ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"Características exactas de una Interfaz de Guías de Onda Rectangulares para Aplicaciones de Hipertermia con Microondas"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION: ELECTRONICA

Presentada por:

EDISON EGAS CARRASCO

Guayaquil - Ecuador

1989

Ing. Jorge Flores
SUB-DECANO

Ing. Carlos Becerra
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Yapur
M. PRINCIPAL

Ing. Rodrigo Berrezueta
M. PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ".

(Reglamento de Examenes y Titulos profesionales de la ESPOL)

....

RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo el diseño (ayudado por computadora) de aplicadores de guía rectangular, para uso en hipertermia de microondas en terapia de tumores locales.

La tesis está dividida básicamente en tres partes: la primera corresponde a bases teóricas en la cual se sustenta este estudio; la segunda parte se dedica a la elaboración de programas en lenguaje FORTRAN en el computador IBM /4341. Por último se realiza una reseña de algunos tratamientos antineoplásicos.

El primer capítulo nos da la teoría necesaria para enfocar los capítulos dos y tres. Es por esto que podremos observar manejo de integrales, sumatorios y principalmente relaciones matriciales.

El capítulo siguiente nos sirve como una especie de preparación para luego tratar el objetivo central de esta tesis; nos ayuda para familiarizarnos con la estructura matricial de los programas posteriores.

El tercer capítulo desarrolla un programa en el ordenador, para conocer a fondo el comportamiento de una apertura o discontinuidad aplicador-tejido biológico y

lograr importantes resultados.

El último capítulo, como se mencionara anteriormente, compara el tratamiento hipertérmico con otras técnicas antineoplásicas, describiéndolas en forma general.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

Dia a dia se investigan y prueban nuevas formulas destinadas al tratamiento antineoplasico, con el fin de erradicar en lo posible este mal que agobia al hombre desde una epoca desconocida.

Las técnicas antineoplásicas convencionales que se usan frecuentemente tratan de eliminar las células tumorales ya sea a través de radiación o quimioterapia. La cirugía es una técnica tambien usada. Al aplicar radiación por un cierto tiempo, unas células mueren y otras resisten a la cantidad de radiación empleada. Algo similar ocurre al elevar la temperatura de los tejidos, es decir, se produce la mortalidad de un gran número de células preferentemente las malignas con una supervivencia en mínimas cantidades. Por tal motivo se esta usando la hipertermia para agregarla a la quimioterapia o radioterapia con el propósito de obtener resultados óptimos en el tratamiento de tumores localizados.

Existen muchos métodos con fines hipertérmicos, entre los cuales podemos mencionar al efectuado con microondas y con ultrasonido. En el campo de las microondas, son conocidas las guías de ondas rectangulares, las que se usan para propagar energía electromagnética a alta frecuencia. Estas guías de onda nos van a servir para formar una interfaz capaz de tratar a un tejido biológico como una guía de onda de grandes dimenciones y esta acoplarla a una guía de menor sección transversal; como podemos notar, con dos guías de onda formamos un modelo para fines hipertérmicos. De esta manera, el tejido recibe energía electromagnética, la cual se transforma en energía térmica dentro de la masa biológica. Como es lógico, esta energía es transmitida a través de la guía de onda de menor área.

Realizando un análisis modal para la discontinuidad aplicador-tejido se llega a conocer de manera exacta la energía propagada al tejido; para esto, se elabóro un programa en el computador IBM /4341, lo cual constituye el aporte fundamental de este estudio.

La energía que se propaga en el aplicador lo hace en forma de modos TE o TM, de igual forma en la guía de sección transversal superior, debiendo considerar en esta propagación modos evanescentes y propagantes. Lo ideal, es trabajar con la mayor cantidad de modos posibles existiendo en la guía grande(tejido), pero esto causa el incremento de memoria del ordenador y tambien del tiempo de ejecución del programa.

En definitiva, los programas ayudan en función de los resultados, a observar en buena forma el comportamiento de una apertura claramente definida por un aplicador y tejidos biológicos conformados de piel y grasa o piel y músculo.

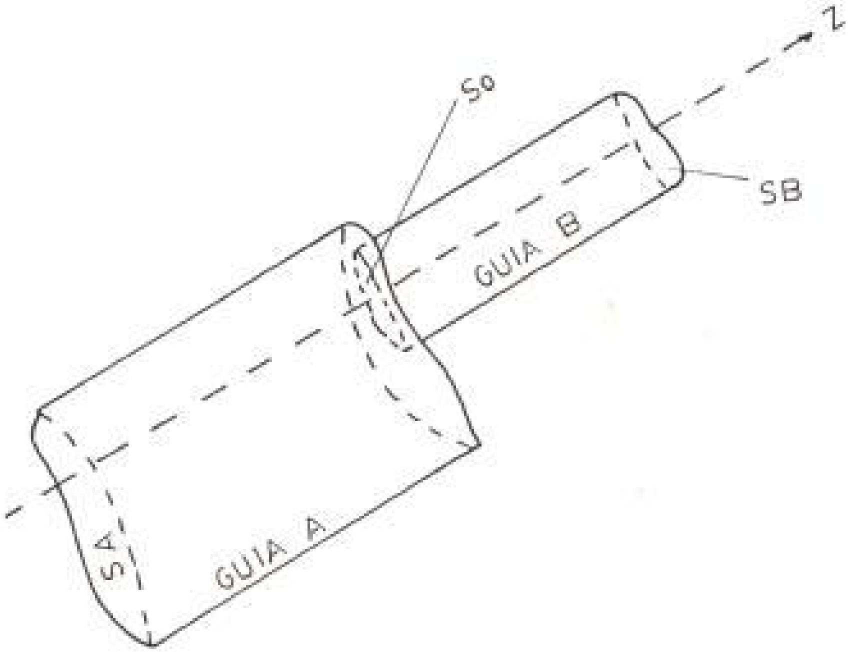
CAPITULO I

FORMULACION TEORICA DE LAS CARACTERISTICAS DE LA INTERFAZ

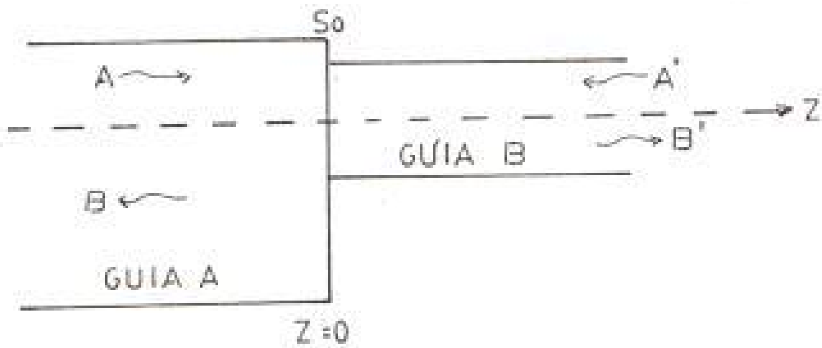
1.1 ANALISIS MODAL DE LA UNION DE LAS GUIAS

Este capítulo hace énfasis en un análisis teórico de la interfaz de las guías de onda las cuales serán del tipo rectangular. Las características que presente la discontinuidad se desarrolla en base a la geometría, modos que inciden, reflejan o transmiten en las guías de onda rectangular.

En la figura 1.1 se muestra una discontinuidad de dos guías A y B respectivamente, en donde pueden incidir campos eléctricos y magnéticos asociados a diferentes número de modos. Se puede irradiar energía en las guías A o B, lo que da como resultado propagación en dirección +z y reflexión en dirección -z si el generador se ubica en la guía A; pero si la fuente se coloca en la guía B los campos se propagan en dirección -z y se reflejan en dirección +z, todo esto dependiendo de las características de las guías de onda. Los campos transversales incidentes se pueden definir de la siguiente forma:



(a)



(b)

SA=Sección transversal de la guía A
SB=Sección transversal de la guía B
So=Sección trasversal común a las dos guías.

Fig. 1.1 Discontinuidad formada por dos guías con diferentes secciones transversales. (a) vista parcial, (b) vista axial.

$$\hat{E}_A = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \hat{e}_{ai} \cdot e^{-\Gamma_{ai} \cdot z} \qquad (1)$$

$$\hat{H}_A = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \hat{h}_{ai} \cdot e^{-\Gamma_{ai} \cdot z} \qquad (2)$$

$$\hat{E}_B = \sum_{j=1}^{\infty} a'_j \cdot \hat{e}_{bj} \cdot e^{\Gamma_{bj} \cdot z} \qquad (3)$$

$$\hat{H}_B = \sum_{j=1}^{\infty} -a'_j \cdot \hat{h}_{bj} \cdot e^{\Gamma_{bj} \cdot z} \qquad (4)$$

donde:

a_i: amplitud del modo i de la guia A (valores conocidos)

$\hat{e}_{ai}$: campo eléctrico transversal del modo i de la guia A

Γ_{ai} : constante de propagación del modo i de la guia A

$\hat{h}_{ai}$: campo magnético transversal del modo i de la guia A

$\hat{z}$: dirección de propagación positiva

a'_j: amplitud del modo j de la guia B (valores conocidos)

$\hat{e}_{bj}$: campo eléctrico transversal del modo j de la guia B

Γ_{bj} : constante de propagación del modo j de la guia B

$\hat{h}_{bj}$: campo magnético transversal del modo j de la guía B

$\hat{z}$: dirección de propagación negativo

de manera similar los campos transversales que se transmiten si el generador estuviese acoplado a la guía A, y que serían los modos reflejados si este se ubicara en la guía B:

$$\hat{E}_B = \sum_{j=1}^{\infty} b'j * \hat{e}_{bj} * e^{-\Gamma bj * z} \qquad (5)$$

$$\hat{H}_B = \sum_{j=1}^{\infty} b'j * \hat{h}_{bj} * e^{-\Gamma bj * z} \qquad (6)$$

donde:

b'j: amplitud del modo j de la guía B(valores desconocidos)

$\hat{e}_{bj}$: campo eléctrico transversal del modo j de la guía B

Γ_{bj} : constante de propagación del modo j de la guía B

$\hat{h}_{bj}$: campo transversal del modo j de la guía B

$-\hat{z}$: dirección de propagación positiva

Los campos transversales transmitidos si el generador lo consideramos ubicado en la guía B o reflejados si estuviese en la guía A son:

$$\hat{E}_A = \sum_{i=1}^{\infty} bi * \hat{e}_{ai} * e^{\Gamma ai*z} \qquad (7)$$

$$\hat{H}_A = \sum_{i=1}^{\infty} -bi * \hat{h}_{ai} * e^{\Gamma ai*z} \qquad (8)$$

donde:

bi: amplitud del modo i de la guía A (valores desconocidos)

$\hat{e}_{ai}$: campo eléctrico transversal del modo i de la guía A

Γ_{ai} : constante de propagación del modo i de la guía A

$\hat{h}_{ai}$: campo magnético transversal del modo i de la guía A

$\hat{z}$: dirección de propagación negativa

Para las definiciones expresadas anteriormente la propagación se considera positiva en el sentido definido en la figura 1.1; además la energía electromagnética considerada se constituye de modos TE y/o TM. Los campos transversales totales tanto para la guía A como para la guía B son:

Guía A(z≤0):

$$\hat{E}_A = \sum_{i=1}^{\infty} ai * \hat{e}_{ai} * e^{-\Gamma ai*z} + \sum_{i=1}^{\infty} bi * \hat{e}_{ai} * e^{\Gamma ai*z}$$

$$\hat{E}_A = \sum_{i=1}^{\infty} [ai * e^{-\Gamma ai*z} + bi * e^{\Gamma ai*z}]\hat{e}_{ai} \qquad (9)$$

$$\hat{H}_A = \sum_{i=1}^{m} a_i \hat{h}_{ai} e^{-\Gamma_{ai} z} + \sum_{i=1}^{m} b_i \hat{h}_{ai} e^{\Gamma_{ai} z}$$

$$\hat{H}_A = \sum_{i=1}^{m} (a_i e^{-\Gamma_{ai} z} - b_i e^{\Gamma_{ai} z}) \hat{h}_{ai} \qquad (10)$$

Guia B(z>0):

$$\hat{E}_B = \sum_{j=1}^{m} a'_j \hat{e}_{bj} e^{\Gamma_{bj} z} + \sum_{j=1}^{m} b'_j \hat{e}_{bj} e^{-\Gamma_{bj} z}$$

$$\hat{E}_B = \sum_{j=1}^{m} (a'_j e^{\Gamma_{bj} z} + b'_j e^{-\Gamma_{bj} z}) \hat{e}_{bj} \qquad (11)$$

$$\hat{H}_B = \sum_{j=1}^{m} -a'_j \hat{h}_{bj} e^{\Gamma_{bj} z} + \sum_{j=1}^{m} b'_j \hat{h}_{bj} e^{-\Gamma_{bj} z}$$

$$\hat{H}_B = \sum_{j=1}^{m} (-a'_j e^{\Gamma_{bj} z} + b'_j e^{-\Gamma_{bj} z}) \hat{h}_{bj} \qquad (12)$$

Aplicando las condiciones de frontera para los campos transversales eléctricos y magnéticos en la dicontinuidad de las guias (z=0),se derivan las siguientes expresiones:

en las ecuaciones (9) y (11):

$$\hat{E}_A\Big|_{z=0} = \hat{E}_B\Big|_{z=0} \quad \text{(area comun para las dos guias)}$$

$$\sum_{i=1}^{m} (a_i+b_i)\hat{e}_{ai} = \sum_{j=1}^{m} (a'_j+b'_j)\hat{e}_{bj} \qquad (13)$$

en las ecuaciones (10) y (12):

$$\hat{H}_A\Big|_{z=0} = \hat{H}_B\Big|_{z=0} \quad \text{(area común para las dos guias)}$$

$$\sum_{i=1}^{m} (a_i-b_i)\hat{h}_{ai} = \sum_{j=1}^{m} (-a'_j+b'_j)\hat{h}_{bj} \qquad (14)$$

Luego de haber empleado las condiciones de contorno, en las ecuaciones (13) y (14) podemos notar amplitudes de campos transversales conocidos y otras desconocidas; estos valores se los obtendrán más adelante (luego de haberse encontrado la matriz generaliza de dispersión MGS).

Para establecer relaciones matemáticas basadas en las condiciones de frontera anteriormente aplicadas, con el propósito de cuantificar la energía propagada en las dos guías procedemos a multiplicar las ecuaciones (13) y (14) por un campo vectorial h_{an} y e_{bn} respectivamente (constituyen modos auxiliares de orden n). Adicionalmente integramos en la discontinuidad z=0 (en el área común a las guías), para la ecuación (13):

$$\sum_{i=1}^{\infty} (a_i+b_i)^* \int_{S_0} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{an} \cdot d\hat{s} = \sum_{j=1}^{\infty} (a'_j+b'_j)^* \int_{S_0} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{an} \cdot d\hat{s}$$

por ortogonalidad:

$$\int_{S_A} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{an} \cdot d\hat{s} = 0 \text{ para } i \neq n$$

y conociendo que la magnitud del producto vectorial en la superficie conductora de la pared transversal (z=0) es igual a cero, esto es:

$$\int_{S_{AB}} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{ai} \cdot d\hat{s} = 0 \quad \text{donde } S_{AB}=S_A-S_0$$

se puede integrar sobre el área transversal S_n de la guía n, lo cual resulta:

$$(a_i+b_i)\int_{S_A} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{ai}\,.ds = \sum_{j=1}^{\infty} (a'_j+b'_j)\int_{S_C} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{ai}\,.ds \quad (15)$$

De igual forma multiplicamos la ecuación (14) por un campo auxiliar e_{bn} e integramos en So, obteniendo:

$$\sum_{i=1}^{\infty} (a_i-b_i)*\int_{So} \hat{e}_{bn} \times \hat{h}_{ai}\,.ds = \sum_{j=1}^{\infty} (-a'_j+b'_j)*\int_{So} \hat{e}_{bn} \times \hat{h}_{bj}\,.ds$$

por ortogonalidad:

$$\int_{So} \hat{e}_{bn} \times \hat{h}_{bj}\,.ds = 0 \qquad \text{para } j \neq n$$

la expresión anterior toma la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^{\infty} (a_i-b_i)\int_{SB} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{ai}\,.ds = (-a'_j+b'_j)\int_{SB} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{bj}\,.ds \quad (16)$$

A efectos de trabajar con mayor facilidad y a la vez simplificar en lo que a escritura se refiere vamos a designar algunas de las integrales pertenecientes a las ecuaciones (15) y (16) de la siguiente manera:

en la ecuación (15):

$$\int_{SA} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{ai}\,.ds = P_i \quad (17)$$

$$\int_{Sq} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{ai}\,.ds = X_{ji} \quad (18)$$

en la ecuación (16):

$$\int_{SB} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{bj} \cdot d\hat{s} = D_j \qquad (19)$$

La técnica en la cual nos basaremos para obtener las características de la interfaz de las guías será la matriz generalizada de dispersión (MSG). Para emplear la MSG en este análisis modal las integrales (17),(18) y (19) deben estar calculadas previamente .

1.2 DEFINICION MATRICIAL DE LOS COMPONENTES DE LA UNION

El usar notación matricial en el presente estudio es de gran importancia en vista de poder utilizar el número de modos apropiados para la guía de entrada y para la guía de salida, de lo contrario cabe destacar la imposibilidad de trabajar con un gran número de modos propagándose en las guías si en vez de la técnica modal nos ayudaramos de otros métodos para el tratamiento de la interfaz, las cuales no son del alcance de esta tesis.

Otra ventaja de esta notación radica en el uso de un ordenador que permita resolver el problema de la discontinuidad de una forma rápida y precisa. Ademas se puede manipular con mayor facilidad las diferentes integrales , amplitudes, etc de los modos utilizados para las dos guías. Al no contar con un ordenador con gran capacidad de memoria el proceso de obtención de resultados se torna laborioso y complejo porque estaríamos tratando con un número de integrales proporcionales a los modos existentes en las guías.

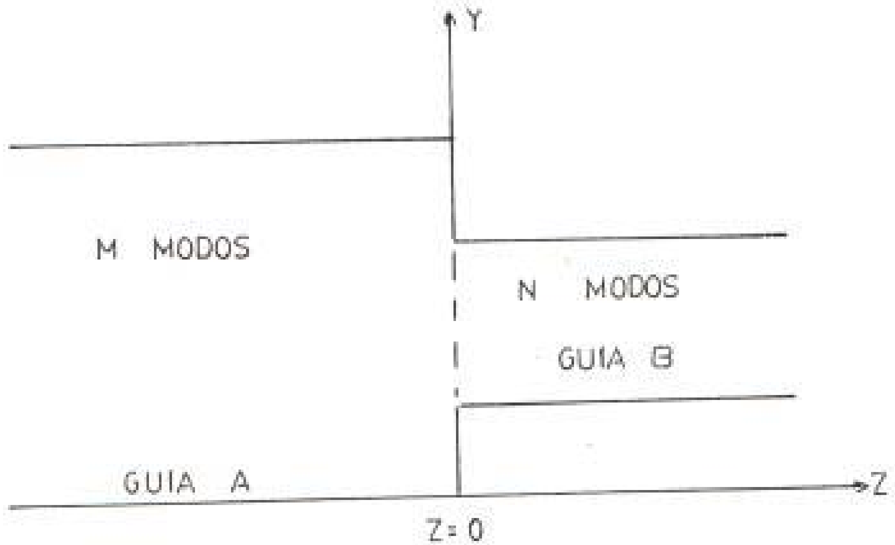
Las ecuaciones definidas en el apartado anterior pueden desarrollarse matricialmente si asumimos para la guía de mayor sección transversal M modos propagándose y en la de menor área propagándose N modos (ver figura 1.2).

Así, las matrices para Pi, Qj y Xji se elaboran de la siguiente manera:

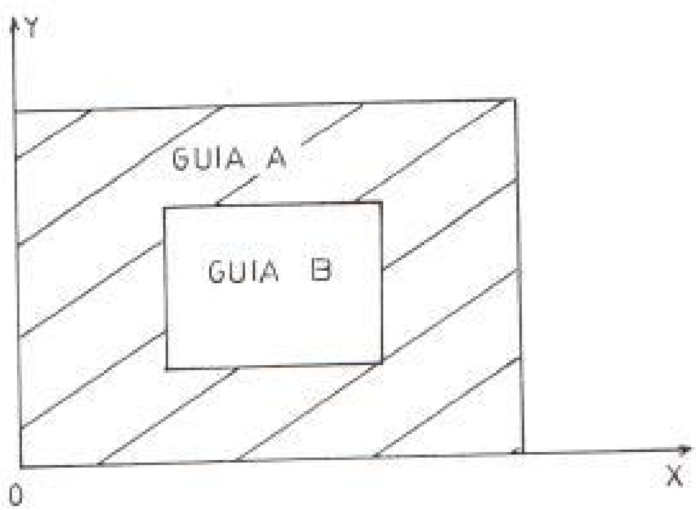
para Pi que es igual a $\int_{So} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{ai} \,.ds$, se va a formar una matriz diagonal de orden MXM, porque la integral toma valores de i=1,2,3.....M, es decir:

$$[\,P\,] = \begin{bmatrix} P11 & 0 & . & . & 0 \\ 0 & P22 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Pmm \end{bmatrix}_{MXM} \qquad (29)$$

para Qj que esta dada por $\int_{So} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{bj} \,.ds$, se forma una matriz diagonal cuando j toma valores de j=1,2,3....N, en consecuencia:



(a)



(b)

Fig. 1.2 Número de modos a propagarse en las guías A y B. (a) vista axial, (b) vista transversal.

$$[\,Q\,] = \begin{bmatrix} Q11 & \emptyset & . & . & \emptyset \\ \emptyset & Q22 & . & . & \emptyset \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & Qnn \end{bmatrix}_{NXN} \qquad (21)$$

para Xji dado por $\int_{S_g} \hat{e}_{bj} \times \hat{h}_{ai} \cdot ds$, se forma una matriz de orden NXM(teniendo siempre presente la propagación de modos de orden M y N para la guía A y guía B respectivamente) . Esto es:

$$[\,X\,] = \begin{bmatrix} X11 & X12 & . & . & X1m \\ X21 & X22 & . & . & X2m \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ Xn1 & Xn2 & . & . & Xnm \end{bmatrix}_{NXM} \qquad (22)$$

Las amplitudes de los campos de los modos a propagarse en las guías pueden escribirse matricialmente como:

para ai:

$$[\,A\,] = \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ . \\ . \\ am \end{bmatrix}_{MX1} \qquad (23)$$

Como se puede observar para las matrices [A], escrita arriba y para las matrices [B], [A'] y [B'] toman la forma de matrices columnas, lo cual nos indica la presencia de una amplitud para cada modo (como era de esperarse).

para bi:

$$[\ B\ ] = \begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ . \\ . \\ bm \end{bmatrix}_{MX1} \qquad (24)$$

para a'j:

$$[\ A'\ ] = \begin{bmatrix} a'1 \\ a'2 \\ . \\ . \\ a'n \end{bmatrix}_{NX1} \qquad (25)$$

para b'j:

$$[\ B'\ ] = \begin{bmatrix} b'1 \\ b'2 \\ . \\ . \\ b'n \end{bmatrix} \qquad (26)$$

Siguiendo las leyes que rigen la multiplicación de matrices las ecuaciones (15) y (16) se definen matricialmente a continuación:

$$[\,P\,]_{MXM} * [\,A + B\,]_{MX1} = [\,X\,]^{t}_{MXN} * [\,A' + B'\,]_{NX1} \qquad (27)$$

$$[\,X\,]_{NXM} * [\,A - B\,]_{MX1} = [\,Q\,]_{NXN} * [-A' + B'\,]_{NX1} \qquad (28)$$

para la ecuación (27) $[\,X\,]^{t}_{MXN}$ significa transpuesta de la matriz $[\,X\,]_{NXM}$.

En los capítulos siguientes, la matriz correspondiente a la magnitud de los campos transversales incidentes $[\,A\,]_{MX1}$ va a simplificarse, debido a que sólo va a propagarse energía en la guía de onda de menor sección transversal (aplicador), no así las matrices $[\,B\,]_{MX1}$, $[\,B'\,]_{NX1}$ y $[\,A'\,]_{NX1}$; en cierta forma por lo anteriormentamente mencionado, queda definida la geometría de las guías de onda.

1.3 OBTENCION DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ GENERALIZADA DE DISPERSION

Continuando con el planteamiento teórico de la interfaz de las guías de onda, en esta sección se obtendrán los elementos matriciales que forman la matriz generalizada de dispersión (MGD), en cuya técnica se basa este estudio para encontrar por ejemplo matrices de valores desconocidos, tal es el caso de las magnitudes de los campos transversales reflejados y transmitidos.

Mediante el uso de la MSG resulta simple determinar un índice importante en lo referente a la propagación y reflexión de energía en la discontinuidad; nos referimos al coeficiente de reflección, el cual permite conocer la cantidad de energía reflejada por la interfaz.

En la figura 1.3 se muestra dos guías de onda con diferente sección transversal, la discontinuidad en z=0 y la correspondiente matriz de dispersión para la interfaz.

