.50	-34.146	-.022	-32.310	.006
75.00	-27.870	-.013	-21.029	-.006
77.50	-30.181	-.005	-24.067	.008
80.00	-28.661	.049	-15.042	-.006
82.50	-25.714	.040	-20.094	.003
85.00	-24.767	-.002	-15.057	-.001
87.50	-21.135	.008	-9.002	.000
90.00	-15.925	-.009	-1.176	.000
92.50	-22.275	.009	-4.117	.000
95.00	-46.370	-.342	-33.636	.007
97.50	-37.515	-.071	-22.675	.012
100.00	-31.210	.025	-15.245	.004
102.50	-38.824	.028	-16.544	-.001
105.00	-36.957	-.108	-30.405	.023
107.50	-38.369	-.055	-44.353	-.085
110.00	-35.283	.042	-18.537	.002
112.50	-35.281	.022	-21.507	-.013
115.00	-37.080	-.147	-31.813	-.059
117.50	-46.215	-.156	-33.684	.028
120.00	-33.190	-.040	-19.934	-.005
122.50	-39.824	.214	-22.933	.008
125.00	-39.678	.145	-31.387	-.042
127.50	-36.917	.004	-29.949	.006
130.00	-44.047	-.483	-30.388	-.015
132.50	-39.764	.034	-24.519	.019

En esta transformación, corrección de campo con efecto sonda, no se obtienen errores de consideración con ninguno de los dos programas que estamos comparando.

El hecho de que los resultados sean muy similares significa que la corrección también lo es. EXPAND ofrece unos resultados comparables a los que produce SNIFTD.

7. REFERENCIAS

{1} Spherical Near-Field Antenna Measurements.

Edited by J.E. Hansen

Contributing authors: J. Hald, J. E. Hansen, F. Jensen, F. Holm Larsen.

IEE Electromagnetic Waves. Series 26.

Peter Peregrinus Ltd. 1988.

{2} Time-harmonic Electromagnetic Fields.

Roger F. Harrington.

McGraw-Hill. 1961.

8. APÉNDICES

8.1 POTENCIA CALCULADA.

El flujo de potencia de un campo electromagnético se describe mediante el vector complejo de Poynting definido como:

$$\langle \bar{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \quad (8.1)$$

La potencia media radiada por la antena se puede escribir a partir del vector de Poynting mediante:

$$P = \frac{1}{2} \oint_s \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) ds \quad (8.2)$$

En campo lejano, referido a una fuente, el vector complejo de Poynting sólo tiene componente real, de modo que se puede expresar la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en la dirección (θ, ϕ) , o intensidad de radiación, como:

$$U(\theta, \phi) = \frac{1}{2\eta} |\bar{E}|^2 r^2 \quad \text{wattios/srad} \quad (8.3)$$

con $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$, impedancia del medio, que se considerará el vacío.

La potencia total se obtiene integrando la intensidad de radiación sobre un ángulo sólido completo de 4π estereoradianes:

$$P = \oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta \, d\theta d\phi \quad (8.4)$$

Con las expresiones anteriores y operando con el campo \bar{E} en función de sus modos esféricos, que en este caso se han normalizado, se llega a una expresión que permite calcular la potencia total radiada:

$$P = \frac{\lambda^2}{120\pi^3} \sum_m \sum_n \left(|\tilde{a}_{mn}|^2 + |\tilde{b}_{mn}|^2 \right) \text{ watios.} \quad (8.5)$$

Es de destacar el hecho de que el flujo complejo de potencia de cada modo es independiente de los demás, por lo que puede ser normalizado con respecto a los subíndices m y n .

Por definición, el origen del sistema de coordenadas $r=0$ se sitúa en el centro de rotación usado para obtener los diagramas experimentales. Esto corresponde a un desplazamiento del origen de coordenadas.