Para encontrar los elementos de la matriz de dispersión partiremos de las ecuaciones (27) y (28) del apertado anterior, esto es:

$$[\,P\,]_{MXM} * [\,A + B\,] = [\,X\,]^{t}_{MXN} * [\,A' + B'\,]_{NX1}$$

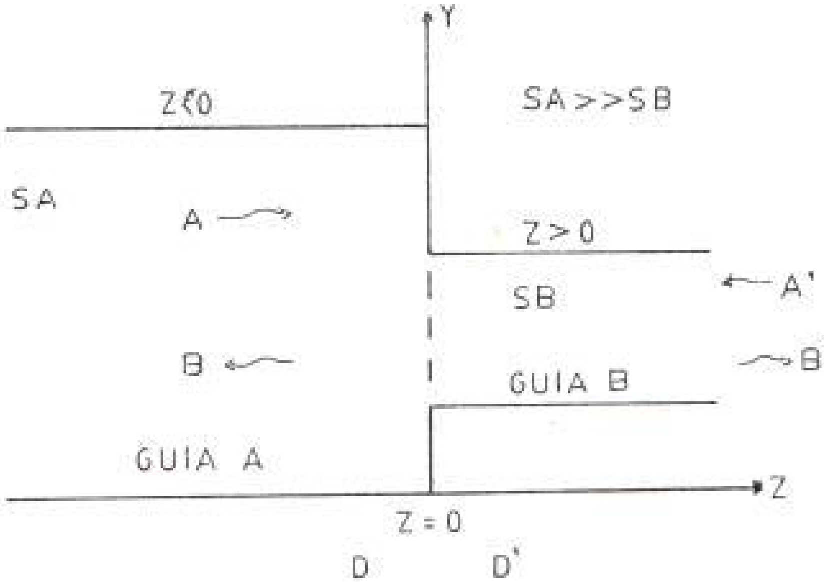
$$[\,X\,]_{NXM} * [\,A - B\,]_{MX1} = [\,Q\,]_{NXN} * [-A' + B'\,]_{NX1}$$

Para la figura 1.3 la MSG se estructura en forma general de la siguiente manera:

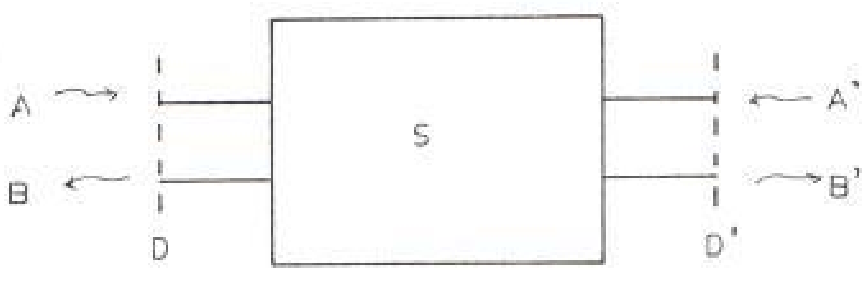
$$[\,B\,] = [\,S\,] * [\,A\,]$$

lo que es igual a:

$$\begin{bmatrix} B \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S11 & S12 \\ S21 & S22 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A \\ A' \end{bmatrix}$$



(a)



(b)

Fig. 1.3 Modelo de la interfaz de dos guías de onda con el correspondiente esquema para la matriz de dispersión.

equivalente a:

$$[\ B\ ]_{MX1} = [\ S11\ ]_{MXM} * [\ A\ ]_{MX1} + [\ S12\ ]_{MXN} * [\ A'\ ]_{NX1} \qquad (29)$$

$$[\ B'\ ]_{NX1} = [\ S12\ ]_{NXM} * [\ A\ ]_{MX1} + [\ S22\ ]_{NXN} * [\ A'\ ]_{NX1} \qquad (30)$$

Con el fin de simplificar la escritura de la siguiente demostración, se omitirán todos los subíndices de las diferentes matrices. Resolvamos para el elemento [S21], sabemos por definición que:

$$[\ B'\ ] = [\ S21\ ] * [\ A\ ] \text{ si } [\ A'\ ] = 0$$

entonces: $[\ P\ ] * [\ A + B\ ] = [\ X\ ]^{t} * [\ B'\ ]$ (31)

multiplicando (31) por $[\ P\ ]^{-1}$, tenemos:

$$[\ P\ ]^{-1} * [\ P\ ] * [\ A\ ] + [\ P\ ]^{-1} * [\ P\ ] * [\ B\ ]$$

$$= [\ P\ ]^{-1} * [\ X\ ]^{t} * [\ B'\ ]$$

donde $[\ P\ ]^{-1}$ es la matriz inversa de la matriz [P]

por lo tanto: $[\ A\ ] + [\ B\ ] = [\ P\ ]^{-1} * [\ X\ ]^{t} * [\ B'\ ]$

despejando [B]:

$$[\ B\ ] = [\ P\ ]^{-1} * [\ X\ ]^{t} * [\ B'\ ] - [\ A\ ]$$

en la ecuación (28) haciendo [A']=0:

$$[\ X\ ] * [\ A - B\ ] = [\ Q\ ] * [\ B'\ ]$$

combinando ecuaciones:

$$[\ X\ ]*[\ A\ ]=[\ X\ ]*[\ P\ ]^{-1}*[\ X\ ]^{t}*$$

$$[\ S21\ ]*[\ A\ ]+[\ X\ ]*[\ A\ ]=[\ Q\ ]*[\ S21\ ]*[\ A\ ]$$

simplificando y despejando [S21]:

$$[\ S21\ ]=2*([\ Q\ ]+[\ X\ ]*[\ P\ ]^{-1}*[\ X\ ]^{t})^{-1}*[\ X\ ]$$

Para encontrar [S11] es necesario definir:

$$[\ B\ ]=[\ S11\ ]*[\ A\ ] \text{ si } [\ A'\ ]=0$$

luego, en la ecuacion (28), tenemos:

$$[\ P\ ]*[\ A\ ]+[\ P\ ]*[\ B\ ]=[\ X\ ]^{t}*[\ B'\ ]$$

reemplazando [B']=[S21]*[A] y [B]=[S11]*[A] , en la ecuacion anterior:

$$[\ P\ ]*[\ A\ ]+[\ P\ ]*[\ S11\ ]*[\ A\ ]=[\ X\ ]^{t}*[\ S21\ ]*[\ A\ ]$$

simplificando :

$$[\ P\ ]*[\ S11\ ]=[\ X\ ]^{t}*[\ S21\ ]-[\ P\ ]$$

multiplicando la relacion anterior por la matriz inversa $[\ P\ ]^{-1}$, obtenemos:

$$[\ S11\ ]=[\ P\ ]^{-1}*[\ X\ ]^{t}*[\ S21\ ]-[\ I\ ]$$

donde [I] es la matriz identidad.

Para calcular los elementos [S22] y [S12] se procede en forma similar a la descrita anteriormente; pero para estas matrices deben considerarse las siguientes definiciones:

para [S22]:

$$[B'] = [S22] * [A'] \text{ si } [A] = 0$$

para [S12]:

$$[B] = [S12] * [A'] \text{ si } [A] = 0$$

Entonces, resultan las siguientes relaciones:

$$[S22] = ([Q] + [X]*[P]^{-1}*[X]^{t})^{-1} *$$

$$([Q] - [X]*[P]^{-1}*[X]^{t})$$

$$[S12] = [P]^{-1} * [X]^{t} * ([I] + [S22]).$$

Debemos anotar la importancia de calcular previamente Pi, Qj, Xij para introducirlos en las ecuaciones correspondientes a las matrices de los elementos que forman la MSG.

El análisis realizado en este capítulo corresponde a le parte teórica involucrada en la apertura de las dos guías.

En lo posterior la unión se conforma de la siguiente manera: una guía de onda va a poseer mayor sección transversal que la otra, con lo cual comparamos a la guía grande como un tejido biológico y la de menor área como un aplicador. Para nuestro caso la interfaz tendrá fines hipertérmicos.

La posición adoptada por las guías es la ilustrada en la figura 1.4, en la cual se propagan las ondas de campos transversales [A'] [B'] y [B] y por ende el generador lo ubicamos en la guía de menor sección transversal

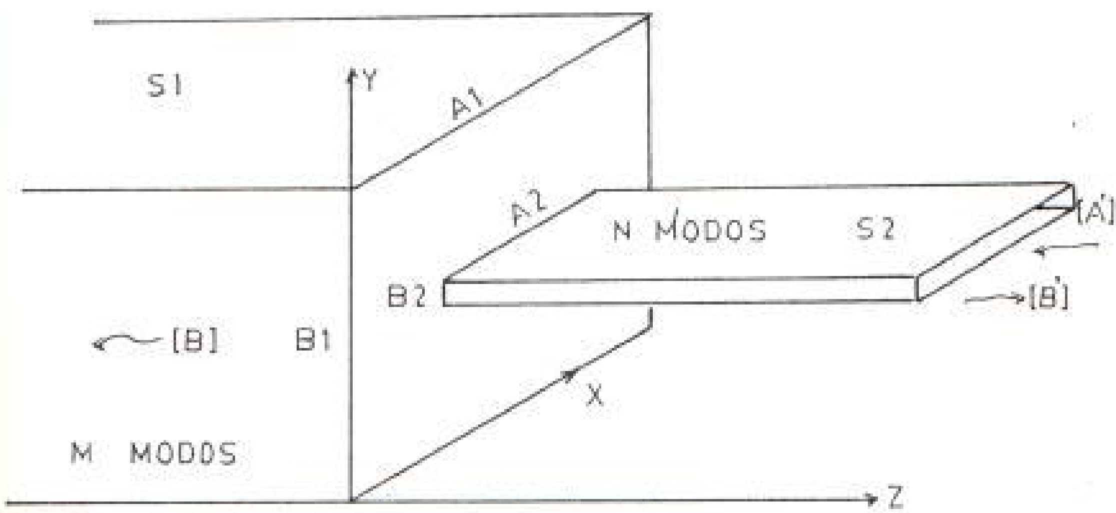


Fig 1.4 Esquema que presenta la unión de una guía de gran sección transversal con una de menor área (aplicador)

CAPITULO II

DESARROLLO DE UNA INTERFAZ CON ALTURA CONSTANTE

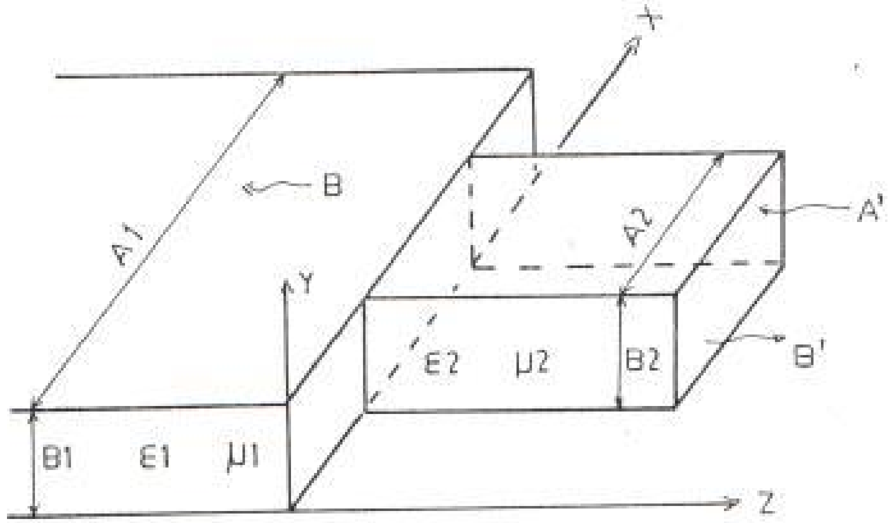
2.1 TEORIA

Este capitulo presenta una solución matemática para una interfaz de guías de onda, guías que se caracterizan por poseer una de sus dimensiones (la altura) de igual longitud. Esto se realiza implementando un programa en el computador IBM s/4341 en lenguaje FORTRAN.

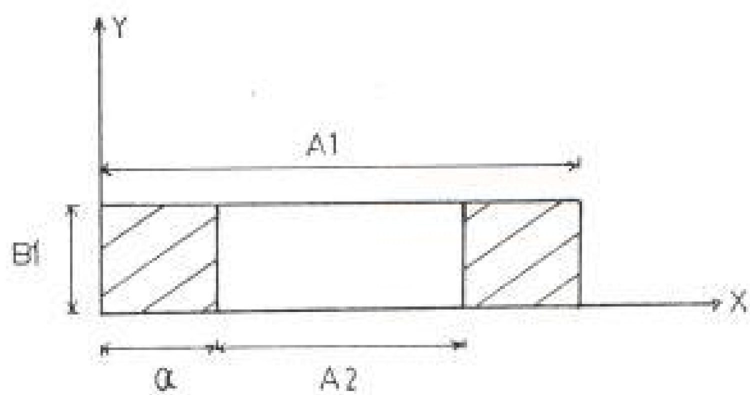
Este programa nos sirve para familiarizarnos con el manejo de matrices y la elaboración de las subrrutinas necesarias para el programa principal estudiado en el siguiente capítulo.

La figura 2.1 indica la forma de las guías y las características eléctricas de las mismas. Como se observa en dicha ilustración, la energía incide en la guía de menor área. Las dos guías tienen diferentes permitividades y permeabilidades e inclusive poseer valores complejos.

Por carecer de variaciones de dimensiones en dirección "y", se propagan para este tipo de interfaz solo modos del tipo TE_{mo}.



(a)



(b)

ε1=permitividad de la guía 1
μ1=permeabilidad de la guía 1
ε2=permitividad de la guía 2
μ2=permeabilidad de la guía 2

Fig. 2.1 Definición de dimensiones y dieléctricos en una interfaz con altura costante.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de los campos transversales conocidas las dimensiones de las guias se escriben a continuacion:

para la guia de area A1XB1 (z < 0)):

$$\hat{e}_{ai}=\mathrm{Sen}(i\pi x/A1)\hat{j} \qquad (1)$$

$$\hat{h}_{ai}=-\mathrm{Sen}(i\pi x/A1)\hat{i}/Z_{ai} \qquad (2)$$

$$Z_{ai}=j*w*\mu 1/\Gamma_{ai} \qquad (3)$$

$$\Gamma_{ai}=[(i\pi/A1)^{2}-w^{2}*\varepsilon 1*\mu 1]^{1/2} \qquad (4)$$

para la guia de dimensiones A2XB2 (z > 0):

$$\hat{e}_{b'j}=\mathrm{Sen}(j\pi(x-d)/A2)\hat{j} \qquad (5)$$

$$\hat{h}_{b'j}=-\mathrm{Sen}(j\pi(x-d)/A2)\hat{i}/Z_{b'j} \qquad (6)$$

$$Z_{b'j}=j*w*\mu 2/\Gamma_{b'j} \qquad (7)$$

$$\Gamma_{b'j}=[(j\pi/A2)^{2}-w^{2}*\varepsilon 2*\mu 2]^{1/2} \qquad (8)$$

las integrales Pi, Qj y Xji estan dadas por:

$$Pi=\int_{S1}\hat{e}_{ai}\times\hat{h}_{ai}\cdot d\hat{s}$$

$$Pi=\int_{0}^{B1}\int_{0}^{A1}(\mathrm{Sen}(i\pi x/A1))\times(-\mathrm{Sen}(i\pi x/A1)).dxdy/Z_{ai}$$

$$Pi=A1*B1/2*Z_{ai} \qquad (9)$$

$$Qj=\int_{S2} \hat{e}_{b'j} \times \hat{h}_{b'j} .ds$$

$$Qj=\int_{0}^{B1}\int_{\alpha}^{A1-\alpha} (Sen(j\pi(x-\alpha)/A2)X(-Sen(j\pi(x-\alpha)/A2)).dxdy/Z_{b'j}$$

$$Qj=A2XB1/2*Z_{b'j} \qquad (10)$$

$$Xji=\int_{S\alpha} \hat{e}_{b'j} X\hat{h}_{ai} .dxXdy$$

$$Xji=\int_{0}^{B1}\int_{\alpha}^{A1-\alpha} Sen(j\pi(x-\alpha)/A2)X(-Sen(i\pi x/A1)).dxdy/Z_{ai}$$

efectuando la integral se tiene:

$$Xji=[(Sen(R+\theta)-Sen(\theta))/R2 - (Sen(\beta-\theta)+Sen(\theta))/R1]*$$

$$(B1/2\,Z_{ai}) \qquad (11)$$

donde:

$R=R2*A2/2$

$\theta=i*\pi*\alpha/A1$

$\beta=R1*A2/2$

$R1=2*\pi*[j/A2 - i/A1]$

$R2=2*\pi*[j/A2 + i/A1]$

Luego de haber determinado las integrales de Pi, Qj, y Xji se puede implementar el programa en el ordenador. La expresion obtenida para Xji para ciertos valores de R1 y R2 no esta definida, es decir, R1 y R2 se hacen cero, para eliminar la indeterminacion es necesario aplicar limites, caso contrario el computador toma acciones correctivas y se obtienen resultados erroneos.

La matriz generalizada de dispersión, pero principalmente las matrices [S22] y [S12], nos indican la energia reflejada y/o transmitida del aplicador al tejido biológico.

Para la obtención de resultados óptimos provenientes de la interfaz, debe considerarse la relación del número de modos proporcional a la relación de secciones transversales, esto es:

$$MG1/MG2 = A1XB1/A2XB2 \qquad (12)$$

donde:

MG1=modos empleados en la guia 1(tejido)

MG2=modos empleados en la guia 2(aplicador)

2.2 PROGRAMA QUE REALIZA UN ANALISIS DE LA INTERFAZ

```
C         PROGRAMA PRINCIPAL PARA LA DETERMINACION
C         DE DOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE DISPERSION
C         MM=M MODOS QUE SE GENERAN EN LA GUIA 1
C         NM=N MODOS QUE SE INGRESAN EN LA GUIA 2
C
C         DEFINICION DE MATRICES
C
          PARAMETER(MM=400,NM=16)
          COMPLEX MS22(NM,NM),MS12(MM,NM)
          COMPLEX GM1(MM),ADM1(MM),PI11(MM)
          COMPLEX GM2(NM),ADM2(NM),QJJ2(NM)
          COMPLEX XJI(NM,MM),QJJ(NM,NM)
          COMPLEX PRD1(MM,NM),PRD2(NM,NM),SUM1(NM,NM)
          COMPLEX SUM1I(NM,NM),RES1(NM,NM)
          COMPLEX IDEN1(NM,NM),SUM2(NM,NM)
          COMPLEX BT(MM),EYY(MM),ETY,ETZ
          COMPLEX PER1,PERM1,PER2,PERM2,NUIM,UR
          COMMON /ZONA/ MS22,MS12
          COMMON /ZONB/ PI11
          COMMON /ZONC/ QJJ2
          PI=4.*ATAN(1.)
          NUIM=CMPLX(0.,1.)
          UR=CMPLX(1.,Ø.)
          FRE=2.ØØ
C
C         DIMENSIONES DE LAS GUIAS
C
          A1=100.Ø
          B1=1Ø.16
          A2=22.86
          Z1=2.5
          X1=A1/2.Ø
C
C         DIELECTRICOS DE LAS GUIAS
C
          PER1=UR
          PERM1=UR
          PER2=UR
          PERM2=UR
  25      FORMAT(/,20X,'CARACTERISTICAS DE LA GUIA 1')
          WRITE(20,45) A1,B1,PER1,PERM1,MM
  45      FORMAT(/,1X,'A1=',F6.2,2X,'B1=',F6.2,2X,'PER1=',F6.2,',',F6.2
     1           ,2X,'PERM1=',F5.2,',',F5.2,2X,'MODOS=',I3)
          WRITE(20,35)
  35      FORMAT(/,20X,'CARATERISTICAS DE LA GUIA 2')
          WRITE(20,55) A2,B2,PER2,PERM2,NM
  55      FORMAT(/,1X,'A2=',F6.2,2X,'B2=',F6.2,2X,'PER2=',F6.2,',',F6.2
     1           ,2X,'PERM2=',F5.2,',',F5.2,2X,'MODOS=',I3,/)
          DO 36 K=1,1
C         FRE=FRE+0.5
```

```
      FRE=10.00
      A1=K*A2
      WRITE(20,*) A1
      CALL MDIS(A1,B1,A2,PER1,PERM1,PER2,PERM2,FRE,Z1,X1)
C


C     CALCULO DEL ERROR DE POTENCIA
C
      ERPO=0.0
      DO 30 I=1,NM
      ERPO=ERPO+CABS(MS22(I,1))**2*REAL(QJJ2(I))
 30   CONTINUE
      DO 40 I=1,MM
      ERPO=ERPO+CABS(MS12(I,1))**2*REAL(PI11(I))
 40   CONTINUE
      ERPO=ERPO-REAL(QJJ2(1))
      X=REAL(MS22(1,1))
      Y=IMAG(MS22(1,1))
      FASE=ATAN2(X,Y)*180.0/PI
      WRITE(20,01) ABS(MS22(1,1)),FASE,ERPO,FRE
 20   CONTINUE
 01   FORMAT(/,11X,E9.2,6X,E9.2,7X,E9.2,8X,E9.2)
 36   CONTINUE
      END
C
C     SUBRUTINA PARA ENCONTRAR LOS ELEMENTOS
C     MS12 Y MS22 DE LA MATRIZ DE DISPERSION
C
      SUBROUTINE MDIS(C1,D1,C2,PER1,PERM1,PER2,PERM2,FRE,Z1,X1)
C
C     DEFINICION DE MATRICES
C
      PARAMETER(MM=400,NM=16)
      COMPLEX MS22(NM,NM),MS12(MM,NM)
      COMPLEX GM1(MM),ADM1(MM),PI11(MM)
      COMPLEX GM2(NM),ADM2(NM),QJJ2(NM)
      COMPLEX XJI(NM,MM),QJJ(NM,NM)
      COMPLEX PRD1(MM,NM),PRD2(NM,NM),SUM3(NM,NM)
      COMPLEX SUM11(NM,NM),RES1(NM,NM)
      COMPLEX IDEN1(NM,NM),SUM2(NM,NM)
      COMPLEX B1(MM),EYY(MM),ETY,ETZ
      COMPLEX PER1,PERM1,PER2,PERM2,NUIM,UR
      COMMON /ZONA/ MS22,MS12
      COMMON /ZONB/ PI11
      COMMON /ZONC/ QJJ2
      REAL C1,D1,C2,FRE
      REAL ERROR/0.0000001/
      UR=CMPLX(1.,0.)
      NUIM=CMPLX(0.,1.)
      PI=4.*ATAN(1.)
C
C     *CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS Y ADMITANCIAS DE LAS GUIAS*
```

```
C
C         *GUIA DE SALIDA*

C
          DO 10 I=1,MM
          GM1(I)=CSQRT((I*PI/C1)**2-PER1*PERM1*(PI*FRE/149.9317)**2)
          ADM1(I)=GM1(I)/(NUIM*0.8*PI**2*FRE*PERM1)
          PII1(I)=C1*D1*ADM1(I)*0.5

 10       CONTINUE
C
C         GUIA DE ENTRADA
C
          DO 20 J=1,NM
          GM2(J)=CSQRT((J*PI/C2)**2-PER2*PERM2*(PI*FRE/149.9317)**2)
          ADM2(J)=GM2(J)/(NUIM*0.8*PI**2*FRE*PERM2)
          QJJ2(J)=D1*C2*ADM2(J)*0.5
 20       CONTINUE
C
C         CALCULO DE LA MATRIZ XJI
C
          DO 30 J=1,NM
          DO 30 I=1,MM
          XJI(J,I)=XFUN(C1,C2,I,J)*ADM1(I)*D1*0.5
 30       CONTINUE
C
C         CALCULO DE LA MATRIZ PRD1
C
          DO 15 I=1,MM
          DO 15 J=1,NM
          PRD1(I,J)=XJI(J,I)/PII1(I)
 15       CONTINUE
C
C         DEFINICION DE LA MATRIZ QJJ
C
          DO 50 I=1,NM
          DO 50 J=1,NM
          IF(I.EQ.J) THEN
          QJJ(J,I)=QJJ2(I)
          ELSE
          QJJ(J,I)=CMPLX(0.,0.)
          ENDIF
 50       CONTINUE
C
C         MATRIZ IDENTIDAD 1
C
          DO 75 I=1,NM
          DO 75 J=1,NM
          IF(I.EQ.J) THEM
          IDEN1(I,J)=UR
          ELSE
```

```
      IDEN1(I,J)=CMPLX(0.,0.)
      ENDIF
 75   CONTINUE
C
C      CALCULO  DE  LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ  DE  DISPERSION
C
      CALL MMC(XJI,PRD1,NM,MM,NM,PRD2)
      CALL SMC(DJJ,PRD2,NM,NM,SUM1)
      CALL RMC(DJJ,PRD2,NM,NM,RES1)
      CALL MINV(SUM1,NM,SUM1I,DET)
      IF(DET.LE.ERROR) GO TO 90


      CALL MMC(SUM1I,RES1,NM,NM,NM,MS22)
      CALL SMC(MS22,IDEN1,NM,NM,SUM2)
      CALL MMC(PRD1,SUM2,MM,NM,NM,MS12)
C
C     AMPLITUDES DE LOS MODOS TRANSMITIDOS
C
      DO 89 I=1,MM
      BT(I)=MS12(I,1)
 89   CONTINUE
C
C     CALCULO DE LOS CAMPOS EY EZ
C
      DO 110 I=0,4
      Z=Z1-2.5*(2.0**I)
      WRITE(20,01) ABS(Z)
      WRITE(10,01) ABS(Z)
      WRITE(20,02)
      WRITE(10,02)
C
C     CAMPOS CON Z CONSTANTE Y X VARIABLE
C
      DO 110 J=0,20
      X=X1+2.0*J
      DO 120 L=1,MM
      EYY(L)=COS(L*PI*X/C1)
 120  CONTINUE
      ETY=CMPLX(0.0,0.0)
      DO 130 L1=1,MM
      ETY=ETY+BT(L1)*EYY(L1)*EXP(GM1(L1)*Z)
 130  CONTINUE
      ETT=ABS(ETY)
      X2=2.0*J
      WRITE(20,03) ABS(ETY),ETT,X2
      WRITE(10,03) ABS(ETY),ETY,X2
 110  CONTINUE
      WRITE(20,333)
 333  FORMAT(/,13X,'MAGN',12X,'FASE',11X,'ERROPO',10X,'FRE(GHZ)')
 01   FORMAT(/,16X,'VALORES DE CAMPOS ELECTRICOS PARA Z=',F7.2,3X)
 02   FORMAT(/,15X,'ETY',19X,'ETT',16X,'X2',/)
 03   FORMAT(12X,E9.2,13X,E9.2,13X,F6.2)
```

```
      RETURN
90    WRITE(20,*) 'EXISTE ERROR EN LA INVERSION'
      RETURN
      END
```

2.3 OBTENCION DE RESULTADOS

Los resultados presentados en este subtema nos van a ayudar a examinar en primer lugar la variación del coeficiente de reflexión en la guía pequeña (aplicador) cuando se propagan difentes números de modos en ambas guías. Para esto utilizamos dos cabidades con las siguientes dimensiones : A2=22.86 mm, B2=10.16 mm para la guía pequeña y diez veces la longitud A2 para la guía grande, teniendo como dieléctrico al aire en las dos guías y a una frecuencia de operación de 6 GHz. Se observa en la figura 2.2 que la magnitud del coeficiente de reflexión no cambia sustancialmente, estabilizandose en 0.57 para una relación de modos MM/NM =10 en adelante. Efectivamente para esta relación de modos se cumple la ecuación (12) presentada en este capítulo.

Examinemos el comportamiento del campo eléctrico en la apertura, primero para una relación de modos MM/NM = 5, luego para MM/NM =10 y finalmente para una relación de 12. En la figura 2.3 el campo eléctrico es máximo a una distancia x tal que coincide con la longitud de la guía pequeña y empieza a decaer rápidamente al momento de encontrarse con la pared conductora de la guía grande; el incremento del número de modos en las cabidades da como resultado un

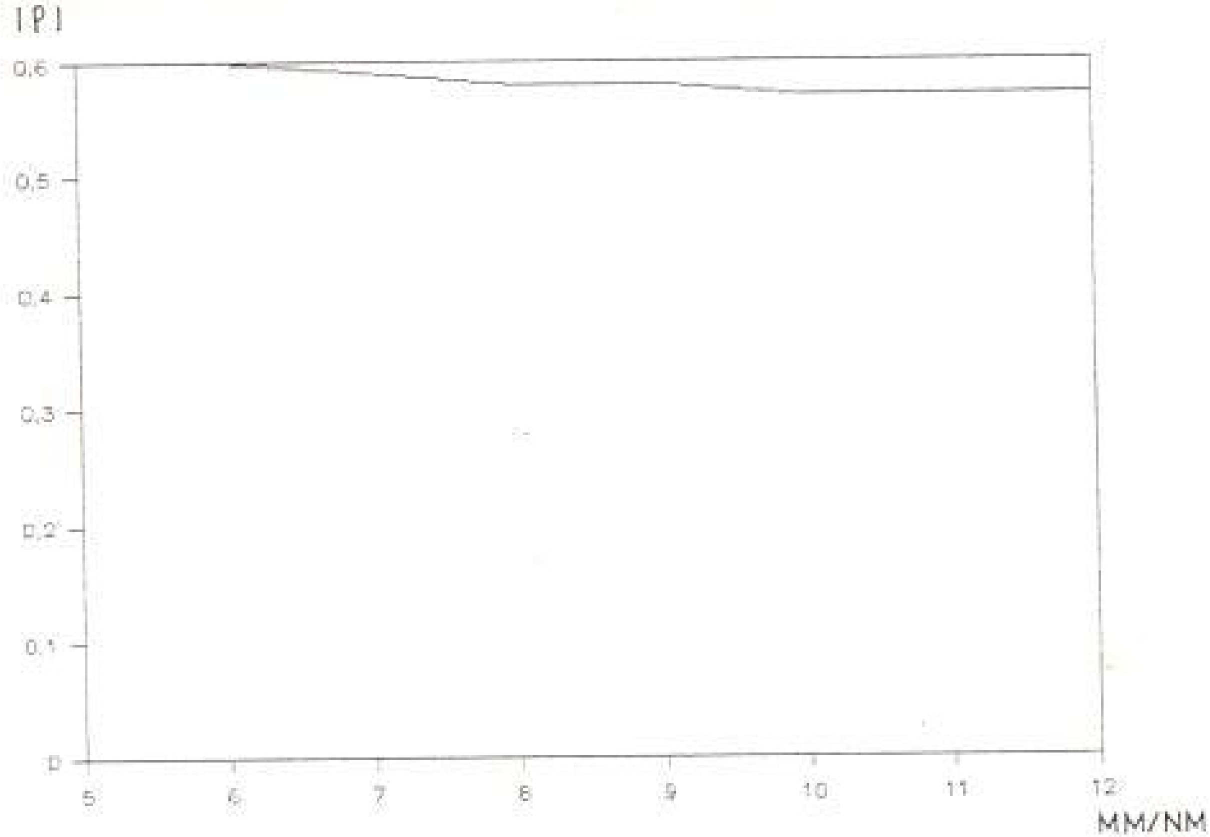


Fig. 2.2 Coeficiente de reflexión del modo fundamental incidente para diferentes relaciones de modos (MM/NM) propagantes en las guías.

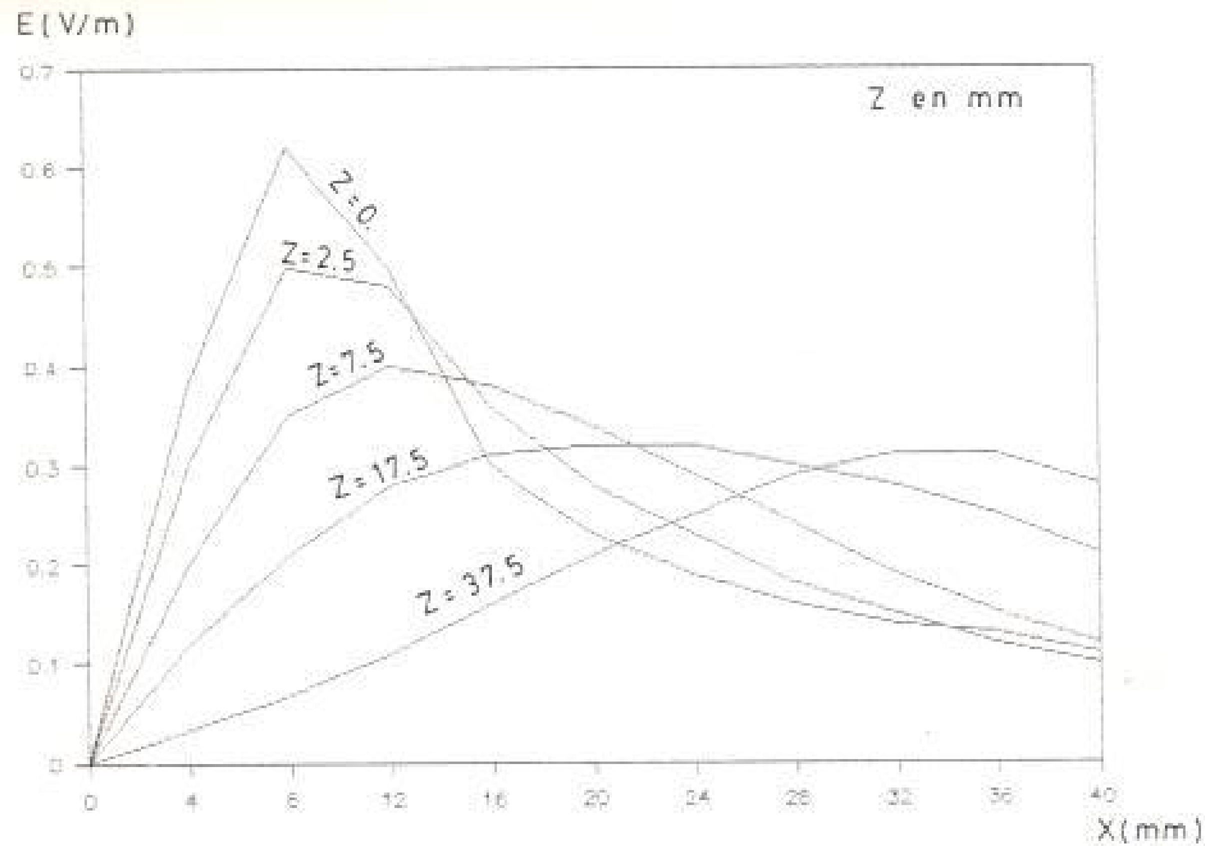


Fig. 2.3 Campos eléctricos para varias longitudes axiales z y diversas longitudes x con un número de modos MM/NM =25/5

campo eléctrico menor en la pared conductora, contrastando con un campo ligeramente mayor al crecer la longitud transversal (z=37.5).

Algo especial ocurre en las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 y es una convergencia de campos eléctricos a x=22.

Fijando el número de modos en MM=100 para la guía de salida, NM=10 para la guía de entrada, las figuras 2.6 y 2.7 presentan diferencias en la magnitud del campo eléctrico si rellenamos las guías con diferentes dieléctricos. La guía grande contiene una permitividad de Є1=5.5 - j0.8 (simulando un tejido bilógico) y la pequeña con dos dieléctricos, Є2=5.0 (para formar la figura 2.6) y Є2=25 (para formar la figura 2.7). Las dimensiones guardan proporción con los modos y se opera a una frecuencia de 4.0 GHz.

Trabajemos con un gran número de modos existentes en las guías. A la guía grande asignemos MM= 400 y a la de entrada NM=16 con dimensiones similares a la del laboratorio de Radiofrecuencia (ESPOL) las cuales son: A2=25.4 mm, B=12.7 mm y los dieléctricos para la cabidad de mayor seccion transversal son de dos clases: Є1=3.0 - j0.6 y Є=50 - j15. Las dimensiones de las guías se ilustran en la figura 2.8. Para esta configuración distinguimos un campo eléctrico mayor en la figura 2.9 que en la figura 2.10 por conservar

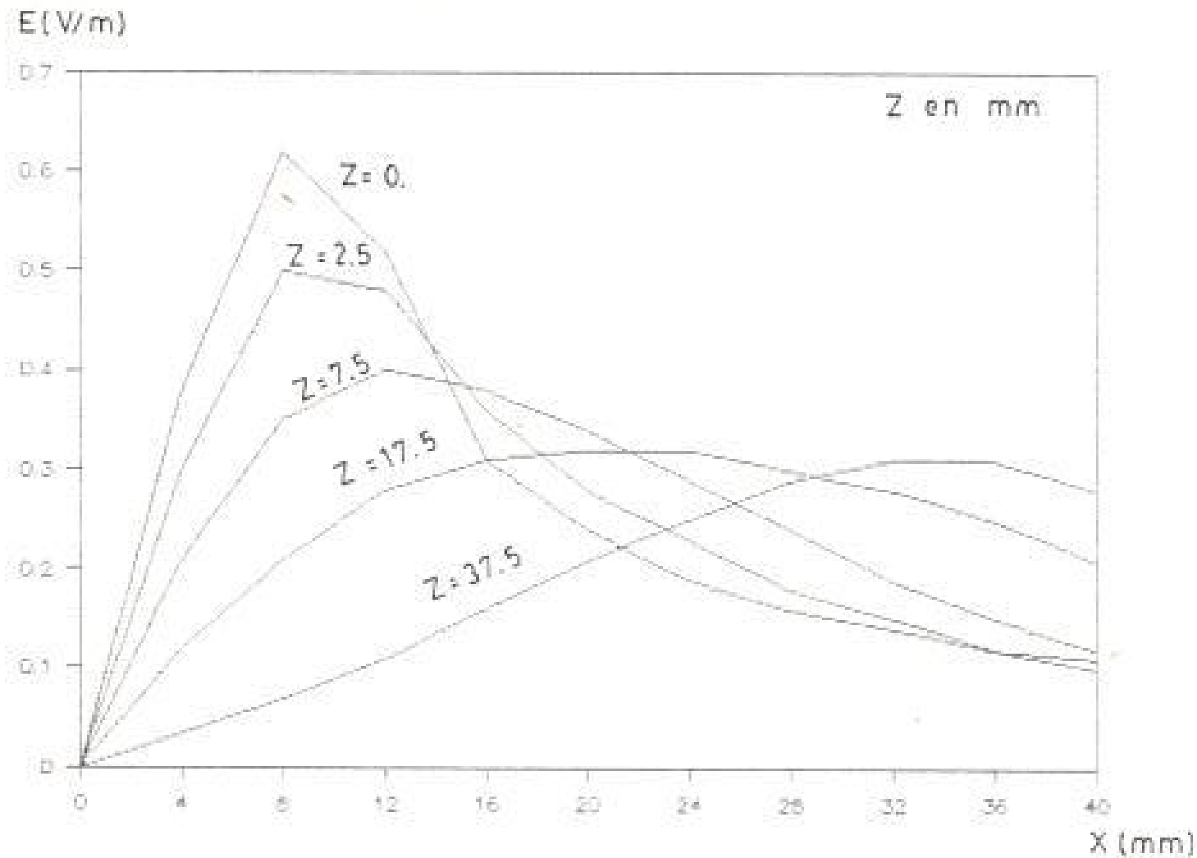


Fig. 2.4 Valores de campos eléctricos Ey para una relación de modos MM/NM = 100/10 a una frecuencia de operación de 6 GHz

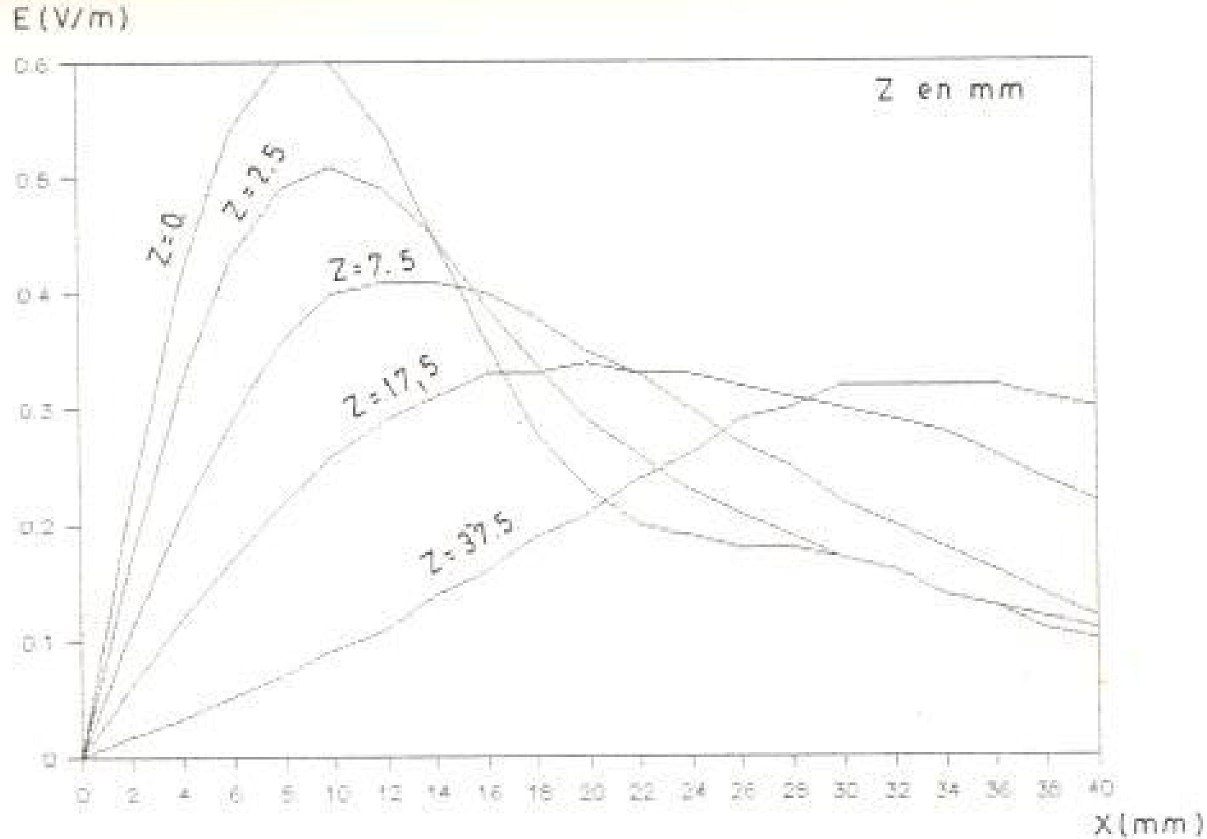


Fig. 2.5 Campos eléctricos Ey para diversos "x" y varios "z" con una relación de modos MM/NM = 144/12

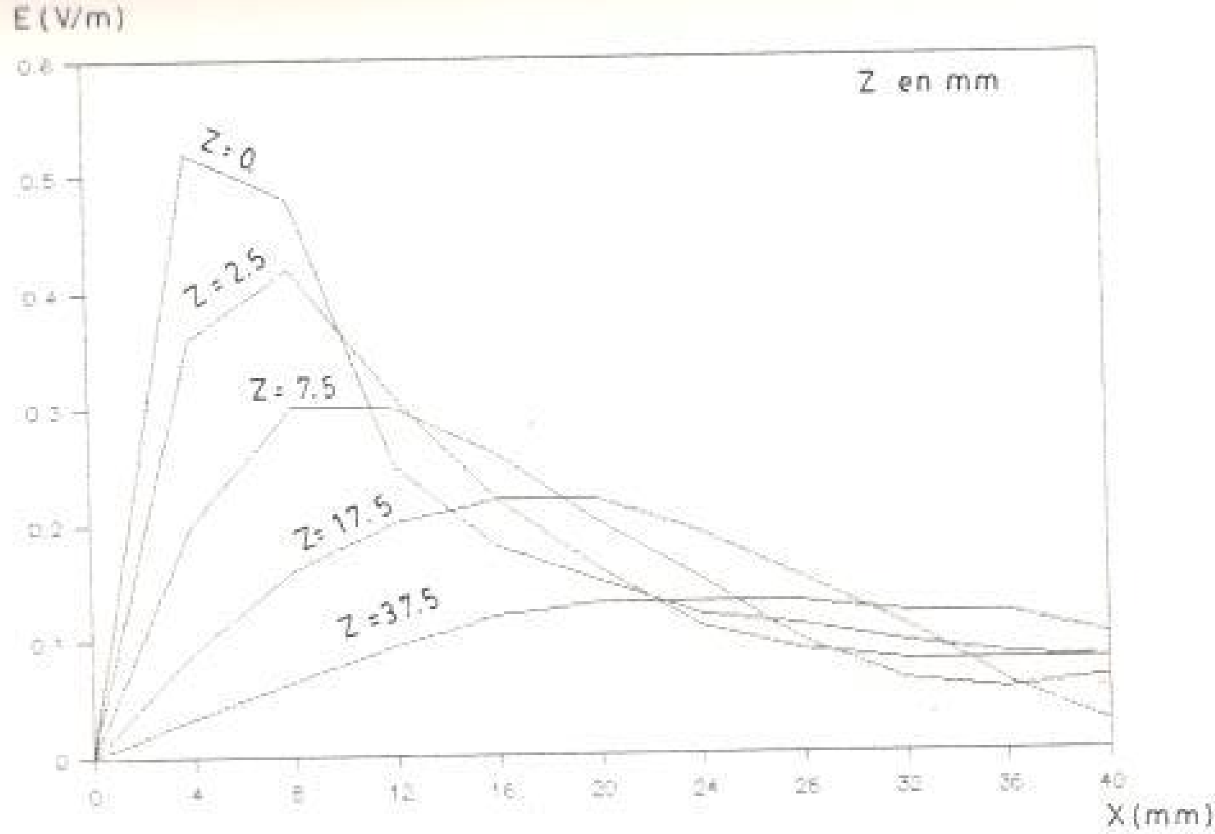


Fig. 2.6 Magnitud de campo eléctrico Ey para una guía pequeña rellena con $\epsilon 2=5$ para diferentes x i z

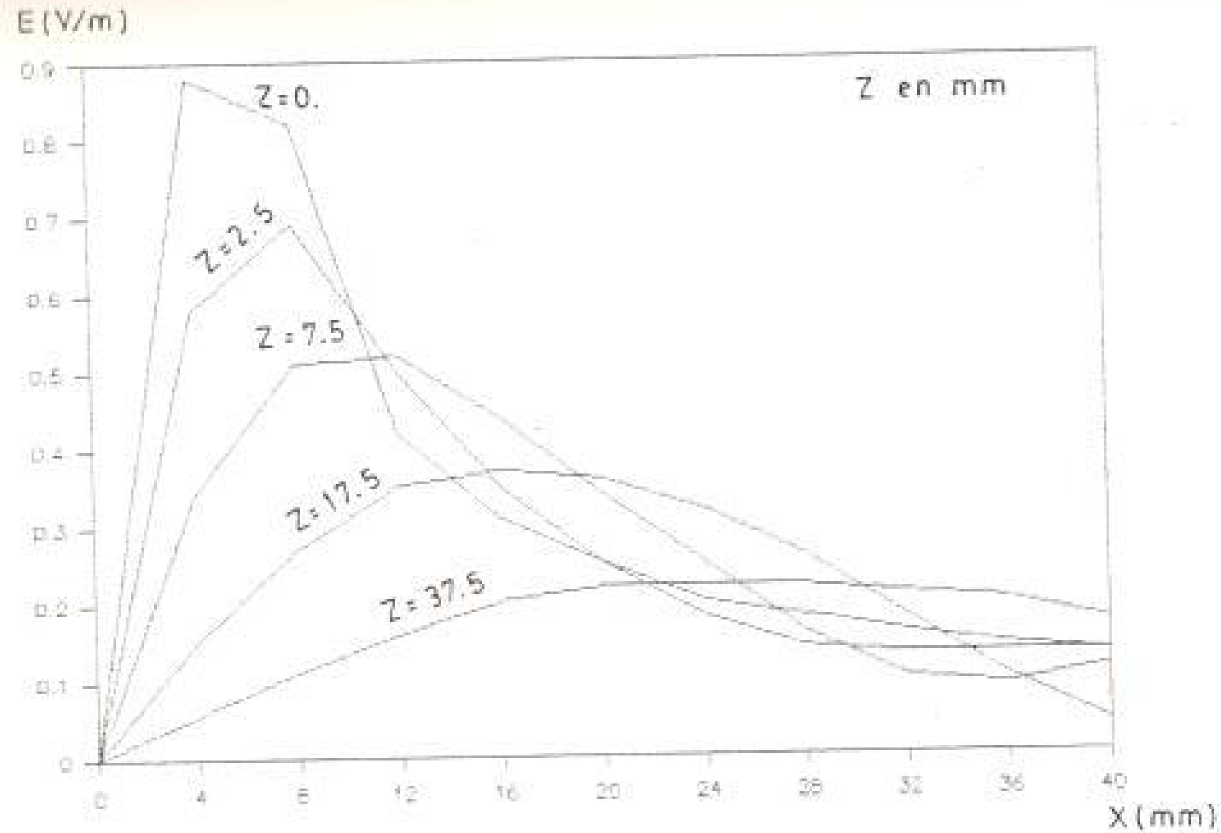
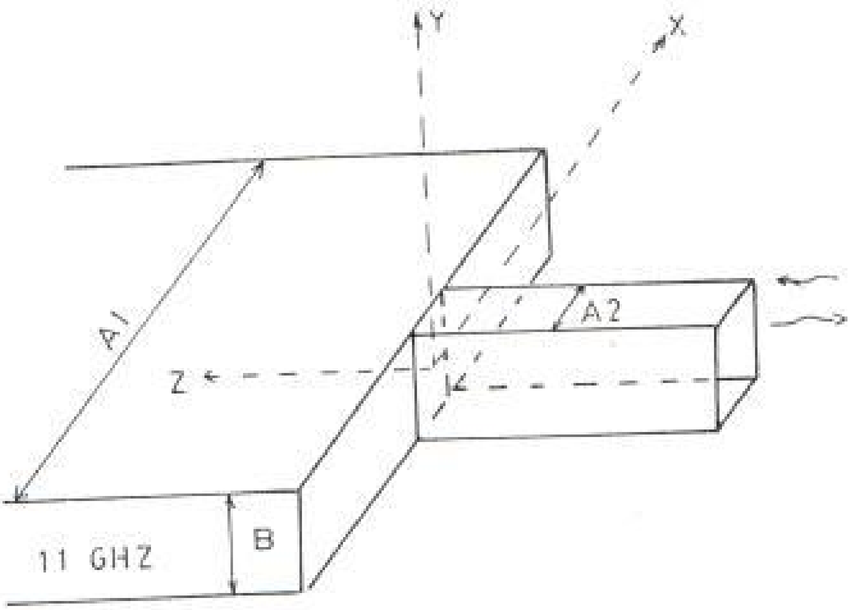
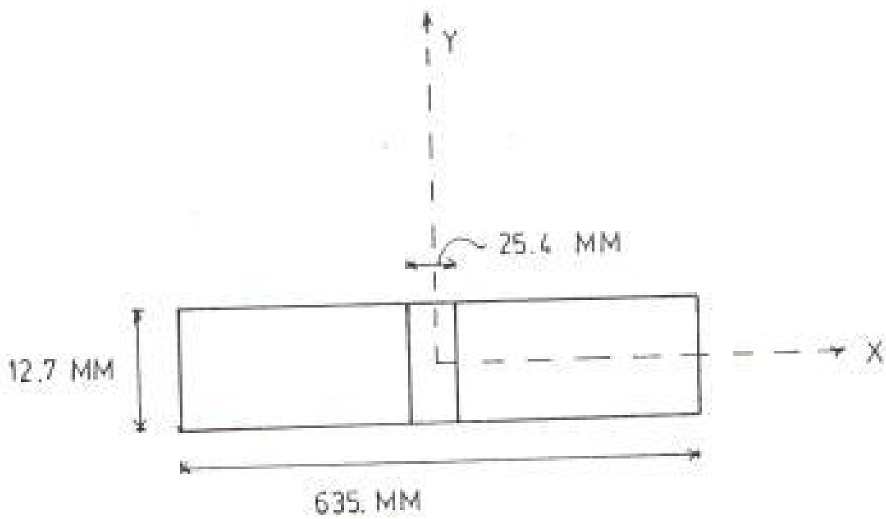


Fig. 2.7 Campos eléctricos para una guía de entrada con relleno dieléctrico ε2=25, diferentes x y a z=0.0, 2.5, 7.5, 17.5 y 37.5





Sin escala

Fig. 2.8 Dimensiones transversales para dos guías de onda a una frecuencia de 11 GHz.

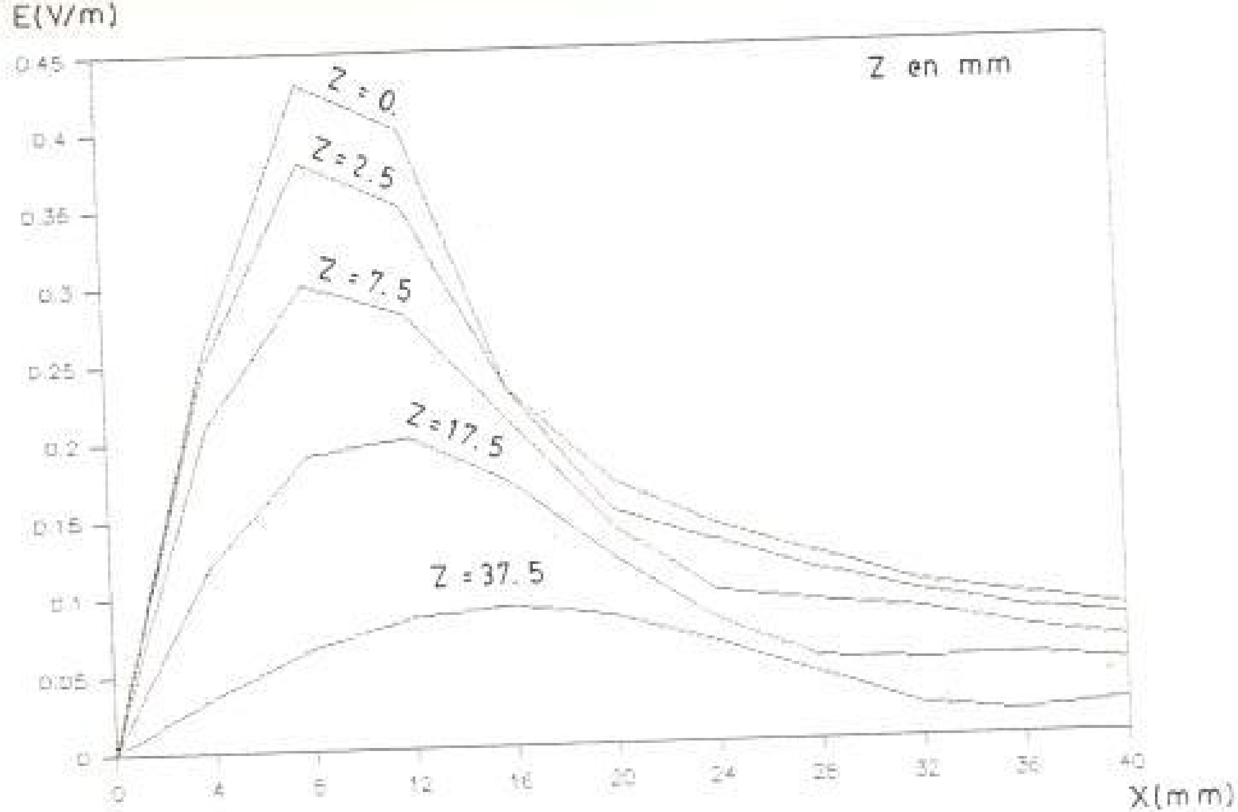


Fig. 2.9 Valores de campo eléctrico |Ey| para una guía de onda con dimensiones A1XB1= 635 mm X 12.7 mm que aloja un dieléctrico $\epsilon_1=3.8 - j0.6$

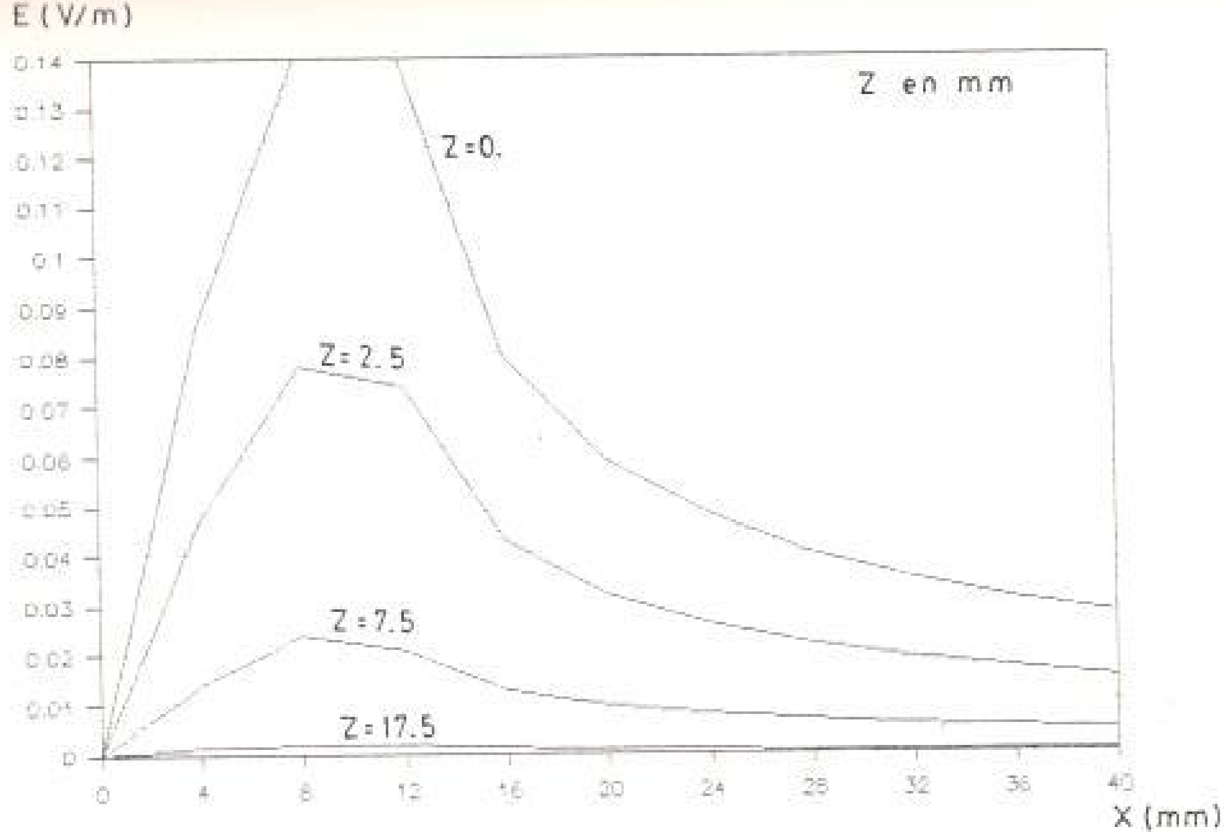


Fig. 2.10 Campos eléctricos para diferentes valores de x y diversos z aplicados a una guía de onda que aloja un dieléctrico $\epsilon 1=50 - j15$

las dos guías una proporción de impedancias aproximadas (tal como lo muestra la figura 2.9). Además con una proporción de dieléctricos de 50/1, los campos tienden a cero al incrementarse la longitud axial z.