La traslación del origen tiene efectos sobre el diagrama de fase, y esto implica un nuevo conjunto de coeficientes de modos esféricos. En cambio, se necesitan menos modos cuando el centro de fases se sitúa en el plano de la apertura para alcanzar un alto porcentaje de potencia radiada.

Debido a la dificultad de encontrar en la práctica el centro de fases, se suele optar por realizar todos los cálculos referidos al origen en el plano de la apertura. En este caso, el tamaño de la esfera mínima necesario depende directamente de la apertura.

Truncamiento de la serie de modos en N :

Cada modo M presenta una serie finita de modos N que lo forman, y por tanto es susceptible de ser calculado dicho número finito, en función de la potencia que contienen. Esta operación es el llamado truncamiento de la serie de modos en N , y es posible realizarlo mediante el procedimiento que se relata a continuación.

La potencia total radiada se puede calcular como:

$$P = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (\vec{E} \times \vec{H}^*) \cdot \hat{r} r^2 \sin\theta \, d\theta d\phi \quad (8.6)$$

Una vez obtenida la variación en ϕ es posible calcular la potencia total realizando la integral en θ , pero la variación en ϕ no son sino las integrales $A_m(\theta)$ y $B_m(\theta)$, en las cuales sólo interviene el campo eléctrico. Dejando a un lado los factores constantes, y operando con el campo eléctrico, se obtiene:

$$P = \sum_{m=-M}^M \int_0^\pi \left(|A_m(\theta)|^2 + |B_m(\theta)|^2 \right) \sin \theta d\theta = \sum_{m=-M}^M W^m \quad (8.7)$$

donde se observa que la potencia total es la suma de la potencia contenida en cada modo M. La integral definida es realizada en la práctica por medio de integración de Gauss-Legendre.

Ahora bien, cada modo M contiene una serie de modos en N, partiendo de N=M hasta un número Nmax(M) que es el que se desea encontrar.

La potencia de cada modo N queda:

$$W^m = \sum_{n=|m|}^N \left(|a'_{mn}|^2 + |b'_{mn}|^2 \right) \frac{2n(n+1)}{2n+1} \frac{(n+|m|)!}{(n-|m|)!} = \sum_{n=|m|}^N W_n^m \quad (8.8)$$

donde la potencia de los modos en M se puede conseguir mediante la suma de potencias de los modos en N que lo contienen.

Una vez conseguidos los coeficientes de la expansión en modos esféricos es fácil la descomposición en factores de la expresión anterior. En la práctica no se calcula dicha expresión a través de los coeficientes, sino que se hace mediante las integrales de ortogonalidad, cuyo valor también es conocido. De ese modo, se obtienen las siguientes expresiones:

$$FACT = \frac{2n(n+1)}{2n+1} \frac{(n+|m|)!}{(n-|m|)!} \quad (8.9)$$

$$|a'_{mn}|^2 = \frac{(P_{mn}^a)^2}{FACT^2} \quad |b'_{mn}|^2 = \frac{(P_{mn}^b)^2}{FACT^2} \quad (8.10)$$

$$W_n^m = \frac{(P_{mn}^a)^2 + (P_{mn}^b)^2}{FACT} \quad (8.11)$$

De ese modo, una vez establecida la potencia de los modos en M, y realizando el sumatorio de los modos en N que contiene hasta alcanzar un porcentaje estipulado (que en el programa está fijado como 99.95 %). Esta operación se repite tantas veces como modos M existan.

APÉNDICE II.

CAMBIOS INTRODUCIDOS (Sept. 99).

1. THGAIN, PHGAIN.

No son parámetros irrelevantes para EXPAND (*pg. 15*), el cual, además de presentar en el fichero de salida la directividad máxima y los valores de theta y phi en que se produce, incluye la directividad en la dirección deseada (thgain, phgain).

2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE RECEPCIÓN.

El parámetro de polarización circular no se considera igual a la unidad (*pg. 40*) sino que se calcula en el modo calibrado de sonda (PRCOEF = 'PROB') y se incluye como primer valor en el fichero de salida de coeficientes de recepción, al igual que hace el programa SNIFTD.