Las guías de onda tratadas anteriormente han presentado características dieléctricas y dimensiones próximas a las analizadas en el capítulo siguiente con el objetivo de prepararnos de una manera adecuada para distinguir el comportamiento de una interfaz con áreas transversales diferentes. Por esto se muestra en la figura 2.11 las magnitudes del campo eléctrico para una guía de dimensiones A1XB1=192.0 mm X 3.2 mm que aloja un relleno dieléctrico Є1=56 - j13, el cual es similar al adoptado para un tejido muscular trabajando a una frecuencia de 2.45 GHz. En esta gráfica notamos la atenuación rápida de los campos cuando se encuentra con la pared conductora (z=0) y también para una gran penetración axial.

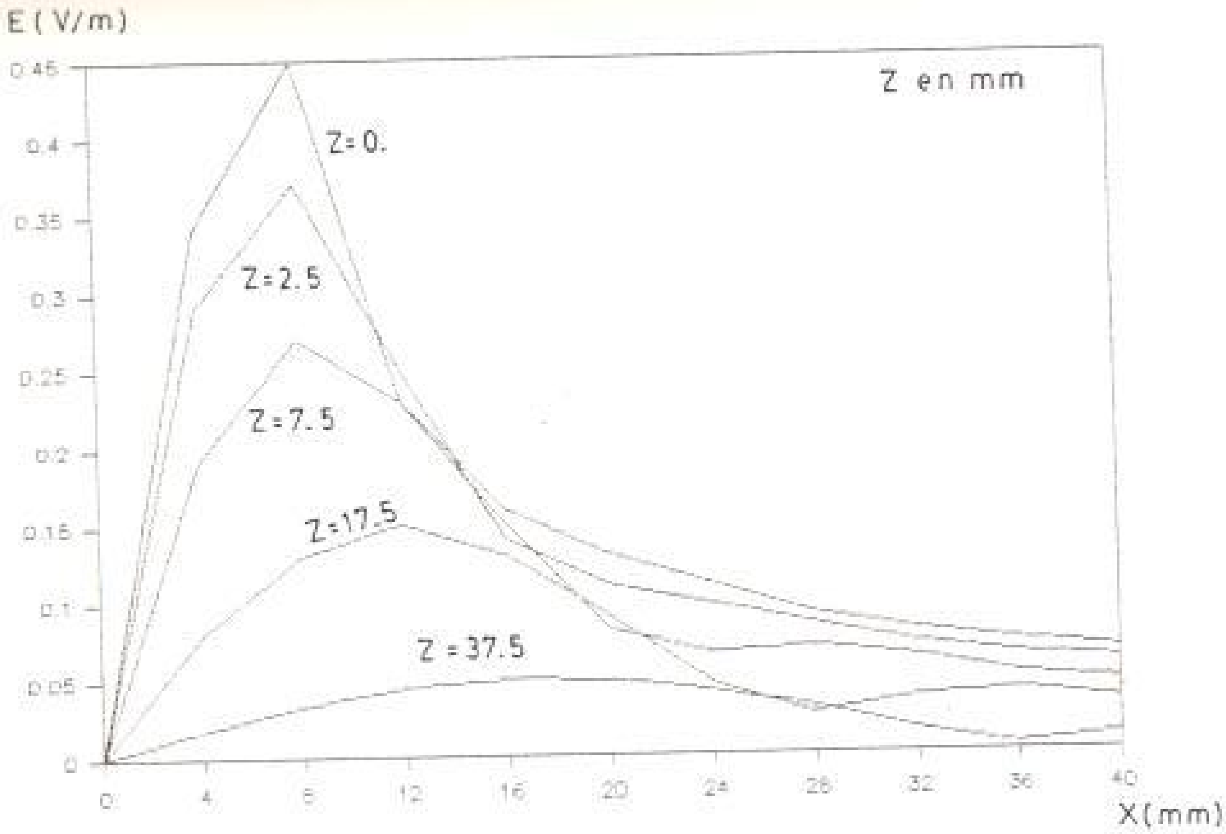


Fig. 2.11 Campos eléctricos para una guía que aloja un dieléctrico similar a la conformada para un tejido muscular($\epsilon 1$=56 - j13) a diferentes valores de x i z=Ø.Ø, 2.5, 7.5, 17.5, 37.5

CAPITULO III

UNION CON GUIAS DE ONDA DE DIFERENTE AREA

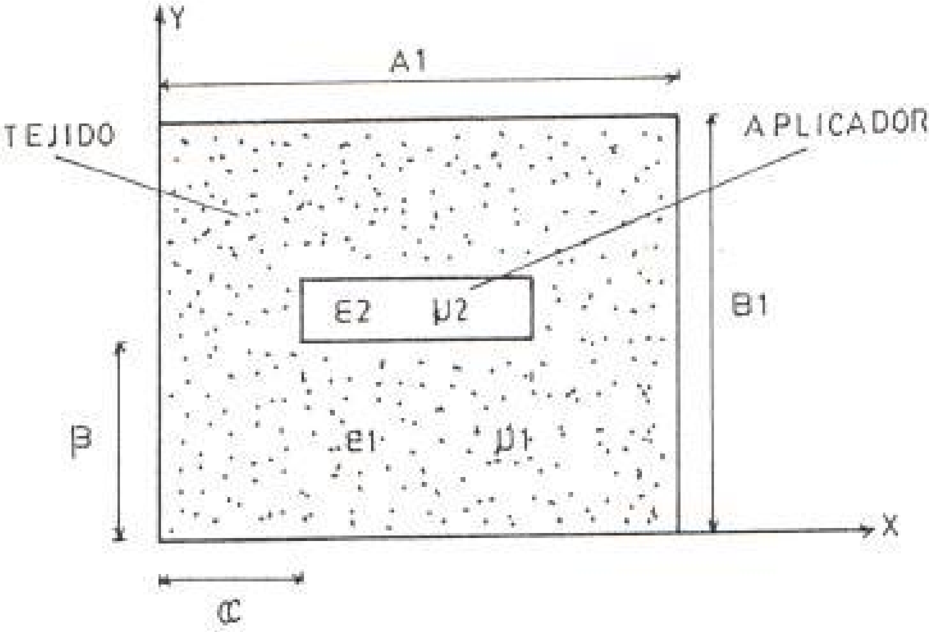
3.1 TEORIA

Este apartado contiene la parte esencial del estudio. El desarrollo de una interfaz de dos guías con áreas transversales es analizado paso a paso, tanto en su formulación teórica como en la implementación de un programa en el computador, para examinar con atención la unión tejido biológico-aplicador. Como se mencionó anteriormente, la guía de onda de mayor área simula un medio biológico (piel, músculo, grasa) con características dieléctricas propias del tejido a tratar y la guía de menor área es el aplicador en sí.

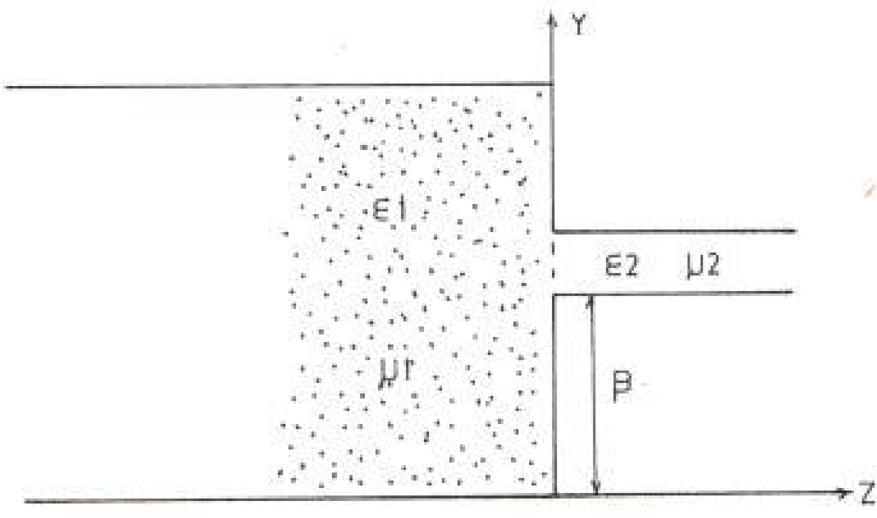
En la figura 3.1 se ilustra la sección transversal del tejido-aplicador con sus respectivas dimensiones.

Al igual que en el capítulo anterior, los dos medios poseen dieléctricos diferentes y se asume pérdidas despreciables en las paredes conductoras de la guía de mayor área causadas por perturbaciones, en vista de tener los campos concentrados en la discontinuidad.

La interfaz de guías en esta sección no presenta



(a)



(b)

Fig. 3.1 (a) Sección transversal de la discontinuidad tejido-aplicador. (b) Vista axial.

las mismas facilidades que la de unión con altura constante. Cuando se trabaja con este tipo de unión se pueden presentar modos TE y TM (transversales a z), en las guías por el hecho mismo de tener alturas y longitudes diferentes.

La propagación de modos TE y TM, lleva a ajustar el modelo de la interfaz, a la generación de modos TE^{x} y TM^{x}, los cuales son transversales al eje x; si empleamos la familia de modos TE^{x} y TM^{x} y consideramos la incidencia del modo fundamental $TE^{z}_{1,0}$, el cual coincide con el modo $TE^{x}_{1,0}$, en el caso de nuestras guías solo se propagarán los modos $TE^{x}_{m,n}$; al trazar de esta forma el problema se reduce la utilización de memoria del computador , por no tener la propagación de los modos $TM_{m,n}$

Los campos transversales para los modos $TE^{x}_{r,s}$ en una guía de dimenciones AXB se dfinen de la siguiente manera:

$$\hat{e}_{r,s} = Eo*Sen(r\pi x/A)*Cos(s\pi y/B)*\hat{y} \qquad (1)$$

$$\hat{h}_{r,s} = \hat{H}ox*Sen(r\pi x/A)*Cos(s\pi y/B)*$$

$$\hat{H}oy*Cos(r\pi x/A)*Sen(s\pi y/B) \qquad (2)$$

y las componentes axiales están dadas por :

$$\hat{e}_{z} = (-s\pi/B\Gamma_{r,s})*Sen(r\pi x/A)*Sen(s\pi y/B)*\hat{k} \qquad (3)$$

$$\hat{H}_z = (-r\pi/j\omega\mu A)*\cos(r\pi x/A)*\cos(s\pi y/B)*\hat{k} \qquad (4)$$

donde:

$$\hat{H}ox = -Y_{r,s}*Eo*\hat{\imath}$$

$$\hat{H}oy = (-rs\pi^2 Eo)/(j\omega\mu\Gamma_{r,s}*AXB)*\hat{\jmath}$$

$$\Gamma_{r,s} = [(r\pi/A)^2 + (s\pi/B)^2 - \omega^2\varepsilon\mu]^{1/2}$$

$$Y_{r,s} = (j/\omega\mu\Gamma_{r,s})*(\omega^2\varepsilon\mu - (r\pi/A)^2)$$

Si consideramos para el aplicador, la propagacion de modos $TE_{r,s}$ y en el tejido los modos $TE_{m,n}$, estos modos van a generarse indistintamente en las guias. Con el fin de programar con mayor facilidad los modos existentes en las guias debemos ordenarlos adecuadamente.

Se ha comprobado que la ordenación de los modos da como resultado efectuar en menor tiempo las operaciones necesarias que debe realizar el computador para el desarrollo de la interfaz . La tecnica empleada para conseguir esta ordenación consiste en asignar un número a un modo (recordemos que cada modo posee un par de números como subíndice), con lo cual unificamos al modo; a otro modo otro número diferente y así sucesivamente pero en forma ordenada. Para determinar el orden en el cual deben asignarse los números (M) a los modos, construyamos una tabla como la mostrada en la figura 3.2, en esta tabla podemos observar una matriz cuadrada para 25 modos. Luego, a cada modo le damos un número de manera tal que formemos una diagonal en forma progresiva como se muestra en la figura 3.3.

Debemos tener en cuenta cuando se esté programando, el número de modos con los cuales estamos en capacidad de trabajar, este será siempre del orden n^2, donde n es un número entero, dando como resultado la formación de una matriz cuadrada para los modos a propagarse en las guías.

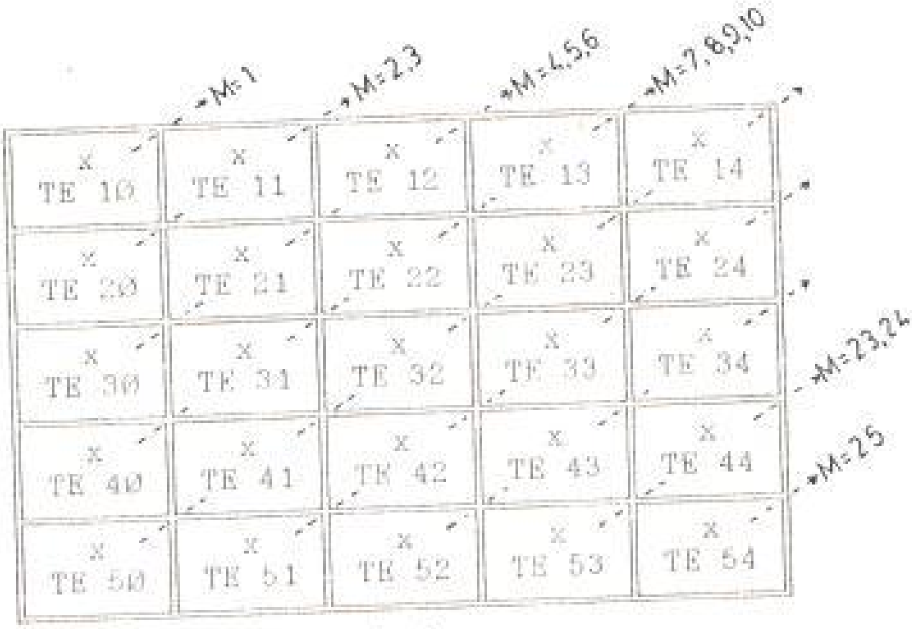
El planteamiento así encaminado es válido para los modos propagantes en el tejido como en el aplicador.

Una vez escogido el número de modos a utilizar en las dos guías, debemos considerar también sus dimensiones. Los modos para las dos guías y sus dimensiones tienen que estar en función de la ecuación (12), dada en el capítulo II, para la obtención de resultados favorables para la unión.

A continuación, procedemos a la definición de las integrales Pi, Qi, y Xji para fijar los elementos correspondientes a la matriz generalizada de dispersión.

TE^x_{10}	TE^x_{11}	TE^x_{12}	TE^x_{13}	TE^x_{14}
TE^x_{20}	TE^x_{21}	TE^x_{22}	TE^x_{23}	TE^x_{24}
TE^x_{30}	TE^x_{31}	TE^x_{32}	TE^x_{33}	TE^x_{34}
TE^x_{40}	TE^x_{41}	TE^x_{42}	TE^x_{43}	TE^x_{44}
TE^x_{50}	TE^x_{51}	TE^x_{52}	TE^x_{53}	TE^x_{54}

Fig. 3.2 Matriz de 25 modos transversales eléctricos a x



(a)

MODO TE^x	VALOR M
$TE^x 10$	1
$TE^x 20$ $TE^x 11$	2 3
⋮	⋮
$TE^x 54$	25

(b)

Fig. 3.3 Matriz de números asignados (modos unificados M) a los modos $TE^x m,n$ en (a) y (b).

La expresión para Pi esta dada por:

$$Pi=\int_{So} \hat{e}_{ai} X \hat{h}_{ai} .d\hat{s}$$

$$Pi=\int_{0}^{B1}\int_{0}^{A1} (Sen(m\pi x/A1)*Cos(n\pi y/B1)*\hat{j})X$$

$$(Ya_{m,n} *Sen(m\pi x/A1)*Cos(n\pi y/B1)*\hat{i})*dxdy*\hat{k} \qquad (5)$$

integrando tenemos:

$$Pi= Ya_{m,n} *A1XB1/2 \quad si\ n = 0 \qquad (6)$$

$$Pi= Ya_{m,n} *A1XB1/4 \quad si\ n \neq 0 \qquad (7)$$

Para integrar Pi debemos tener presente:1. El producto vectorial de los campos electricos e_{ai} con los campos magneticos h_{ai} da como resultado una simplificación de la componente en dirección "y", obteniendo la integral presentada en (5);2.- A los modos unificados se les ha asignado los modos reales m,n.

La integral Qj es igual a:

$$Qj=\int_{So} \hat{e}_{bj} X \hat{h}_{bj} .d\hat{s}*\hat{k}$$

$$Qj=\int_{0}^{B2}\int_{0}^{A2} (Sen(r\pi x/A2)*Cos(s\pi yB2)*\hat{j})X$$

$$(Yb_{r,s} *Sen(r\pi x/A2)*Cos(s\pi y/B2)*\hat{i}).dxdy*\hat{k} \qquad (8)$$

integrando resulta:

$$Qj = Yb_{r,s} * A2 X B2/2 \qquad \text{si } s = 0 \qquad (9)$$

$$Qj = Yb_{r,s} * A2 X B2/4 \qquad \text{si } s \neq 0 \qquad (10)$$

De manera similar a la integral de Pi, una componente del campo magnético se anula. A los modos unificados se los asigno como j, y a los modos reales como r,s.

Finalmente queda definir Xji. Conociendo que:

$$Xji = \int_{So} \hat{e}_{ai} \times \hat{h}_{bj} \, .ds*\hat{k}$$

la integral viene dao por:

$$Xji = \int_{\beta}^{\beta+B2} \int_{\alpha}^{\alpha+A2} (Sen(r\pi x'/A2)*Cos(s\pi y'/B2*\hat{j})) \times$$

$$(-Ya_{m,n} *Sen(m\pi x/A1)*Cos(n\pi y/B1)*\hat{i}).dxdy*\hat{k} \qquad (11)$$

donde: $x'=x-\alpha$ y $y'=y-\beta$

integrando tenemos:

$$Xji = Ya_{m,n} *[(Sen(U)+Sen(V))/P1 - (Sen(W)-Sen(V))/P2]*$$

$$[(Sen(F)+Sen(G))/P3 + (Sen(H)-Sen(G))/P4]/4 \qquad (12)$$

donde:

$P1 = \pi*[r/A2 - m/A1]$

$P2 = \pi*[r/A2 + m/A1]$

$P3 = \pi*[s/B2 - n/B1]$

$P4 = \pi*[s/B2 + n/B1]$

$U = P1(\alpha + A2) - r\pi\alpha/A2$

$V = m\pi\alpha/A1$

$W = P2(\alpha + A2) - r\pi\alpha/A2$

F= P3(B + B2) −mπB/B2

G= nπB/B1

H= P4(B + B2) −mπB/B2

Induudablemente no es deseable tener diviciones por cero durante la ejecución del programa, por lo tanto las cantidades P1, P2, P3 y P4 no deben tomar este valor. Esto puede lograrse considerando límites a la expresión encontrada para Xji. Por análisis matemático calculamos los términos para los cuales Xji puede ser determinada cuando P1, P2, P3 o P4 se hacen cero:

R1=A2*Cos(απM1/A1) − a*Cos(απR2/A2)

R2=A2*Cos(απM1/A1) − a*Cos(απR2/A2)

R3=(1 − B2/B1)/(1/B2 − 1/B1)

R4=(1 + B2/B1)/(1/B2 − 1/B1)

los cuales reemplazan a las fracciones que contienen P1, P2, P3 y P4.

Con los valores correspondientes a P1, Qj, y Xji pueden calcularse los elementos matriciales [S22] y [S12] para conocer exactamente el comportamiento de la interfaz tejido-aplicador.

Es fundamental para este estudio, conocer el campo electrico presente en un punto culaquiera del medio biologico, esto nos conduce a calcular la energia irradiada al tejido. Los campos electricos axiales y transversales se definen por las siguientes ecuaciones:

$$Ey = \sum_{k=1}^{i} Eok * e_y * e^{-\Gamma k * z} \qquad (13)$$

$$Ez = \sum_{k=1}^{i} Eok * e_z * e^{-\Gamma k * z} \qquad (14)$$

donde i es el número de modos unificados para la guia de mayor sección transversal y e_y, e_z y Γk están dados por las ecuaciones (1) y (3) respectivamente, mientras que Eok puede ser determinado en base al elemento matricial [S12].

Las coordenadas para el calculo del campo eléctrico se ilustra en la figura 3.4. Mientras tanto el campo electrico total para esta configuración se puede obtener a partir de:

$$| E_T | = [\, | Ey |^2 + | Ez |^2 \,]^{1/2} \qquad (15)$$

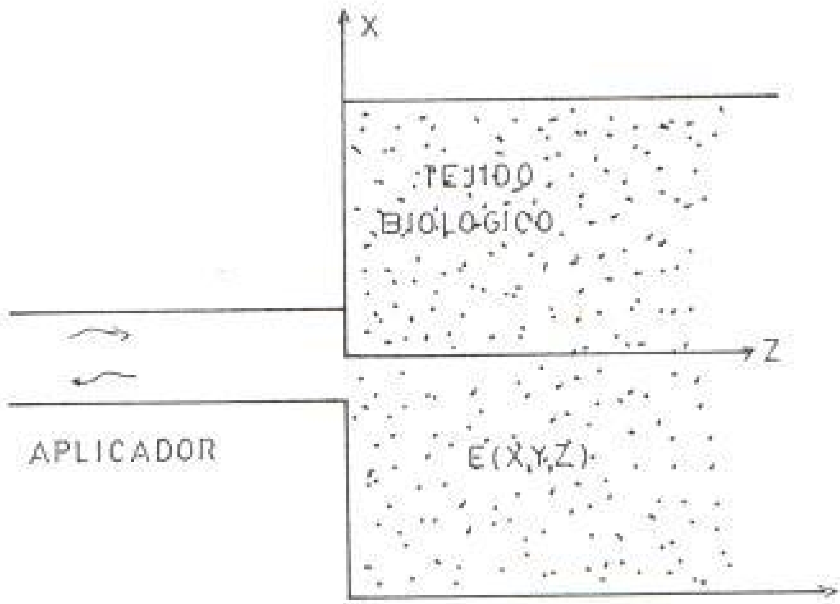
Con el campo eléctrico total podemos conocer si se desea, la Tasa de Absorción Específica (TAE) en el tejido; esta TAE esta en función de las caracteristicas del tejido irradiado y se lo calcula de la siguiente manera:

$$TAE = \sigma * | E_T |^2 / 2 * \delta \qquad (16)$$

donde:

σ= conductividad del tejido(mho/m)

δ= densidad del tejido (Kg/m3)



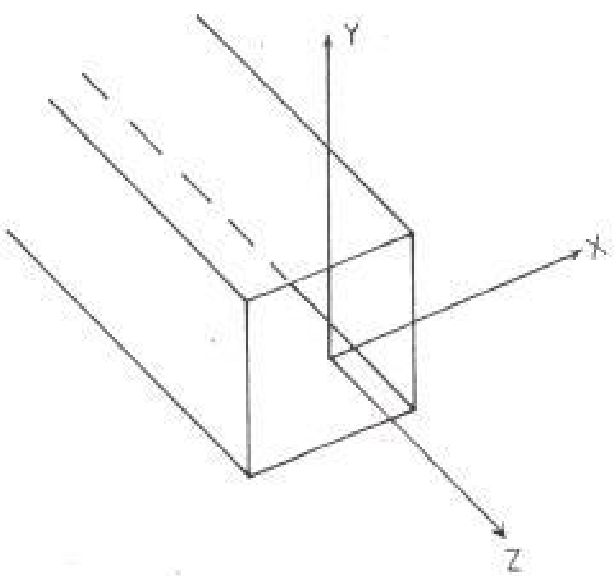


Fig. 3.4 (a) Interfaz tejido aplicador. (b) Coordenadas del aplicador.

3.2 PROGRAMA QUE REALIZA UN ANALISIS DE LA INTERFAZ

```
C     PROGRAMA PRINCIPAL PARA LA DETERMINACION
C     DE DOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE DISPERSION
C     MMN=M MODOS QUE SE GENERAN EN LA GUIA 1
C     MRS=R MODOS QUE SE INGRESAN EN LA GUIA 2
C
C     *******PROGRAMA PARA DOS CAPAS DE TEJIDOS********
C
C     DEFINICION DE MATRICES
C
      PARAMETER(MMN=400,MRS=16,MM=20,MN=20,MR=4,MS=4)
      COMPLEX MS22(MRS,MRS),MS12(MMN,MRS),KI(MMN),CI(MMN)
      COMPLEX GM1(MMN),GM11(MMN),ADM1(MMN),ADM11(MMN),PII1(MMN)
      COMPLEX GM2(MRS),ADM2(MRS),QJJ2(MRS)
      COMPLEX XJI(MRS,MMN),QJJ(MRS,MRS)
      COMPLEX PRDØ(MMN,MRS),IDEN(MRS,MRS),ZP(MMN),Z11(MMN)
      COMPLEX PRD1(MMN,MRS),PR2(MRS,MRS),SUM1(MRS,MRS)
      COMPLEX SUM11(MRS,MRS),RES1(MRS,MRS),SUM2(MRS,MRS)
      COMPLEX DTM(MMN),DT(MMN),EYY(MMN),EZZ(MMN)
      COMPLEX PER1,PERM1,PER11,PERM11,PER2,PERM2,NUIM,UR,AG2,ETY,ET
      INTEGER MTORI(MM,MN),MT1,MT2,M1,N1,R2,S2
      REAL Z,Z1,X,X1,X2,ETT
      COMMON /ZONA/ MS22,MS12
      COMMON /ZONB/ PII1
      COMMON /ZONC/ QJJ2
      PI=4.*ATAN(1.)
      NUIM=CMPLX(Ø.,1.)
      UR=CMPLX(1.,Ø.)
      FRE=2.45
      AG2=(1.,Ø.)
C
C     CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES DE LAS GUIAS
C
      A1=127.Ø
      A2=25.40
      B1=63.5Ø
      B2=12.7Ø
      ALFA=(A1-A2)/2.
      BETA=(B1-B2)/2.
      Z1=2.5
      X1=ALFA+A2/2.
      Y=BETA+B2/2.
      PER1=(40.Ø,-12.Ø)
      PER11=(42.Ø,-13.Ø)
      PERM1=UR
      PERM11=UR
      PER2=UR
      PERM2=UR
C
C
C
      WRITE(2Ø,25)
```

```
25    FORMAT(/,20X,'CARACTERISTICAS DE LA GUIA 1')
      WRITE(20,45) A1,B1,PER1,PER11,MMN
45    FORMAT(/,1X,'A1=',F5.2,2X,'B1=',F6.2,2X,'PER1=',F5.2,',',F6.2
     1       ,2X,'PER11=',F5.2,',',F6.2,2X,'MODOS=',I3,/)
      WRITE(20,35)
35    FORMAT(/,20X,'CARATERISTICAS DE LA GUIA 2')
      WRITE(20,55) A2,B2,PER2,PERM2,MRS
55    FORMAT(/,1X,'A2=',F6.2,2X,'B2=',F6.2,2X,'PER2=',F6.2,',',F6.2
     1       ,2X,'PERM2=',F5.2,',',F5.2,2X,'MODOS=',I3,/)
      DO 19 I0=1,5
      D=0.5*I0
      WRITE(20,56) D
C     DO 20 K=15,25,10
      DO 20 K=1,1
      FRE=9.00
C     PER2=1.0*K*UR
      DO 21 L=1,1
      FRE=FRE+0.5
      CALL MDIS(A1,B1,A2,B2,ALFA,BETA,PER1,PERM1,PER2,PERM2,
     1 AG2,Z1,X1,Y,FRE,PER11,D)
C
C     CALCULO DEL ERROR DE POTENCIA
C
      ERP2=0.0
      DO 30 I=1,MRS
      ERP2=ERP2+CABS(MS22(I,1))**2*REAL(OOJ2(I))
30    CONTINUE
      ERP1=0.0
      DO 40 I=1,MMN
      ERP1=ERP1+CABS(MS12(I,1))**2*REAL(PI11(I))
40    CONTINUE
      ERPO=REAL(OOJ2(1))-ERP2-ERP1
      X=REAL(MS22(1,1))
      Y=IMAG(MS22(1,1))
      FAS=ATAN2(X,Y)*180.0/PI
      WRITE(20,555) CABS(MS22(1,1)),FAS,ERPO,FRE
      WRITE(10,555) CABS(MS22(1,1)),FAS,ERPO,FRE
21    CONTINUE
20    CONTINUE
19    CONTINUE
555   FORMAT(/,11X,F7.5,8X,F9.3,8X,E10.3,8X,F7.3,/)
56    FORMAT(5X,'ESPESOR DE LA PRIMERA CAPA:',F9.2)
      END
C
C     SUBRUTINA PARA ENCONTRAR LOS ELEMENTOS
C     MS12 Y MS22 DE LA MATRIZ DE DISPERSION
C
      SUBROUTINE MDIS(A1,B1,A2,B2,ALFA,BETA,PER1,PERM1,PER2,PERM2,
     1 AG2,Z1,X1,Y,FRE,PER11,D)
C
C     DEFINICION DE MATRICES
C
      PARAMETER(MMN=400,MRS=16,MM=20,NN=20,MR=4,MS=4)
```

```
      COMPLEX MS22(MRS,MRS),MS12(MMN,MRS),KI(MMN),CI(MMN)
      COMPLEX GM1(MMN),GM11(MMN),ADM1(MMN),ADM11(MMN),PI11(MMN)
      COMPLEX GM2(MRS),ADM2(MRS),DJJ2(MRS)
      COMPLEX XJI(MRS,MMN),DJJ(MRS,MRS)
      COMPLEX PRD0(MMN,MRS),IDEN(MRS,MRS),ZP(MMN),Z11(MMN)
      COMPLEX PRD1(MMN,MRS),PRD2(MRS,MRS),SUM1(MRS,MRS)
      COMPLEX SUM11(MRS,MRS),RES1(MRS,MRS),SUM2(MRS,MRS)
      COMPLEX PER1,PERM1,PER11,PERM11,PER2,PERM2,NUIM,UR,AB2,ETY,ET
      COMPLEX BTM(MMN),BT(MMN),EYY(MMN),EZZ(MMN)
      INTEGER MTORD(MM,MN),MT1,MT2,M1,N1,R2,S2
      REAL Z,Z1,Y,X1,X2,ETT
      COMMON /ZONA/ MS22,MS12
      COMMON /ZONB/ PI11
      COMMON /ZONC/ DJJ2
      REAL A1,B1,A2,B2,ALFA,BETA,FRE
      REAL ERROR/0.0000001/
      UR=CMPLX(1.,0.)
      NUIM=CMPLX(0.,1.)
      PI=4.*ATAN(1.)
C
C     ORDENACION DE LOS MODOS DE LAS GUIAS DE ENTRADA
C     Y SALIDA POR EL METODO DE FORMACION DE LOS MODOS
C                    UNIFICADOS:M
C
      DO 10 I=1,MM
      DO 20 J=1,MN
      M1=I
      N1=J-1
      DO 30 K=1,MR
      DO 40 L=1,MS
      R2=K
      S2=L-1
      MT1=0
      MT2=0
C
C     ORDENACION PARA LA GUIA DE SALIDA
C
      IF((I+J-1-MM).GT.0) GO TO 15
      M=I+J-2
      IF(M.EQ.0) GO TO 25
      DO 41 I1=1,M
      MT1=MT1+I1
41    CONTINUE
      MT1=MT1+J
      GO TO 35
25    MT1=1
      GO TO 35
15    CONTINUE
      M=2*MM-I-J
      IF(M.EQ.0) GO TO 45
      DO 42 I1=1,M
      MT1=MT1+I1
42    CONTINUE
```

```
      MT1=MM**2-MT1-MM+J
      GO TO 35
45    MT1=MM**2
35    CONTINUE
      MTOR1(I,J)=MT1
C
C     ORDENACION PARA LA GUIA DE ENTRADA
C
      IF((K+L-1-MR).GT.0) GO TO 55
      M=K+L-2
      IF(M.EQ.0) GO TO 65
      DO 43 I1=1,M
      MT2=MT2+I1
43    CONTINUE
      MT2=MT2+L
      GO TO 75
65    MT2=1
      GO TO 75
55    CONTINUE
      M=2*MR-K-L
      IF(M.EQ.0) GO TO 85
      DO 44 I1=1,M
      MT2=MT2+I1
44    CONTINUE
      MT2=MR**2-MT2-MR+L
      GO TO 75
85    MT2=MR**2
75    CONTINUE
C
C     *CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS Y ADMITANCIAS DE LAS GUIAS*
C
C     *GUIA DE SALIDA*
C
      GM1(MT1)=(M1*PI/A1)**2+(N1*PI/B1)**2-PER1*PERM1*(PI*FRE/149.
     1 9317)**2
      GM1(MT1)=CSQRT(GM1(MT1))
      ADM1(MT1)=NUIM/(0.0*PI**2*FRE*PERM1*GM1(MT1))
      ADM1(MT1)=ADM1(MT1)*((PI*FRE/149.9317)**2*PER1*PERM1
     1 -(M1*PI/A1)**2)
      GM11(MT1)=(M1*PI/A1)**2+(N1*PI/B1)**2-PER11*PERM1*(PI*FRE/149.
     1 9317)**2
      GM11(MT1)=CSQRT(GM11(MT1))
      ADM11(MT1)=NUIM/(0.8*PI**2*FRE*PERM1*GM11(MT1))
      ADM11(MT1)=ADM11(MT1)*((PI*FRE/149.9317)**2*PER11*PERM1
     1 -(M1*PI/A1)**2)
      P111(MT1)=ADM1(MT1)*A1*B1/4.
      IF(M1.EQ.0) THEN
      P111(MT1)=2.*P111(MT1)
      ENDIF
C
C     GUIA DE ENTRADA
C
      GM2(MT2)=(R2*PI/A2)**2+(S2*PI/B2)**2-PER2*PERM2*(PI*FRE/149.
```

```
     1    9317)**2
          GM2(MT2)=CSQRT(GM2(MT2))
          ADM2(MT2)=NUIM/(Ø,8*PI**2*FRE*PERM2*GM2(MT2))
          ADM2(MT2)=ADM2(MT2)*((PI*FRE/149.93171**2*PER2*PERM2-(R2*PI/A
     1    **2)
          QJJ2(MT2)=ADM2(MT2)*A2*B2/4.
          IF(S2.EQ.Ø) THEN
          QJJ2(MT2)=2.*QJJ2(MT2)
          ENDIF
C
C         CALCULO DE LA MATRIZ XJI
C
          XJI(MT2,MT1)=XFUN(A1,A2,B1,B2,ALFA,BETA,M1,N1,R2,S2)*ADM1(MT1
     1                  /4.
  40      CONTINUE
  30      CONTINUE
  20      CONTINUE
  10      CONTINUE
C
C         DEFINICION DE LA MATRIZ QJJ
C
          DO 5Ø I=1,MRS
          DO 5Ø J=1,MRS
          IF(I.EQ.J) THEN
          QJJ(J,I)=QJJ2(I)
          ELSE
          QJJ(J,I)=CMPLX(Ø.,Ø.)
          ENDIF
  5Ø      CONTINUE
C
C         DEFINICION DE LA MATRIZ PRDØ Y PRD1
C
          DO 6Ø I=1,MMN
          ZP(I)=1.Ø/ADM1(I)
          Z11(I)=1.Ø/ADM11(I)
          KI(I)=(Z11(I)-ZP(I))*EXP(-2*GM1(I)*D)/(Z11(I)+ZP(I))
          DO 6Ø J=1,MRS
          PRDØ(I,J)=XJI(J,I)/(PI11(I)*(1+KI(I)))
          PRD1(I,J)=(1-KI(I))*XJI(J,I)/(PI11(I)*(1+KI(I)))
  6Ø      CONTINUE
C
C         *MATRIZ IDENTIDAD*
C
          DO 7Ø I=1,MRS
          DO 7Ø J=1,MRS
          IF(I.EQ.J) THEN
          IDEN(I,J)=UR
          ELSE
          IDEN(I,J)=CMPLX(Ø.,Ø.)
          ENDIF
  7Ø      CONTINUE
C
C         CALCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE DISPERSION
```

```
C
      CALL MMC(XJI,PRD1,MRS,MMN,MRS,PRD2)
      CALL SMC(PRD2,QJJ,MRS,MRS,SUM1)
      CALL RMC(QJJ,PRD2,MRS,MRS,RES1)
      CALL MINV(SUM1,MRS,SUM1I,DET)
      IF(DET.LE.ERROR) GO TO 90
      CALL MMC(SUM1I,RES1,MRS,MRS,MRS,MS22)
      CALL SMC(MS22,IDEN,MRS,MRS,SUM2)
      CALL MMC(PRD0,SUM2,MMN,MRS,MRS,MS12)
C
C     AMPLITUDES DE LOS MODOS TRANSMITIDOS
C
      DO 89 I=1,MMN
      BT(I)=MS12(I,1)
      C1(I)=2*Z11(I)*EXP((GM11(I)-GM1(I))*D)/(Z11(I)+ZP(I))
      BTM(I)=C1(I)*BT(I)
 89   CONTINUE
C
C     CALCULO DE LOS CAMPOS EY Y EZ
C
      DO 109 I=0,4
      Z=Z1-2.5*(2.0**I)
      WRITE(20,01) ABS(Z)
      WRITE(10,01) ABS(Z)
      WRITE(20,02)
      WRITE(10,02)
C
C     CAMPOS CON Z CONSTANTE Y X VARIABLE
C
      IF(Z.LE.5) THEN
      DO 110 J=0,20,2
      X=X1+2.0*J
      DO 120 L=1,MM
      DO 120 K=1,MN
      KXY=MTOR1(K,L)
      EYY(KXY)=SIN(K*PI*X/A1)*COS((L-1)*PI*Y/B1)*UR
      EZZ(KXY)=-(L-1)*PI*SIN(K*PI*X/A1)*SIN((L-1)*PI*Y/B1
     1         )/(B1*GM1(KXY))
 120  CONTINUE
      ETY=CMPLX(0.0,0.0)
      ETZ=CMPLX(0.0,0.0)
      DO 130 L1=1,MMN
      ETY=ETY+BT(L1)*EYY(L1)*EXP(GM1(L1)*Z)
      ETZ=ETZ+BT(L1)*EZZ(L1)*EXP(GM1(L1)*Z)
 130  CONTINUE
      ETT=SQRT(ABS(ETY)**2+ABS(ETZ)**2)
      X2=2.0*J
      WRITE(20,03) ABS(ETY),ABS(ETZ),ETT,X2
      WRITE(10,03) ABS(ETY),ABS(ETZ),ETT,X2
 110  CONTINUE
      ELSE
      DO 111 J=0,20,2
      X=X1+2.0*J
```

```
      DO 121 L=1,MM
      DO 121 K=1,MN
      KXY=MTOR1(K,L)
      EYY(KXY)=SIN(K*PI*X/A1)*COS((L-1)*PI*Y/B1)*UR
      EZZ(KXY)=-(L-1)*PI*SIN(K*PI*X/A1)*SIN((L-1)*PI*Y/B1
     1         )/(B1*GM11(KXY))
121   CONTINUE
      ETY=CMPLX(0.0,0.0)
      ETZ=CMPLX(0.0,0.0)
      DO 131 L1=1,MMN
      ETY=ETY+BTM(L1)*EYY(L1)*EXP(GM11(L1)*Z)
      ETZ=ETZ+BTM(L1)*EZZ(L1)*EXP(GM11(L1)*Z)
131   CONTINUE
      ETT=SQRT(ABS(ETY)**2+ABS(ETZ)**2)
      X2=2.0*J
      WRITE(20,03) ABS(ETY),ABS(ETZ),ETT,X2
      WRITE(10,03) ABS(ETY),ABS(ETZ),ETT,X2
111   CONTINUE
      ENDIF
109   CONTINUE
      WRITE(20,333)
333   FORMAT(/,13X,'MAGN',12X,'FASE',11X,'ERRORD',10X,'FRE(GHZ)')
01    FORMAT(/,16X,'VALORES DE CAMPOS ELECTRICOS PARA Z=',F7.2,3X)
02    FORMAT(/,15X,'ETY',13X,'ETZ',13X,'ETT',13X,'X2',/)
03    FORMAT(12X,E9.2,5X,E9.2,8X,E9.2,8X,F6.2)
      RETURN
90    WRITE(20,*) 'EXISTE ERROR EN LA INVERSION'
      RETURN
      END
```

3.3 OBTENCION DE RESULTADOS

Debemos tener presente la reflexión y propagación de los modos en las guías de onda, principalmente la del modo fundamental. Por esta razón hemos elaborado una tabla del módulo del coeficiente de reflexión y la fase del mismo para diferentes medios dieléctricos.

En la tabla I constan las dimensiones de la guía de salida con su respectivo número de modos (MMN=400), como recordaremos, mientras mayor sea el número de modos empleados menores son las perturbaciones producidas en las paredes conductoras de las guías. Por lo visto en la tabla I el coeficiente de reflexión no se altera mayormente cuando se varían las dimensiones de la guía de salida.

La tabla I nos permite comparar la veracidad de esta tesis con trabajos realizados para este tipo de interfaz.

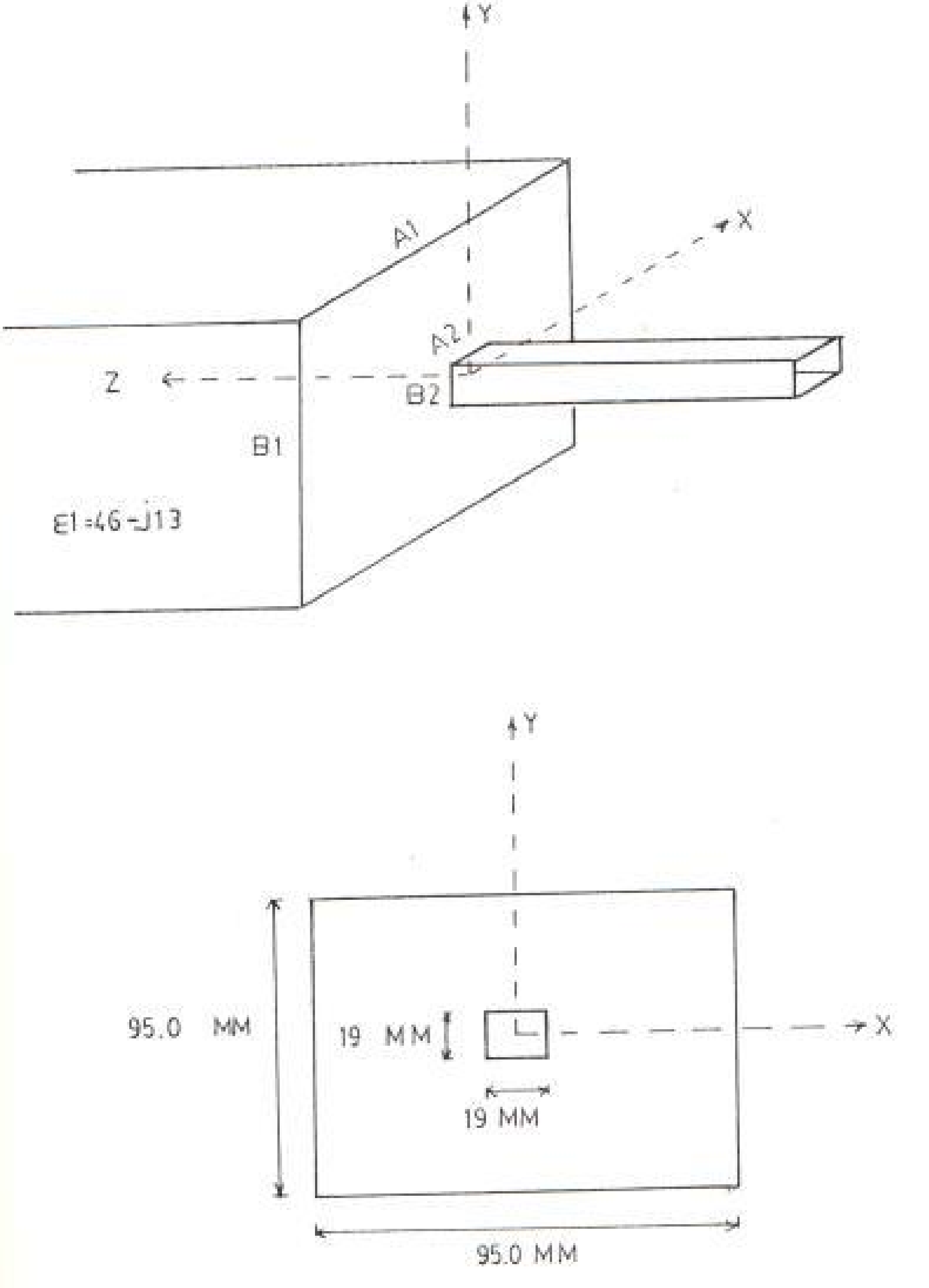
Seguidamente observamos los cambios de magnitudes del campo eléctrico total para dos frecuencias diferentes tomando como referencia las guías ilustradas en la figura 3.5. El dieléctrico alojado por la guía de salida simula un tejido formado por piel para el cual operando a una frecuencia de 2 GHz se logra un intenso campo eléctrico con buena penetración (ver figura 3.6) pero si trabajamos a una frecuencia de

TABLA I

MAGNITUD Y FASE DEL COEFICIENTE DE REFLEXION
PARA DIFERENTES MEDIOS CON PERDIDAS

$\epsilon 1$	MODOS		DIMENSIONES			
	MMN	MRS	5A2X5B2		10A2X10B2	
46-j13	400	16	.211	171.2	.172	173.0
5.8 -j0.6	400	16	.724	30.29	.695	31.29
5.8 -j.06	400	16	.767	36.87	.735	30.11

$\epsilon 2$=30. frec=2.8 GHz



Sin escala

Fig. 3.5 Vista transversal y parcial de dos guías de onda operando con frecuencias de 2.6 o 2.5 GHz.

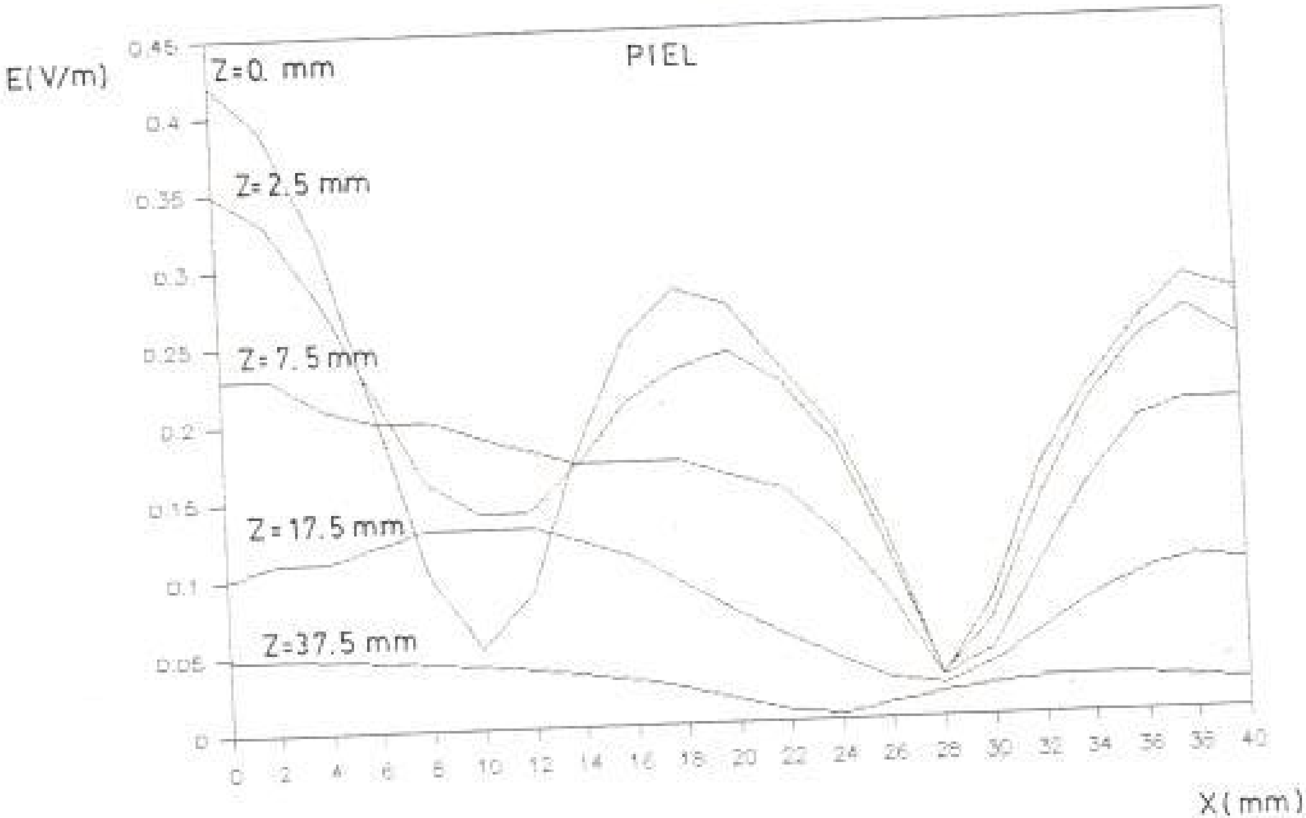


Fig. 3.6 Valores de campos eléctricos totales para diferentes x i z=0.0, 2.5, 7.5, 17.5, 37.5 a una frecuencia de 2 GHz

2.5 GHz estos decaen a cero a medida que se incrementa x (ver figura 3.7).

Examinemos las variaciones de campos eléctricos si las frecuencias de las guías son de 2 y 3 GHz, alojando la guía grande un tejido graso (ϵ_1=5.8 -j0.6). La figura 3.8 contribuye con un mayor radio de distribución de campo eléctrico pero se ve disminuido en su valor máximo; mientras que los campos se agrupan en una zona determinada (ver figura 3.9) con mayor magnitud si el aplicador opera a 2 GHz.

Realicemos algunos comentarios para una interfaz de guías de onda con características similares a las existentes en el laboratorio de Radiofrecuencia (ESPOL). El aplicador tiene las siguientes dimensiones: A2XB2=25.4 mm X12.7 mm y como dieléctrico usa el vacío (ϵ_2=1.0). La relación del número de modos es de MMN/MRS = 800/16, almacenando la guía de salida un dieléctrico con pérdidas y equivalente a ϵ_1=40 -j12, el cual corresponde (basados en tablas) a un tejido muscular. Al igual que obtuviéramos en casos anteriores varía el valor del campo eléctrico total de una frecuencia a otra pero en este caso conserva una cierta similitud en la forma de distribuirse. Esto es mostrado en las figuras 3.10 y 3.11.