Para ello es necesario, debido al algoritmo de cálculo, la dirección de máxima radiación (parámetros THGAIN y PHGAIN). Si no son conocidos es fácil su cálculo transformando el campo de la sonda a campo lejano (en el modo normal de funcionamiento, PRCOEF \neq 'PROB').

Esto no acarrea pérdida significativa de tiempo dado que el número de modos necesario para la transformación de campo de sonda es pequeño, cuando menos en sus modos azimutales ($m \leq 4$).

3. NEAR FIELD VALUE.

Se incluye en el fichero de información de salida el valor del campo cercano en la dirección deseada (thgain, phgain) en dB.

4. FAR FIELD/NEAR FIELD RATIO.

Se calcula, para esa misma dirección (thgain, phgain), el valor del campo lejano y se presenta la diferencia entre este valor y el valor en campo cercano en dB.

5. VELOCIDAD DEL PROGRAMA EXPAND.

La velocidad de ejecución de EXPAND, aceptable para un número pequeño de modos, disminuye rápidamente para un número de modos significativamente alto ($N, M > 80$ u 85). Una forma de evitar pérdidas de tiempo en estos casos es aprovecharse de una de las ventajas que ofrece EXPAND frente a otros programas más veloces (*ver punto siguiente*).

6. ANÁLISIS DE POTENCIA. NÚMERO NECESARIO DE MODOS.

El análisis de potencia que se incluye en el fichero de información de salida (*pg. 20*) comprende el truncamiento de la serie de modos en N (N-Mode Power Truncation) y los análisis de modos en M (M-Mode Analysis) y en N (N-Mode Analysis).

La diferencia entre los valores relativos de potencia calculados por medio de estos dos últimos métodos se saca en el epígrafe siguiente 'Difference A-B =' (*pg. 25*). Si esta diferencia de potencias es menor del 0.25% se considera satisfactorio el resultado. Si no es así, el resultado es incorrecto y es debido a que se ha elegido un número de modos inferior al necesario para los cálculos. El programa EXPAND detecta esta circunstancia y aparece en pantalla el mensaje 'NOT SUFFICIENTE NUMBER OF MODES', de manera que se pueda abortar la ejecución y volver a correr el programa inmediatamente y sin pérdida de tiempo con un número de modos superior.

Por otra parte, cuando el programa acaba de calcular la potencia se presenta en pantalla el mensaje 'POWER ANALYSIS FINISHED'. Esto es útil para conocer el número de modos necesario para los cálculos sin tener que esperar al fin de la ejecución del programa.

Dado que EXPAND pierde mucha velocidad de cálculo cuando el número de modos es alto ($N, M > 80$), es aconsejable en este caso abortar la ejecución en cuanto se vea en

pantalla el mensaje 'POWER ANALYSIS FINISHED' y comprobar en el fichero de información de salida cuantos modos en N y M son estrictamente necesarios (aquellos para los que el porcentaje acumulado de potencia no supere el 99.99%, o el valor de su potencia en dB no sea menor de .01 dB).

Por ejemplo, en el fichero de información de la *pg. 20* vemos que nos basta ejecutar EXPAND con M-Modes = 6 (*pg. 22*) y N-Modes = 49 (*pg. 24*). Si ejecutamos EXPAND con este número de modos obtendremos un resultado satisfactorio, en el que el apartado 'Difference A-B' es menor del 0.25% necesario.

7. FICHEROS AUXILIARES DE ENTRADA Y SALIDA ASCII.

El programa EXPAND funciona mucho más eficientemente con el apoyo de tres ficheros ASCII auxiliares que son:

Filein: fichero de entrada.

Fileout: fichero de salida.

Fcoef: fichero que contiene los coeficientes de onda necesarios para obtener la salida.

Estos tres ficheros se almacenan en un directorio de ficheros temporales /TMP/, que debe existir previamente a la ejecución del programa.