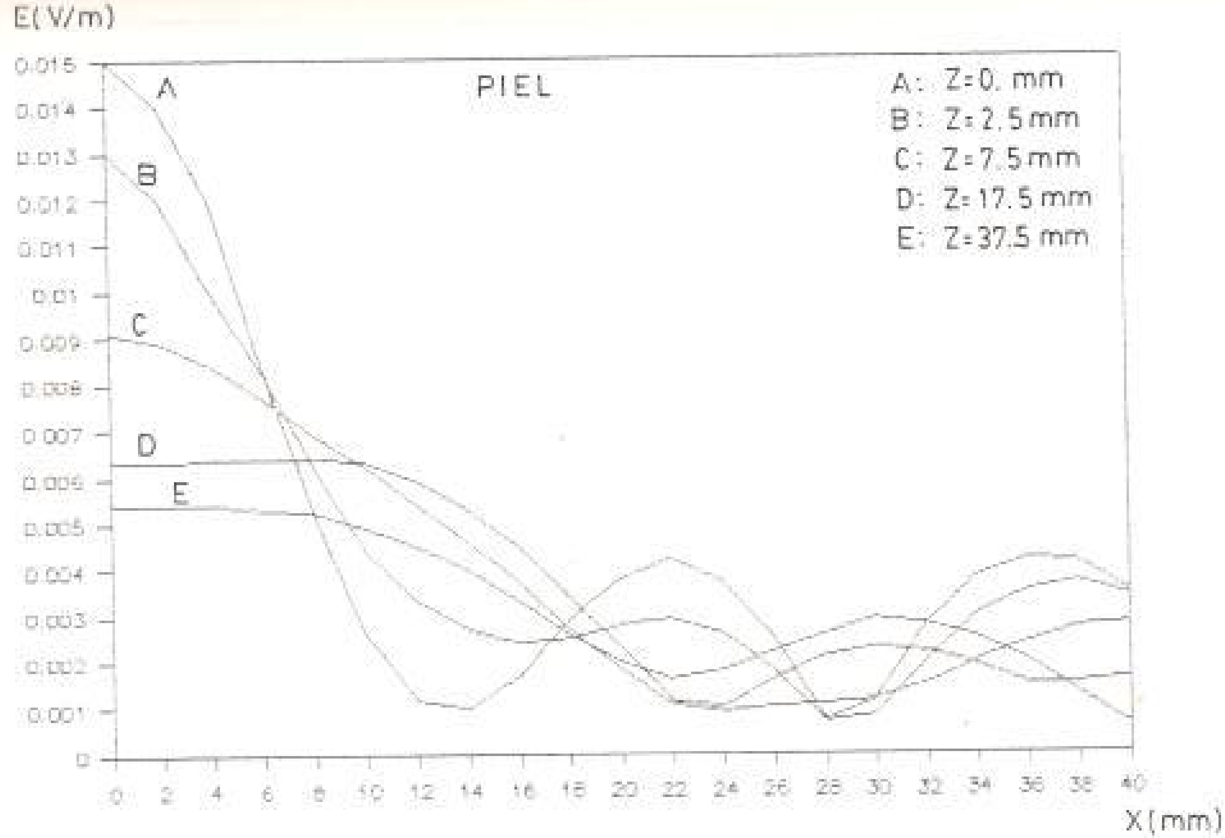


Fig. 3.7 Valores de campos eléctricos toteles para diferentes x y z=0.0, 2.5, 7.5, 17.5, 37.5 a una frecuencia de 2.5 GHz

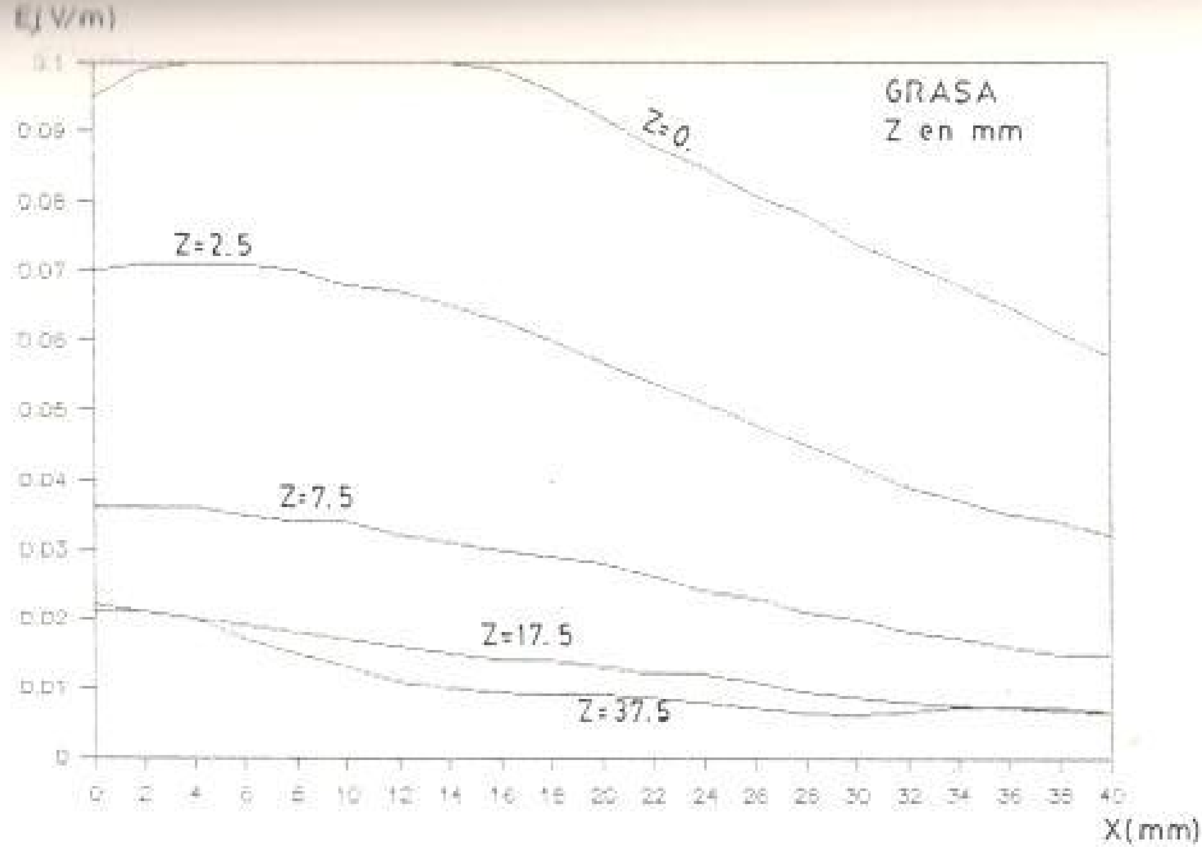


Fig. 3.8 Campos eléctricos totales versus x para diferentes z operando a una frecuencia de 3 GHz para un tejido con ϵ1=5.8 - j0.6

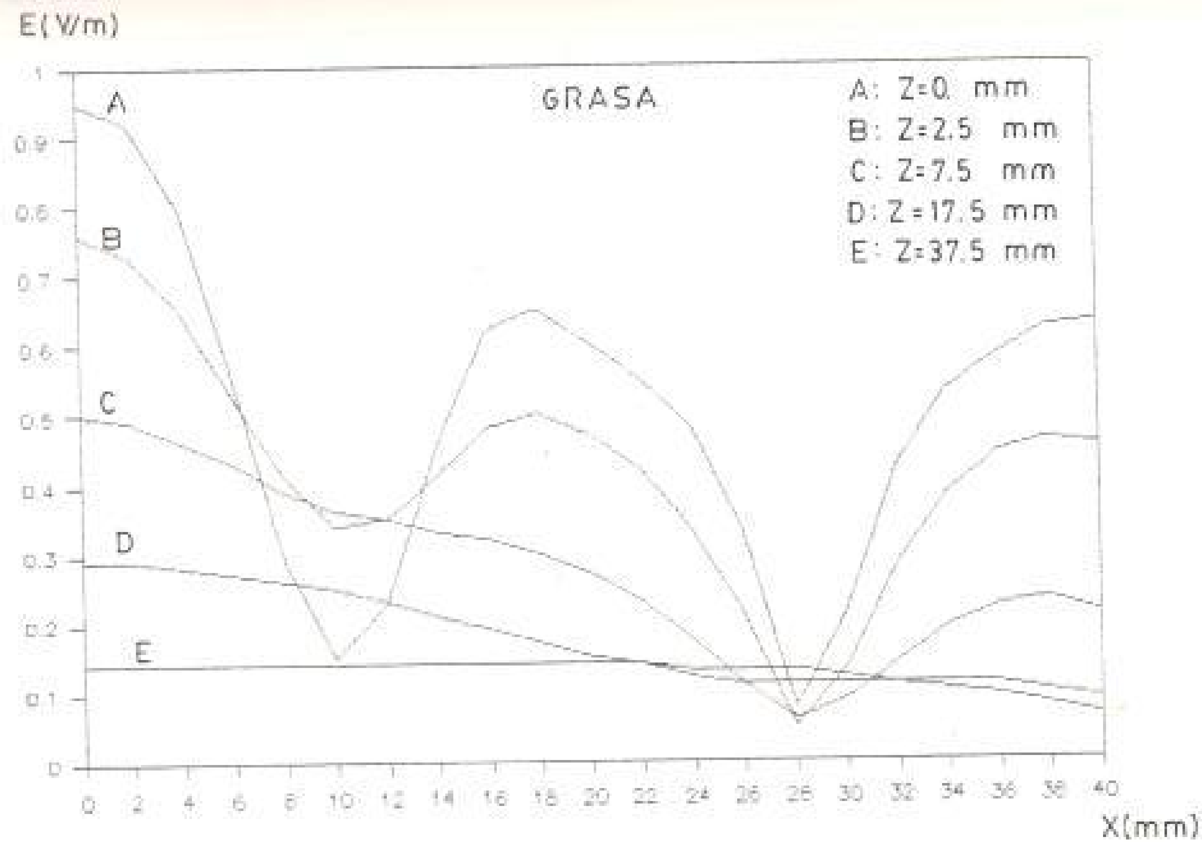


Fig. 3.9 Campos eléctricos totales versus x para diferentes valores de z operando a una frecuencia de 2 GHz

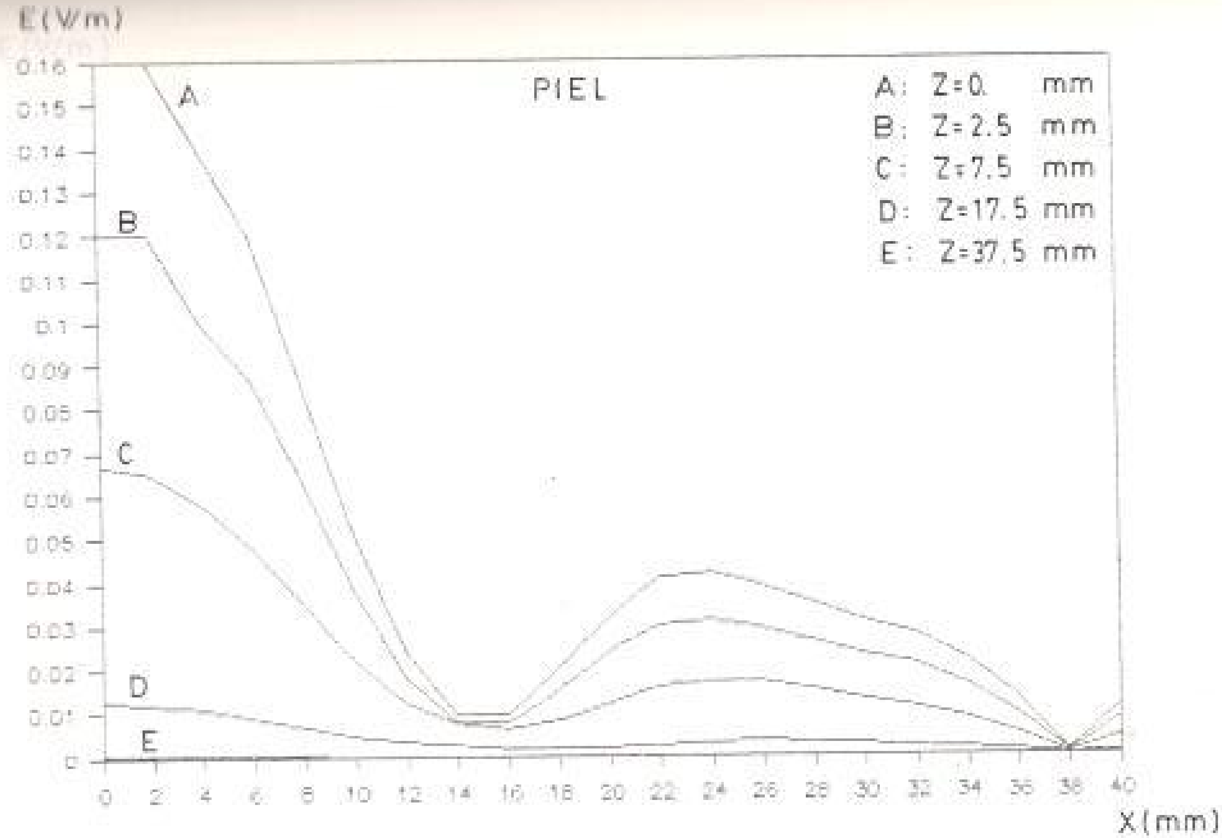


Fig. 3.10 Magnitudes de campos eléctricos versus x para diferentes z y una frecuencia de 8 GHz

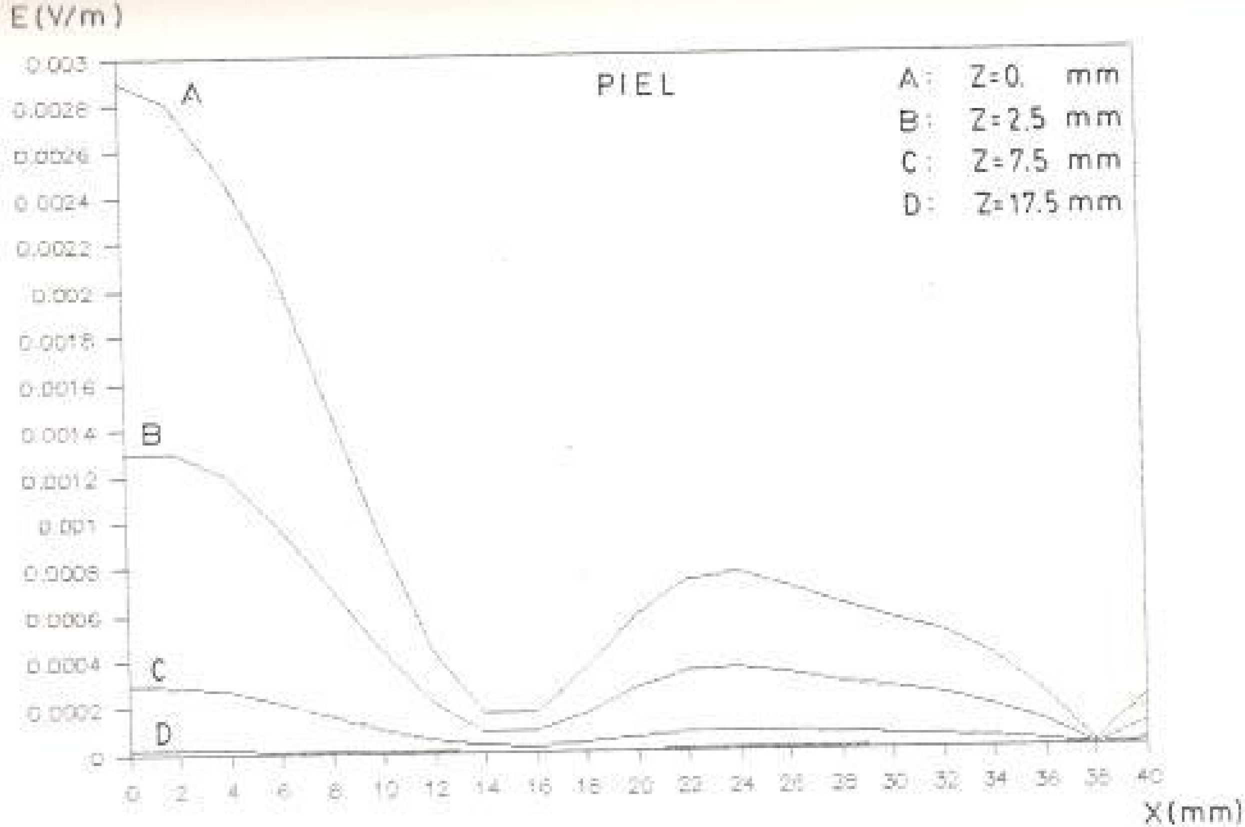


Fig. 3.11 Magnitudes de campos eléctricos versus x para una frecuencia de 13 GHz y una guía que simula un tejido conformado por piel

Si estamos interesados en una neoplasia superficial o profunda debemos considerar la energía irradiada al tejido que depende del campo eléctrico total. Por lo visto en la ecuación (16) de este capítulo esta energía es el cuadrado del campo eléctrico.

Otro tejido importante a tratar en el siguiente apartado es la grasa, por tal motivo construimos dos gráficas en las cuales están presentes la forma distribución del campo eléctrico en dicha masa biológica. La figura 3.12 y 3.13 muestran los campos eléctricos totales para un dieléctrico con pérdidas almacenado en la guía grande.

Para los resultados encontrados en este capítulo, nos referimos como campos eléctricos a la suma de los campos eléctricos transversales y axiales. Hay que acotar algo común sucedido en las guías que alojan al tejido biológico y es la presencia de un campo eléctrico axial pequeño, es decir, el campo eléctrico total es una contribución del campo eléctrico transversal solamente.

Continuemos analizando lo sucedido con la penetración del campo eléctrico en un tejido formado por piel, en el cual se producen neoplasias en mínimas proporcionas en hombres y mujeres.

Al tratar con un aplicador de sección transversal

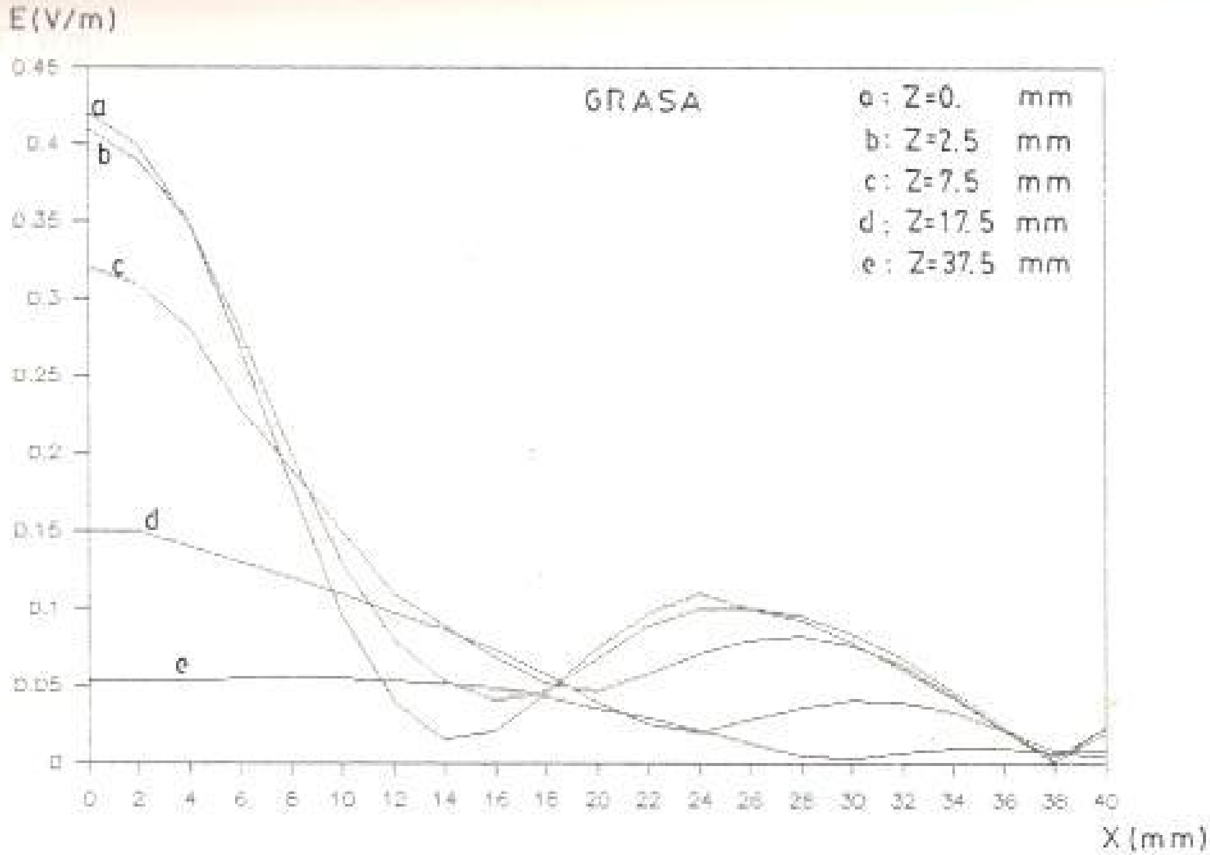


Fig. 3.12 Magnitudes de campos eléctricos versus x para una frecuencia de 8 GHz y una guía que simula un tejido conformado por grasa

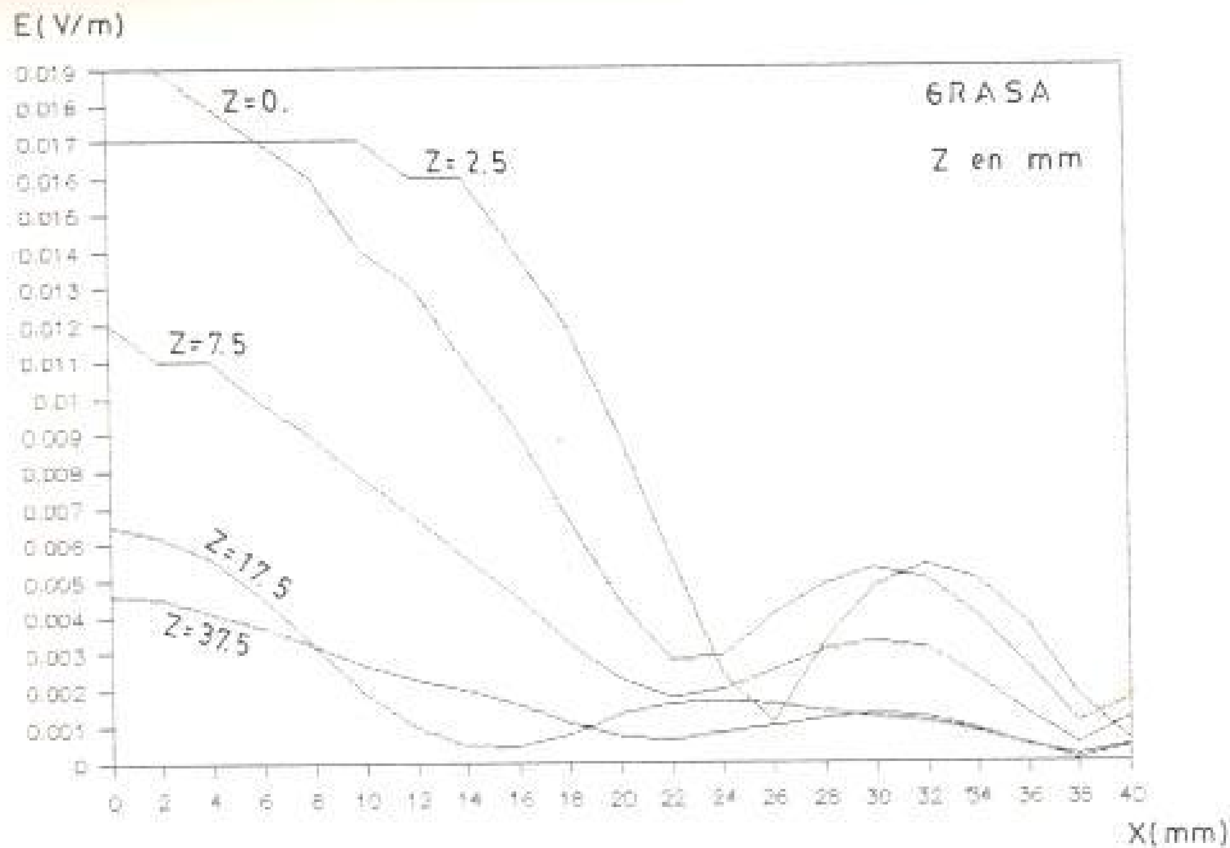


Fig. 3.13 Magnitudes de campos eléctricos versus x para una frecuencia de 13 GHz con una guía que simula un tejido conformado por grasa.

cuadrada notamos la formacion de campos eléctricos centrados al eje "y", deslizandose hasta una distancia x bien definida (x=12 mm), luego de lo cual se reduce significativamente en magnitud como lo ilustra la figura 3.14. La figura 3.15 presenta iguales caracteristicas pero los campos son de menor magnitud por influir la frecuencia de operación (frecuencia igual a 2.25 y 2.75 GHz).

Califiquemos lo acontecido en el caso de trabajar con un aplicador de seccion transversal rectangular. Los campos electricos versus z se muestran en las figuras 3.16 y 3.17 . Como era de esperarse, los campos barren una mayor porcion de longitud x con ligeras variaciones en la magnitud comparada con la analizada en el caso anterior.

3.4 APLICADOR CON AREA VARIABLE

Esta seccion guarda ciertas diferencias con lo tratado en los apartados anteriores, diferente por plantear a la guia de onda de mayor seccion transversal rellena con dos dieléctricos distintos, es decir, se estudia un aplicador-tejido biológico en la cual la guia grande almacena dos capas dieléctricas, simulando de mejor manera los tejidos celulares del cuerpo humano.

El problema presentado se ilustra gráficamente en la

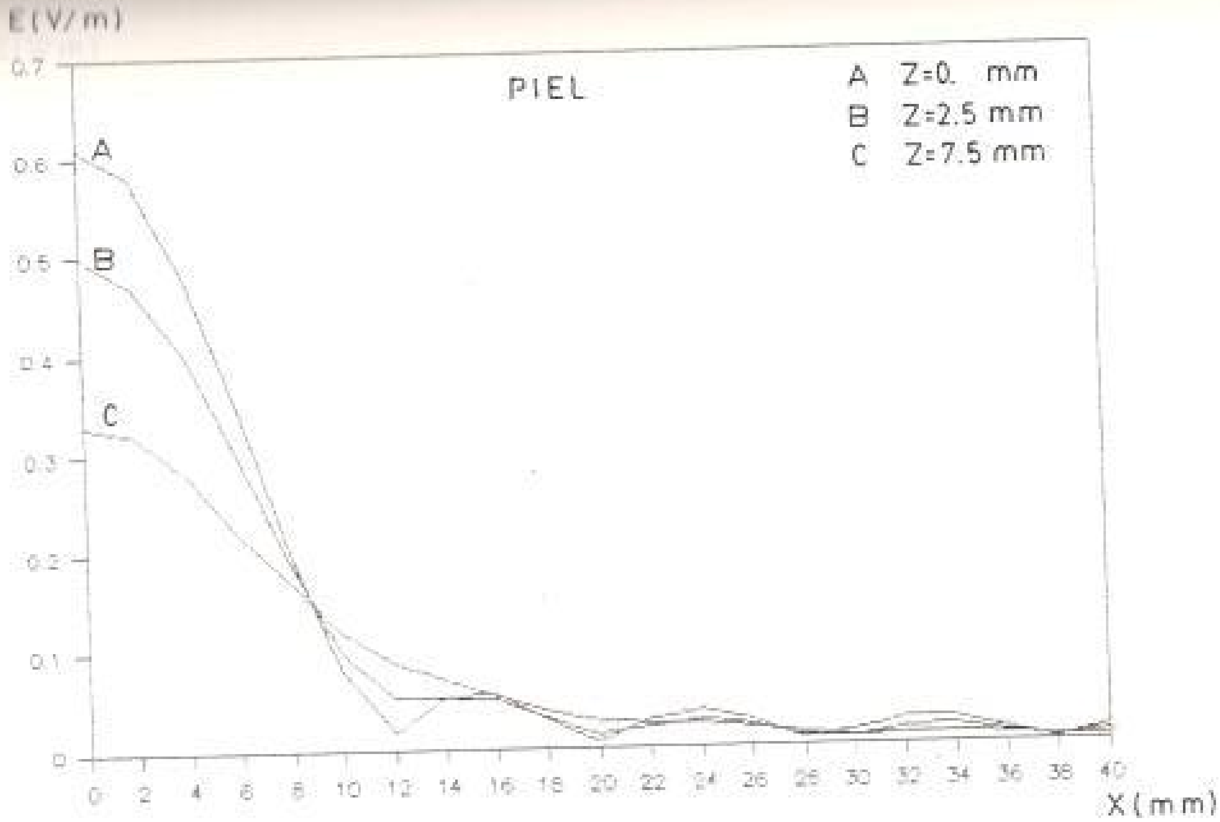


Fig. 3.14 Magnitud de campos eléctricos para un aplicador de sección transversal cuadrada a una frecuencia de 2.25 GHz a difrentes x y diversos z

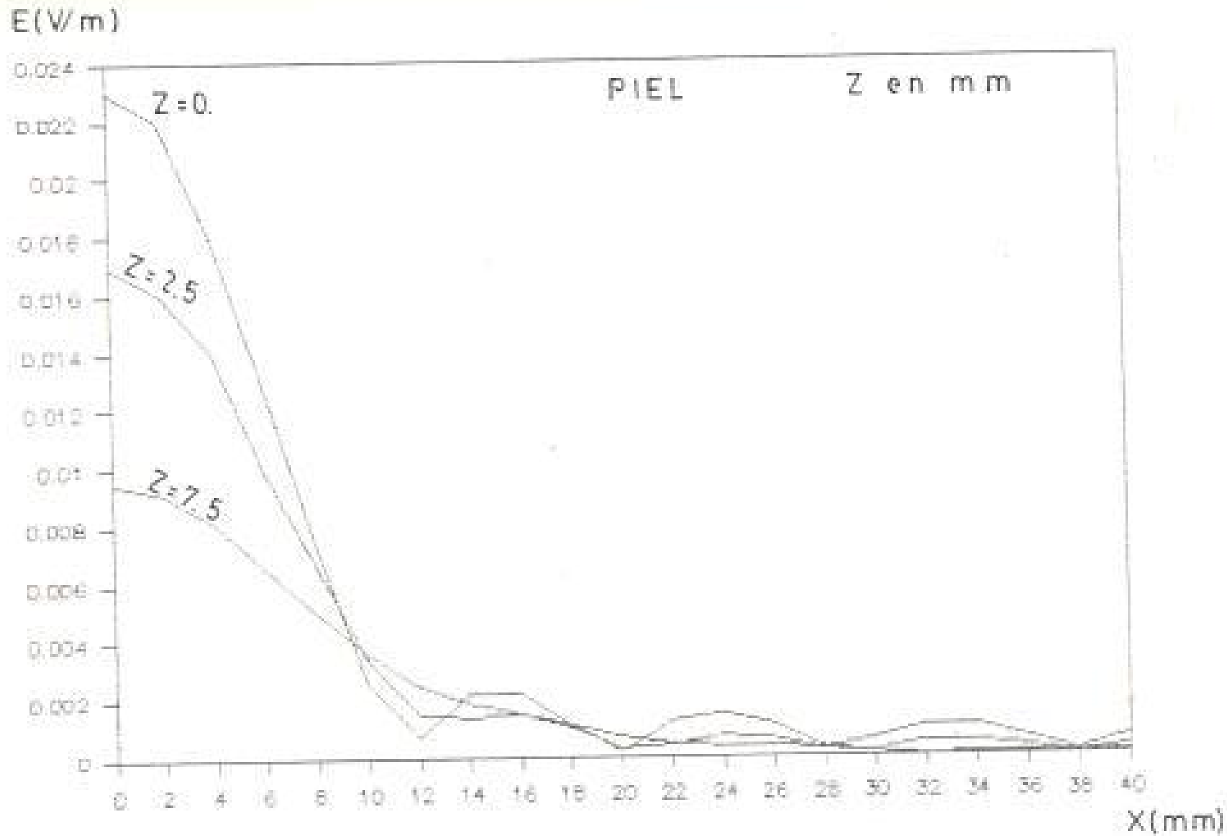


Fig. 3.15 Magnitud de campos eléctricos para un aplicador de sección transversal cuadrada a una frecuencia de 2.75 GHz a diferentes x y diversos z.

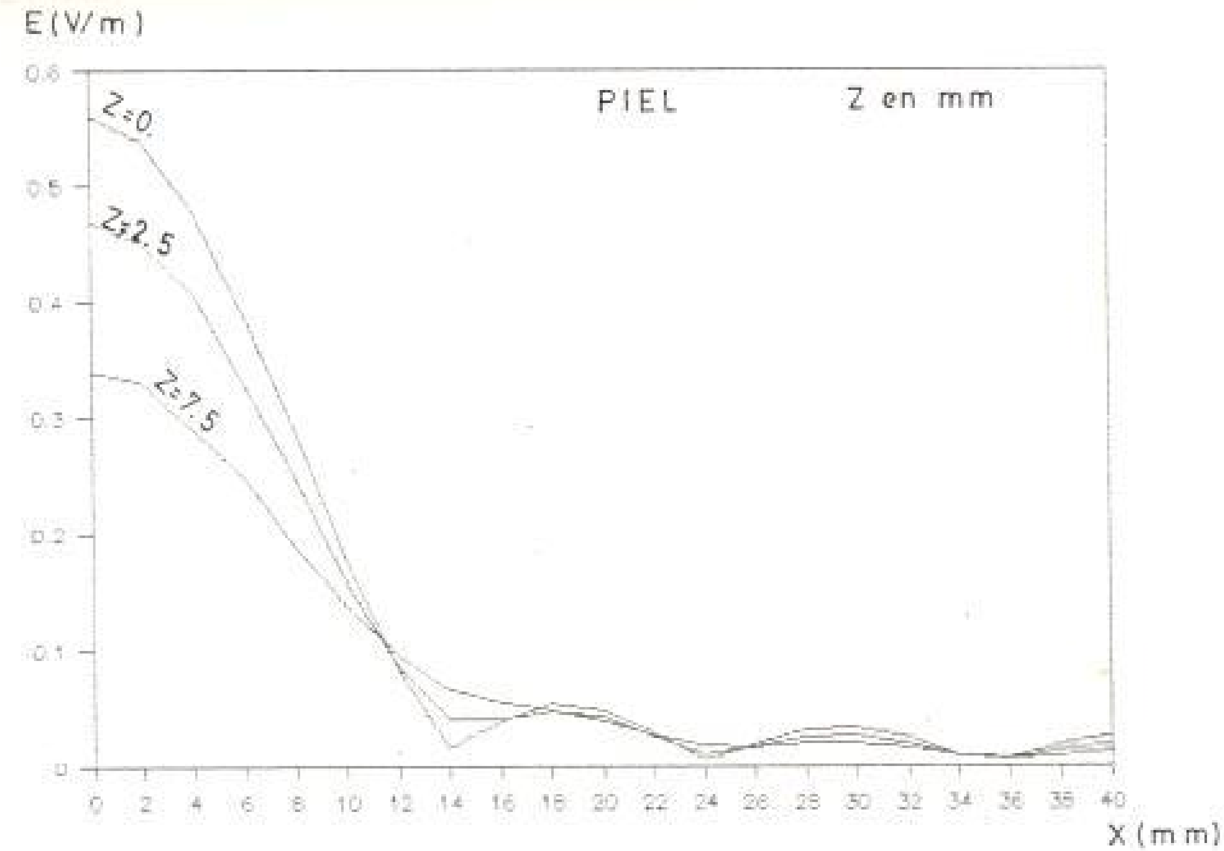


Fig. 3.16 Campos eléctricos para un aplicador con sección trasversal rectangular a una frecuencia de 2.25 GHz y variando x i z.

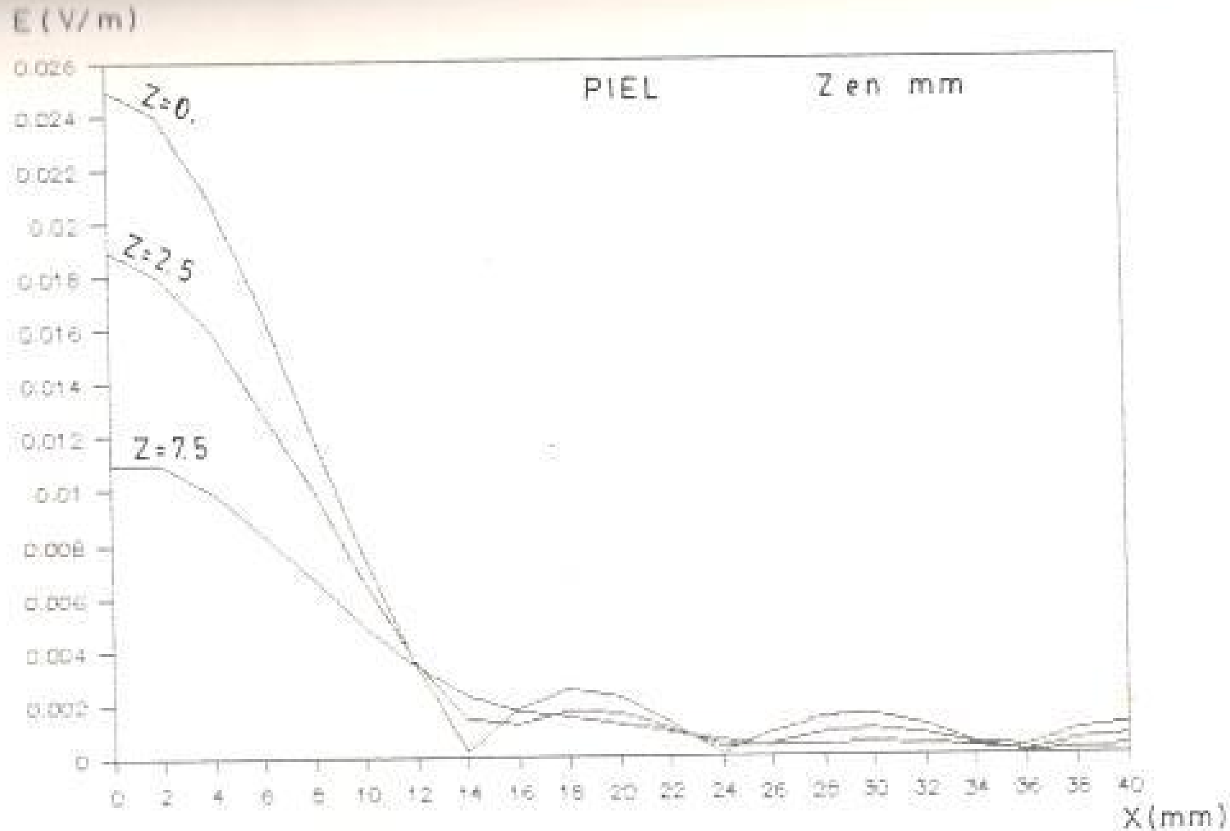


Fig. 3.17 Campos eléctricos para un aplicador con sección transversal rectangular a una frecuencia de 2.75 GHz con variaciones de x y z

figura 3.18.

De forma similar a lo desarrollado en capítulos anteriores, la guía de onda rectangular de mayor área simula un tejido celular y la de menor el aplicador; en la figura 3.19 se muestra gráficamente las dimensiones, ondas incidentes, amplitudes de campos y dieléctricos para las dos guías.

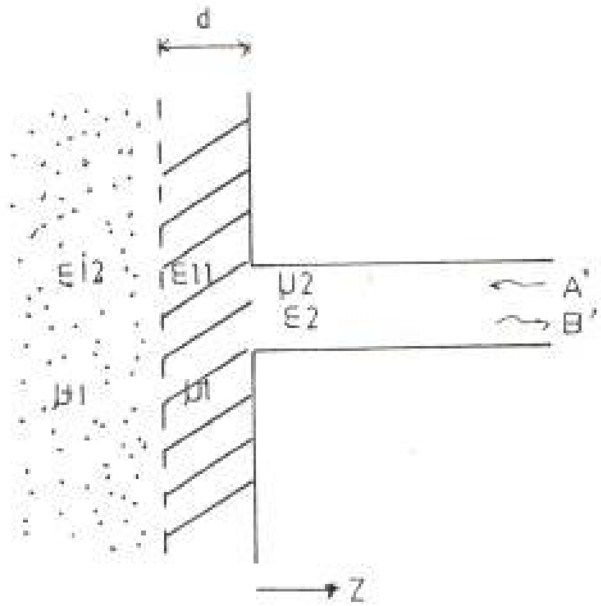
Los campos eléctricos y magnéticos transversales totales para las porciones comprendidas entre z mayor que cero y de cero a "d" están dadas por las ecuaciones presentadas en el capítulo I. Ahora, para la discontinuidad (en realidad un cambio de impedancia en la guía) de la guía de dimensiones A1XB1 en z igual a "d" se transmiten campos transversales definidos de la siguiente manera:

$(z>|d|)$:

$$\hat{E}_t = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{*}\, \hat{e}_{ck}\, e^{-\Gamma_{ck}^{*} z}$$

$$\hat{H}_t = \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{*}\, \hat{h}_{ck}\, e^{-\Gamma_{ck}^{*} z}$$

Por tener las mismas dimensiones la guía de onda de mayor área los campos transversales para puntos ubicados en las cercanías tanto a la izquierda como a la derecha de z igual a "d" se consideran de la forma presentada a continuación:



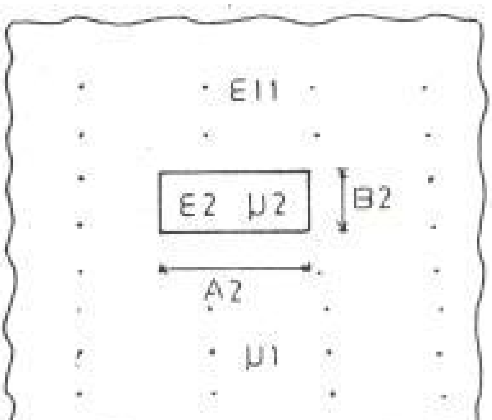


Fig. 3.19 Guía acoplada a una de gran sección transversal en la cual se observan dos permitividades diferentes.

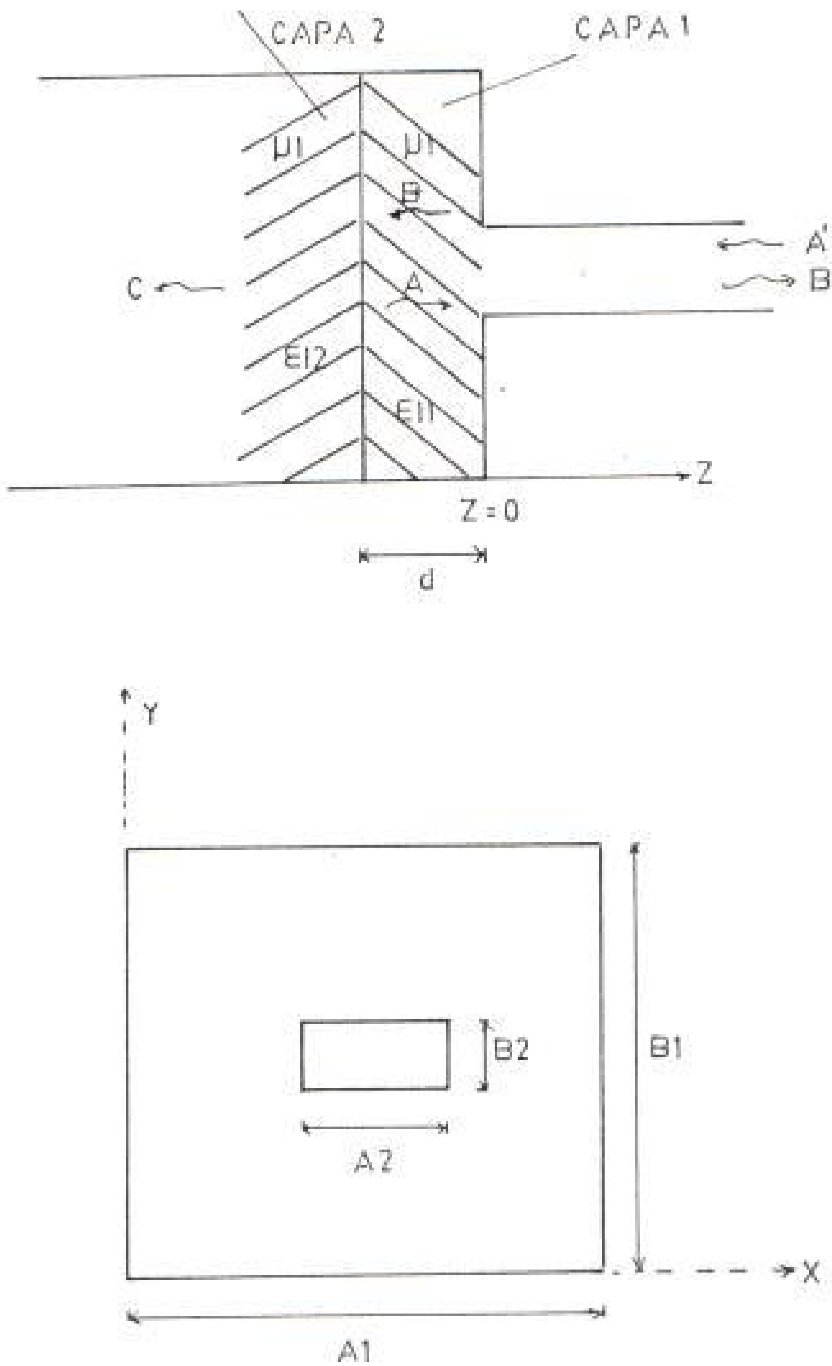


Fig. 3.19 Interfaz de dos guías de onda con sus respectivas dimensiones.

$$\hat{e}_{ai} = \hat{e}_{ci} \quad \text{y}$$

$$\hat{h}_{ai} = \hat{h}_{ci} * Zci/Zai$$

donde Zci y Zai son las impedancias de las capas de los dos medios dieléctricos.

Para calcular los campos transmitidos a la capa cuyo dieléctrico es el €12 y los campos reflejados a la capa con €11 empleamos igualmente la matriz generalizada de dispersión pero introduciendo un factor "K", este factor tiene como propósito relacionar los campos transmitidos por la discontinuidad aplicador-tejido (en z=0) y los reflejados por la segunda capa de la guía, esto es: A=K*B donde K se definirá posteriormente.

Las ecuaciones de la MSG tomando en cuenta lo anteriormente anotado se estructura así:

$$B = S11*K*B + S12*A'$$

$$B' = S21*K*B + S22*A'$$

Efectuando el procedimiento mostrado en el capítulo I para una discontinuidad de guías de onda, esto es, aplicando condiciones de contorno y procedimientos matemáticos obtenemos las siguientes relaciones:

$$P*(K*B+B)=X^{t}*(A'+B')$$

$$X*(K*B-B)=Q*(-A'+B')$$

Por el mismo camino realizado en el capitulo I, la componente matricial S22 de la MSG queda definida como:

$$[S22]=[G+X*(I-K)*P^{-1}*(I+K)^{-1}*X^{t}]^{-1}$$

$$*[G-X*(I-K)*P^{-1}*(I+K)^{-1}*X^{t}]$$

y la componente S12 como:

$$[S12]=[P^{-1}*(I+K)^{-1}*X^{t}*(I+S22)]$$

En las ecuaciones anteriores la letra I corresponde a una matriz identidad y la variable K esta dada por:

$$Ki=\frac{(Zci-Zai)}{(Zai+Zci)}*e^{-2\Gamma ci*d}$$

matricialmente Ki es:

$$[Ki]=\begin{bmatrix} K1 & 0 & . & 0 \\ 0 & K2 & . & 0 \\ . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & Ki \end{bmatrix}_{MxM}$$

donde d es el espesor de la primera capa de dielectrico.

Los valores de los campos transversales transmitidos al segundo tejido biologico estan dados por:

$$Ci=B(i)*\frac{2*Zci}{(Zai+Zci)}*e^{(\Gamma ci-\Gamma ai)*d}$$

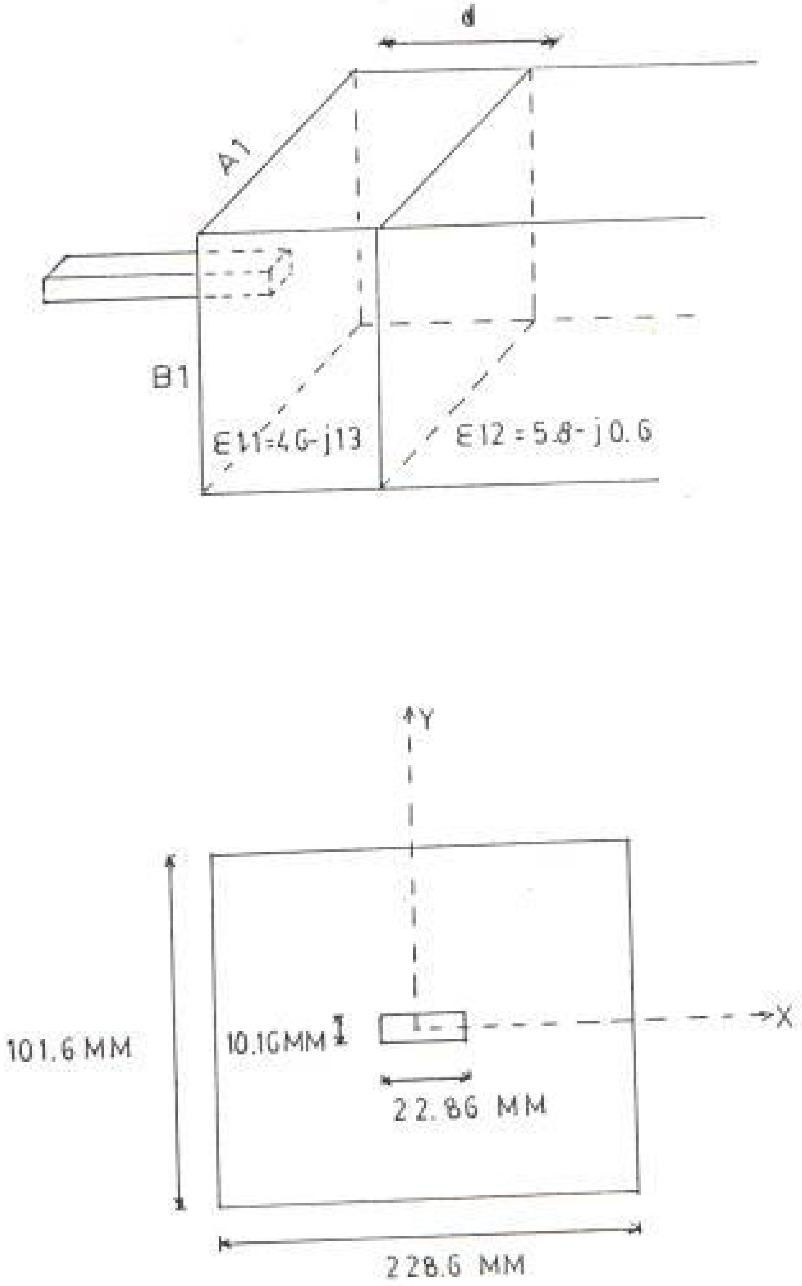
La ecuación anterior se determina en funcion del cambio de impedancia de la guía grande.

En primer lugar, hay algo importante que no se ha mencionado en los apartados anteriores y es la variación del campo eléctrico en dirección "y". A lo largo de la tesis esta dirección la consideramos centrada en el aplicador y no se obtendrán resultados por incrementar el número de gráficas ya existentes.

¿Qué acontece con el coeficiente de reflexión cuando una guía está influenciada por dos capas de permitividades con pérdidas?, la respuesta dependerá del espesor de la primera capa del dieléctrico.

Escogiendo un aplicador de dimensiones A2XB2=22.86 mm X10.16 mm rellena con dieléctrico ϵ_2=15, acoplado a una guía en la cual se alojan una capa de piel y una de grasa (con dimensiones mostradas en la figura 3.20), analicemos el coeficiente de reflexión en función de varias frecuencias. La figura 3.21 ilustra dichas variaciones. Al aumentarse la frecuencia son mayores los incrementos del coeficiente de reflexión y en la misma forma lo hace si el espesor de la capa dieléctrica pasa de 0.5 mm a 1.5 mm. Debemos recalcar la existencia para este caso de una desproporción de modos a áreas transversales.

Entremos al análisis del comportamiento de la distribución espacial de los campos eléctricos. El



Sin escala

Fig. 3.20 Esquema de dos guías, una de las cuales aloja dos medios biológicos (piel y grasa) y la otra se rellena con dieléctrico $\epsilon 2=15$.

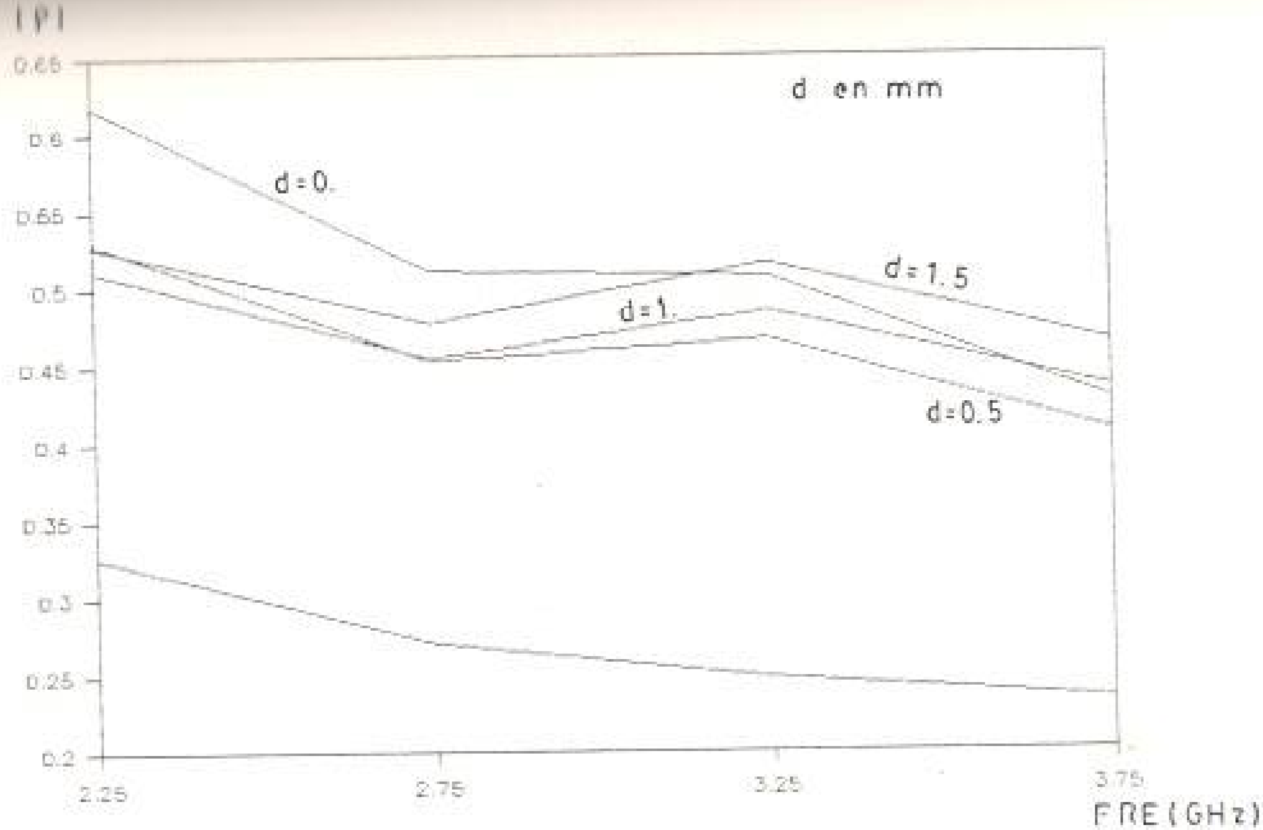


Fig. 3.21 Módulo del coeficiente de reflexión para diversas frecuencias y espesores de capas dieléctricas.

aplicador posee las siguientes características: A2XB2= 25.4 mm X 12.7 mm, relleno con una permitividad ε2=1.2 y utiliza un número de modos MRS=16; mientras que el tejido está compuesto por piel (ε11=40 - j12) y grasa (ε12=4 - j0.6) y emplea 400 modos. Las figuras 3.22, 3.23 y 3.24 constatan una disminución sustancial de campo eléctrico a medida que incrementamos la longitud "d" pero con un aumento de su distribución volumétrica.

Al simular los medios biológicos piel y músculo para irradiarlos con el aplicador anterior resultan las gráficas 3.25 y 3.26 en los cuales el campo eléctrico tiende a anularse al incrementarse x, luego forma un semiovalo para finalmente caer a cero.

Cambiando las características de la guía aplicadora. Ahora la guía pequeña tiene las siguientes dimensiones: A2XB2=18.63 mm X 18.63 mm con dieléctrico ε2=20, modos MRS=25. Para la guía que almacena a un tejido de piel con grasa, su sección transversal es: A1XB1=186.3 mm X186.3 mm , existiendo en ella 400 modos con ε11=46 - j13 para la primera capa y ε12=5.8 -j0.6 para la segunda. Al trabajar con frecuencias de 2.25 y 2.75 GHz es notorio una disminución de campo eletrico al pasar de la menor a la mayor frecuencia; pero para 2.25 GHz los campos decrecen al incrementarse el valor de "d", cosa

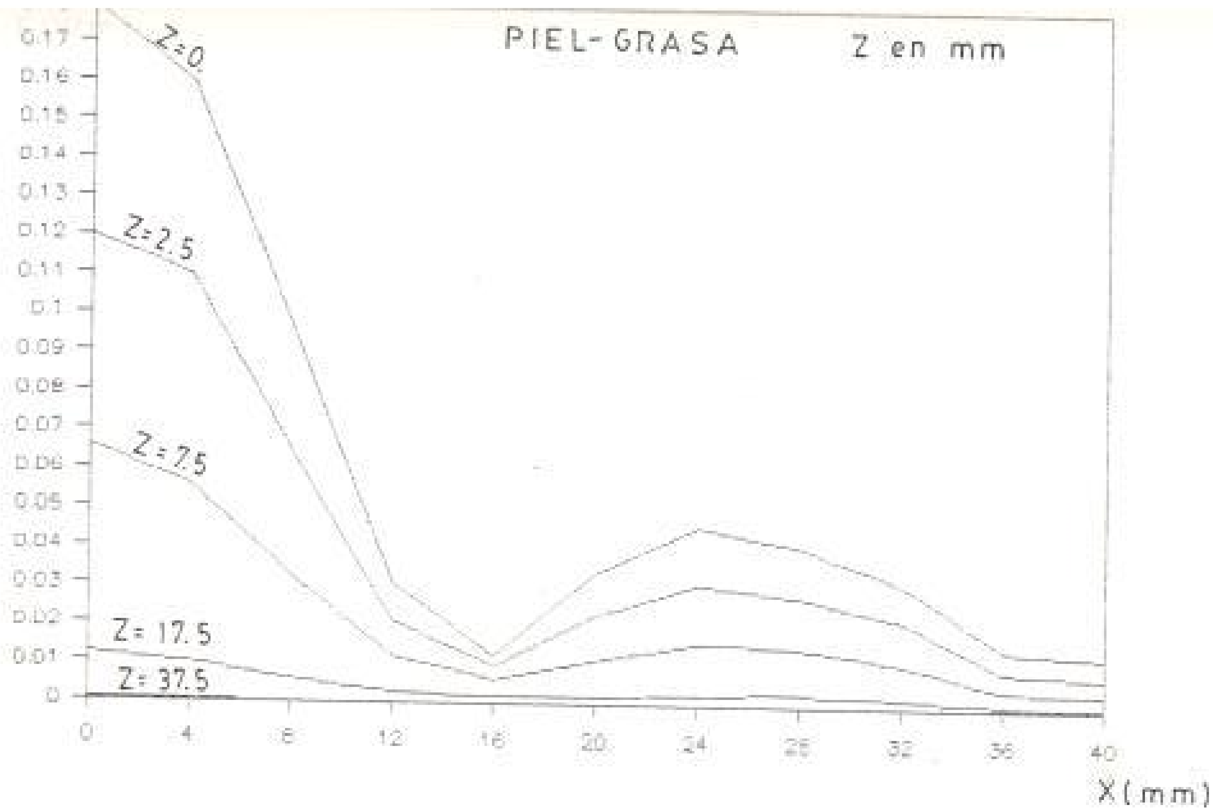


Fig. 3.22 Campos electricos versus x para diversos z, para una guía con dos capas de tejidos (piel y grasa) operando a 8.5 GHz. Longitud de la primera capa d=Ø.5 mm.

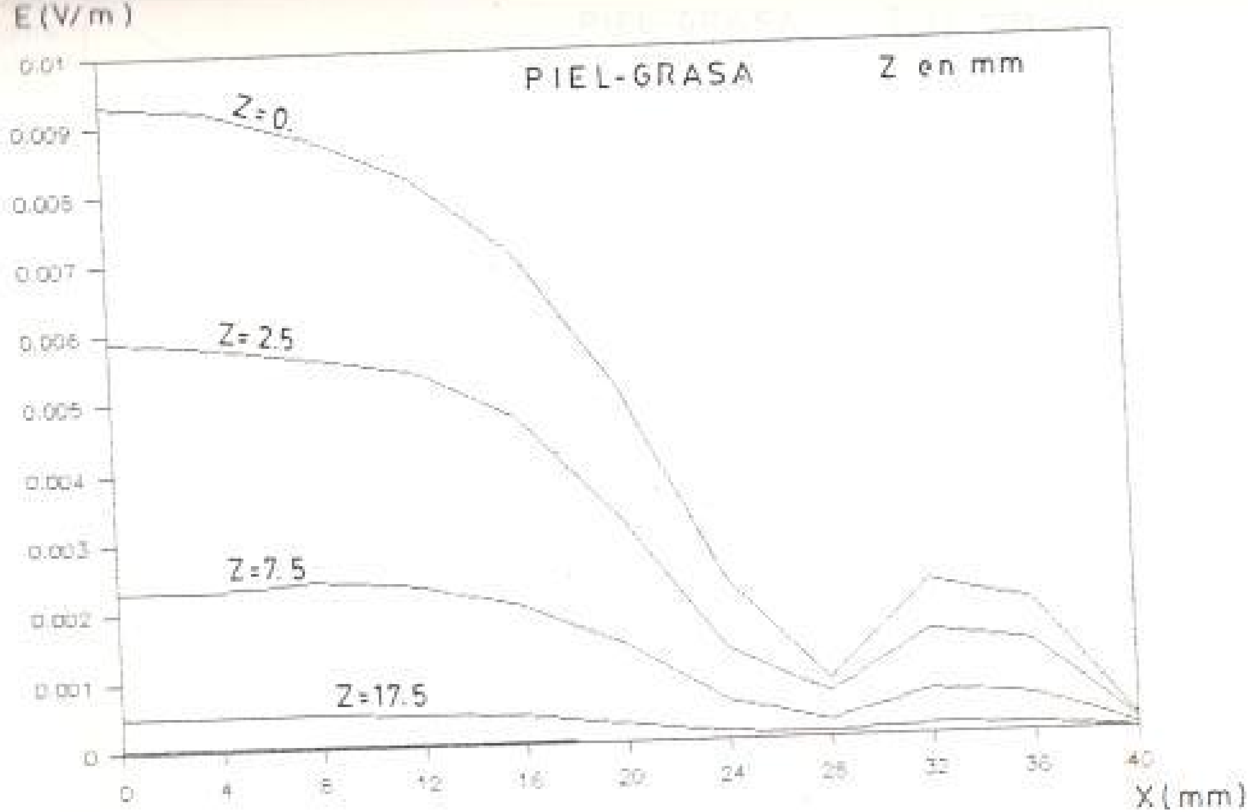


Fig. 3.23 Campos eléctricos versus x para diversos z, para una guía con dos capas de tejidos (piel y grasa) operando a 8.5 GHz. La longitud de la primera capa es d=1.0 mm.

Fig. 3.24 Campos eléctricos versus x para diversos z, para una guía con dos capas de tejidos (piel y grasa) operando a 8.5 GHz. Longitud de la primera capa d=1.5 mm.

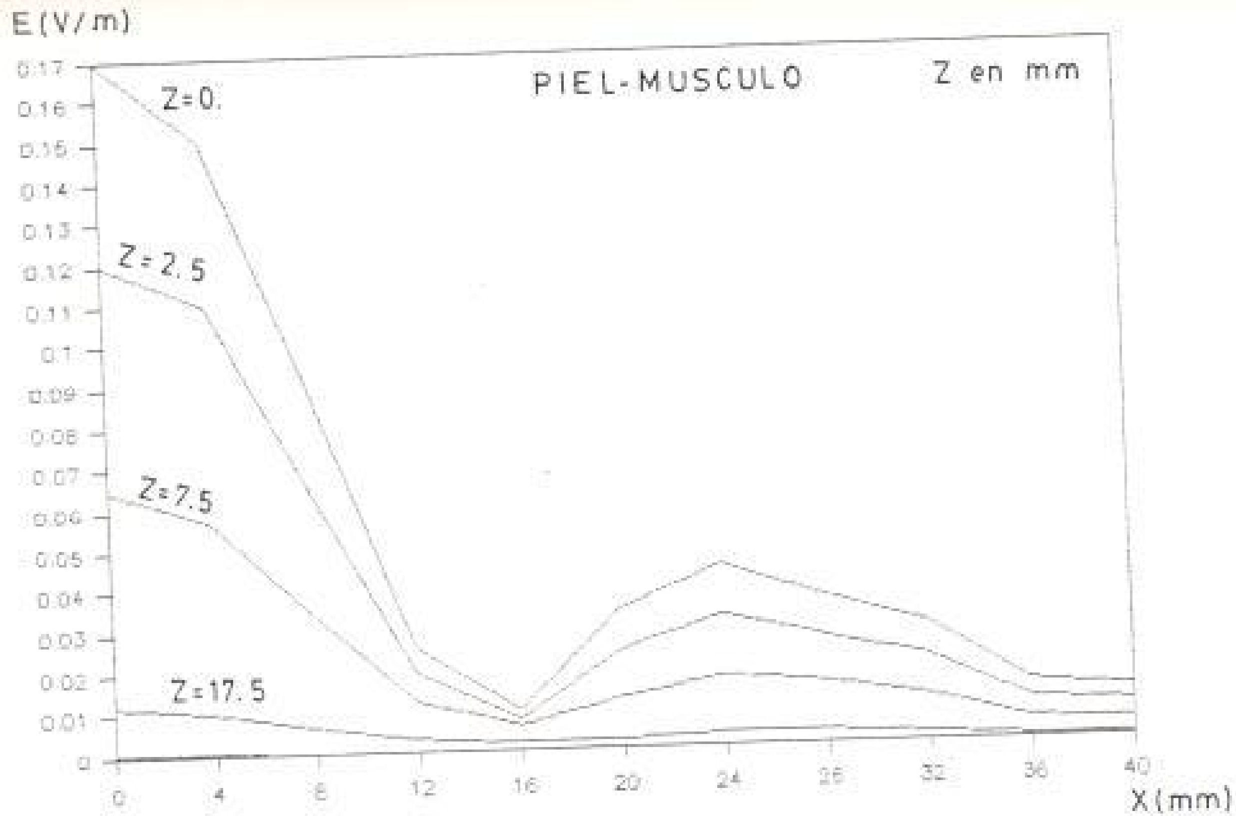


Fig. 3.25 Magnitudes de campos eléctricos a diversos x y z con tejidos compuestos por piel y músculo. Longitud de la primera capa d=Ø.5 mm.

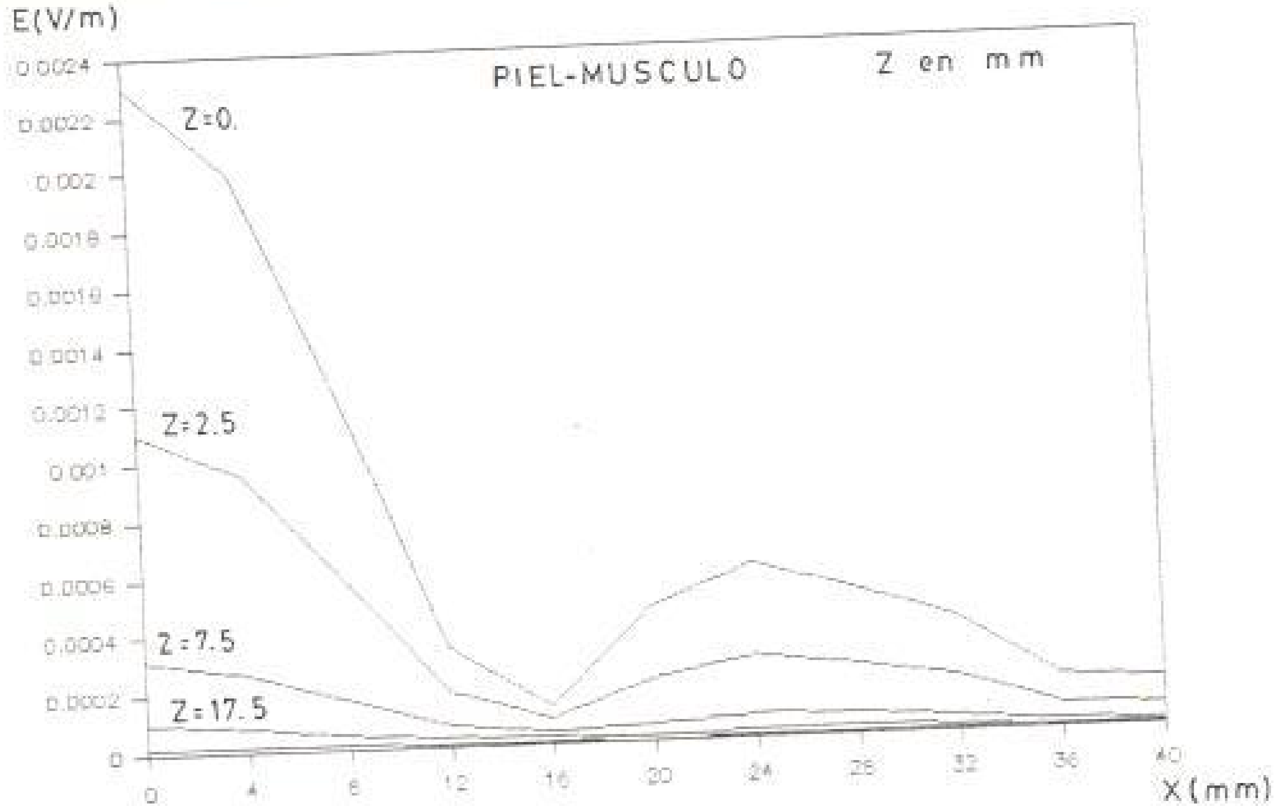


Fig. 3.26 Magnitudes de campos eléctricos a diversos x i z con tejidos compuestos por piel y músculo. Longitud de la capa d=1.5 mm.

contraria ocurre para una frecuencia de 2.75 GHz expresándonos esto un incremento de modos propagantes en el tejido (ver figuras 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32).

Por lo visto en los dos últimos casos de aplicadores el relleno dieléctrico juega un papel importante en la apertura. Esto se manifiesta por el incremento del espacio biológico que podemos abarcar por lo cual resulta atractivo utilizar el aplicador en tejidos celulares de grandes dimensiones.

Presentemos un último caso de aplicador para el tratamiento de dos medios biológicos adyacentes. El aplicador está definido por: A2XB2= 22.86 mmX18.63 mm relleno con dieléctrico E2=15 y el se propagan o inciden 25 modos. La guía grande es diez veces las dimensiones del aplicador y simula a una capa de piel (E11=46 - j13) y una de grasa (E12=5.8 - j0.6) considerándose 400 modos. Para esta interfaz existen pequeñas diferencias comparada con la guía cuadrada tratada anteriormente. Las figuras 3.33 a 3.38 representan los campos obtenidos.

Por todo lo analizado anteriormente, el aplicador óptimo presenta las características mostradas en la tabla II, tanto para un tejido formado por piel-grasa y uno formado por piel músculo operando a frecuencias

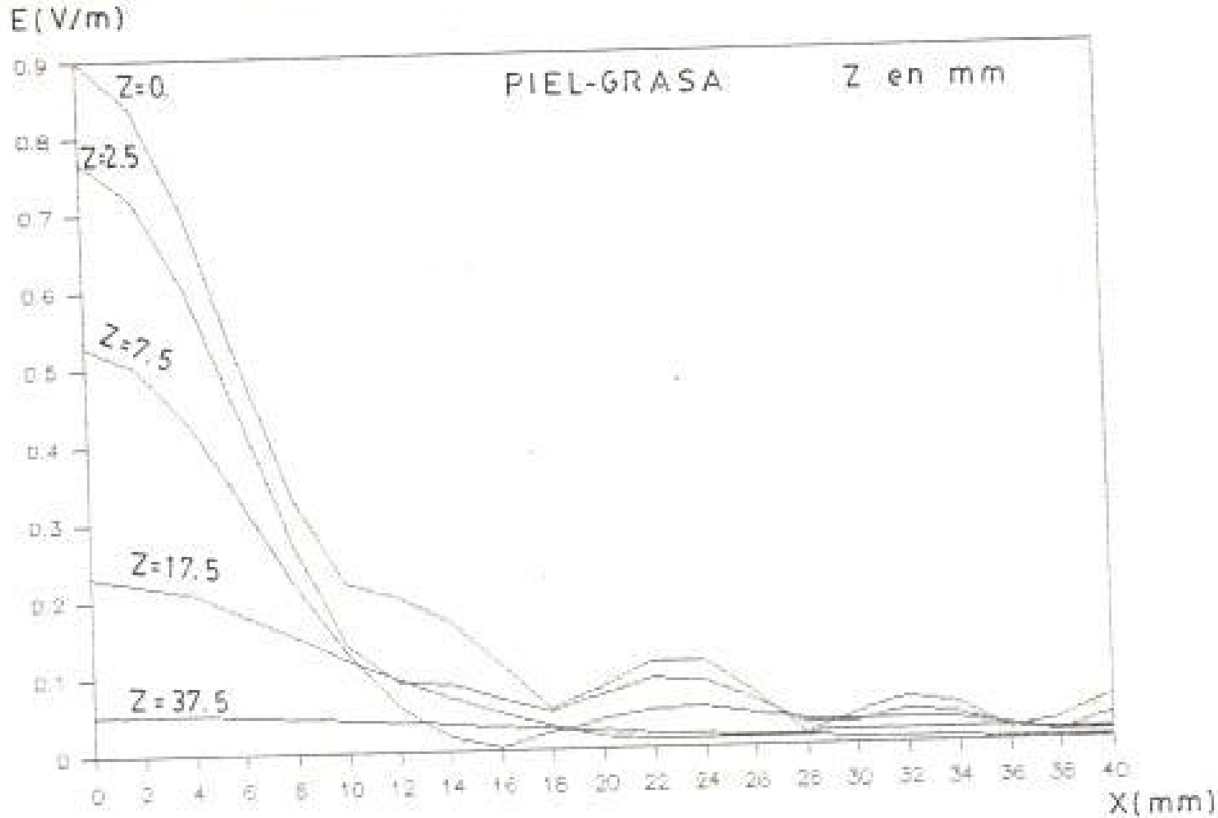


Fig. 3.27 Campos eléctricos para un tejido biológico constituido por piel y grasa. Frecuencia 2.25 GHz y d=0.5 mm.

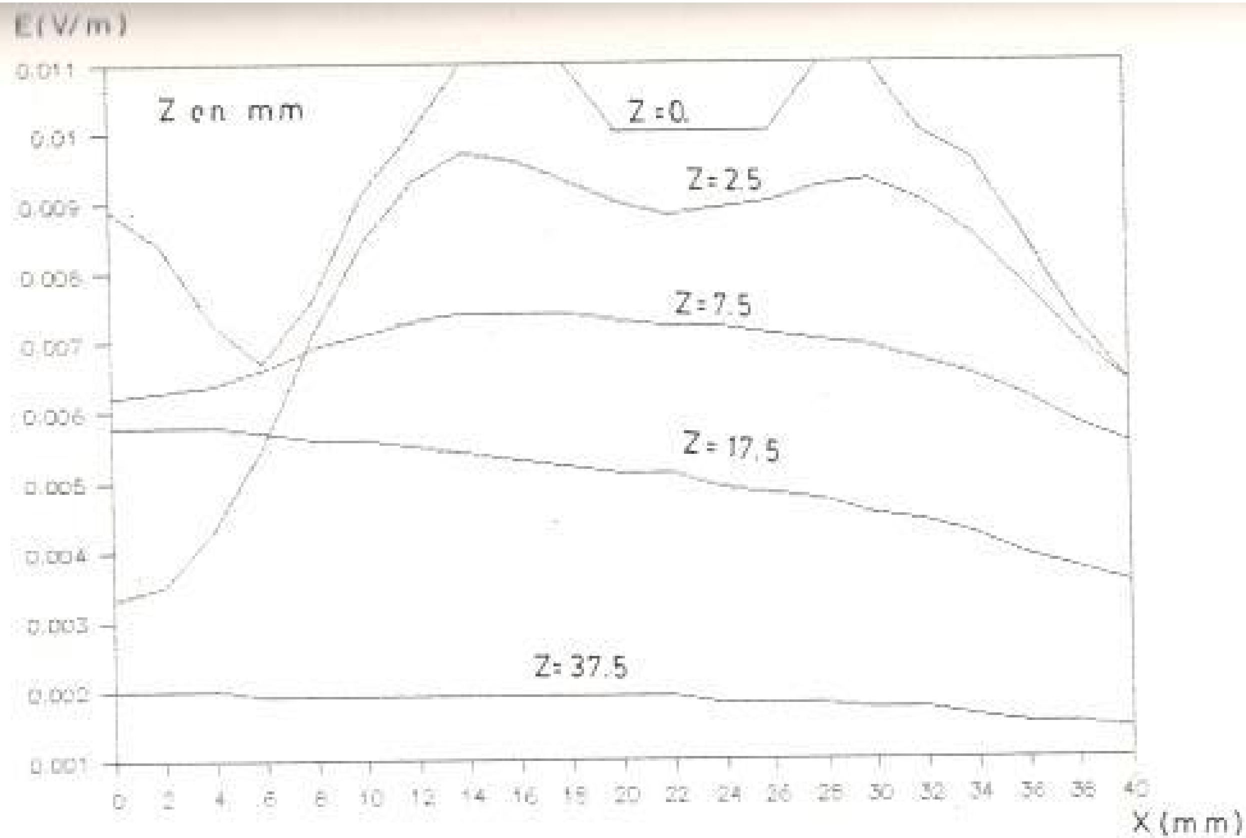


Fig. 3.28 Campos eléctricos para un tejido biológico constituido por piel y grasa. Frecuencia 2.25 GHz y d=1.0 mm.

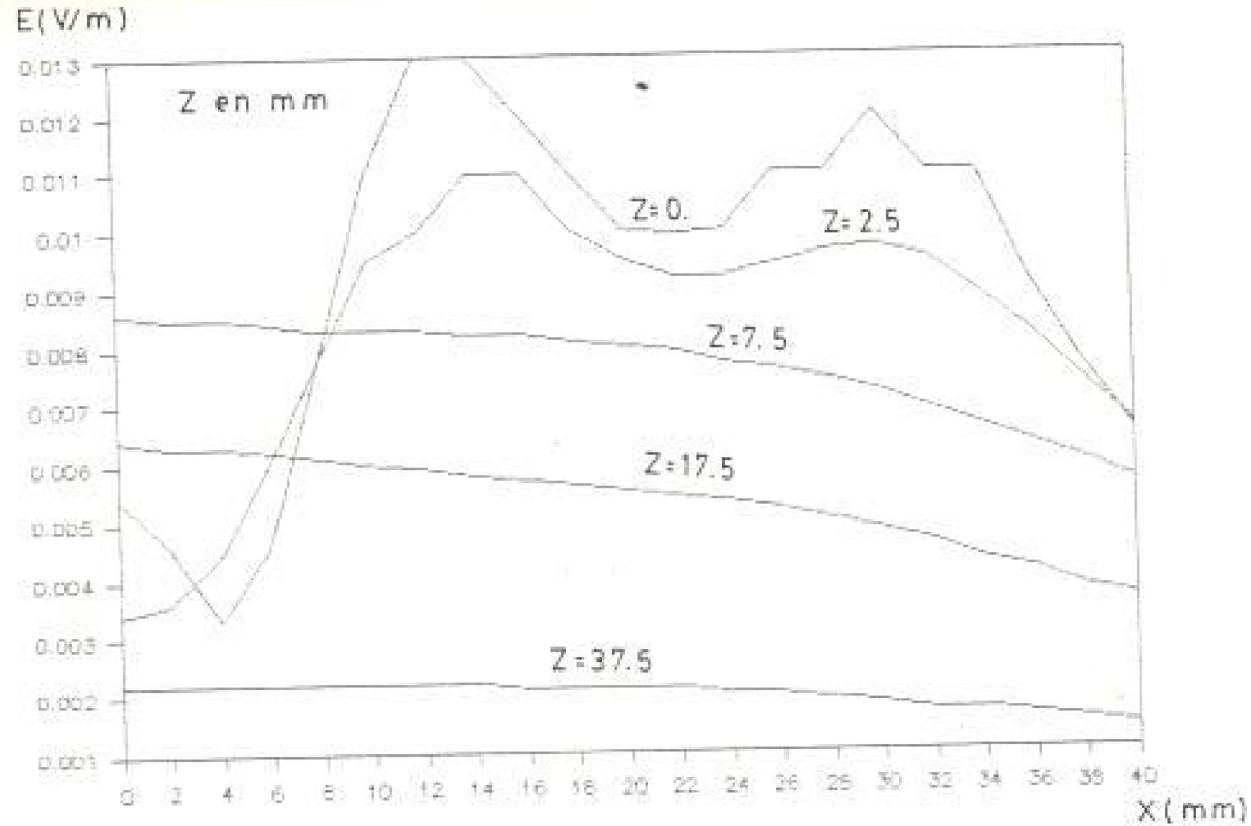


Fig. 3.29 Campos eléctricos para un tejido biológico formado por piel y grasa. Frecuencia 2.25 GHz y d=1.5 mm.

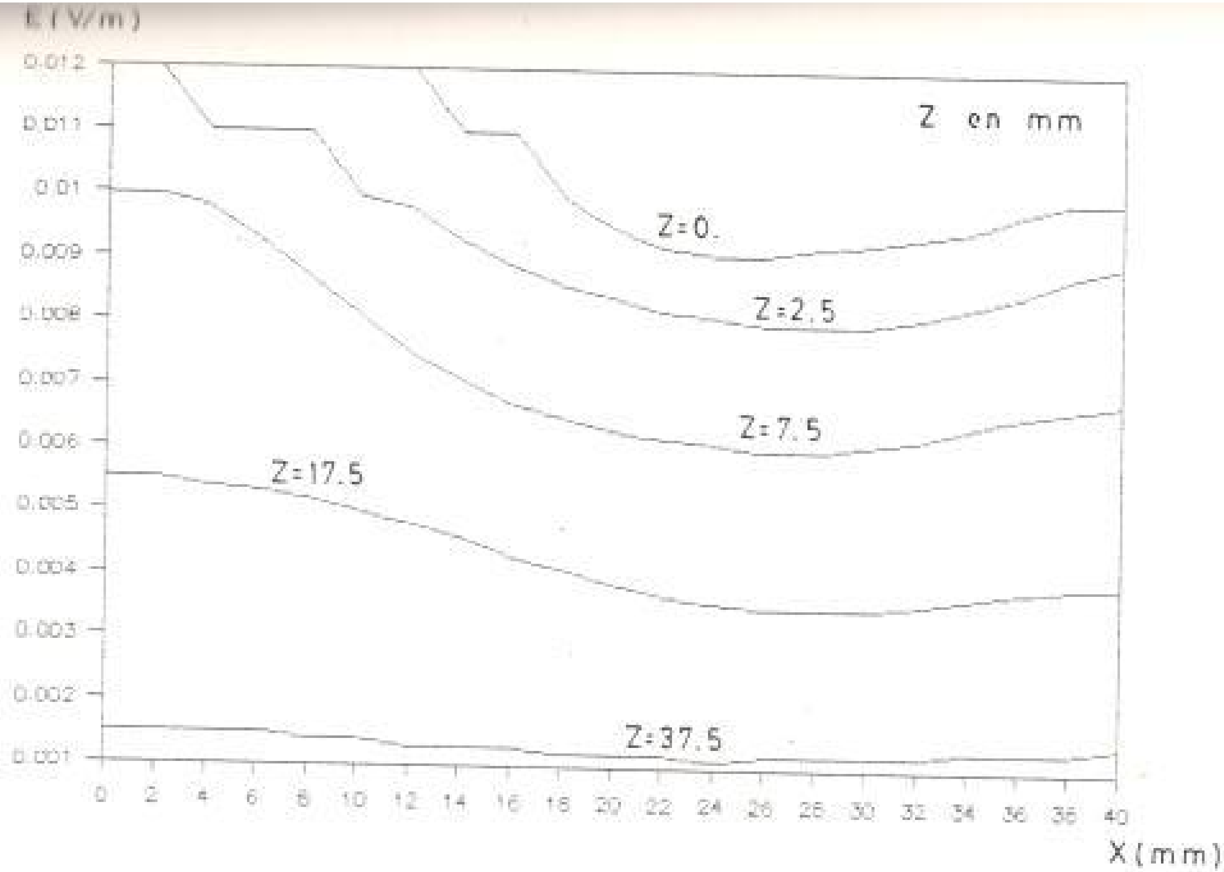


Fig. 3.30 Campos eléctricos versus x a diversos z para piel y grasa. Frecuencia 2.75 GHz y d=0.5 mm.

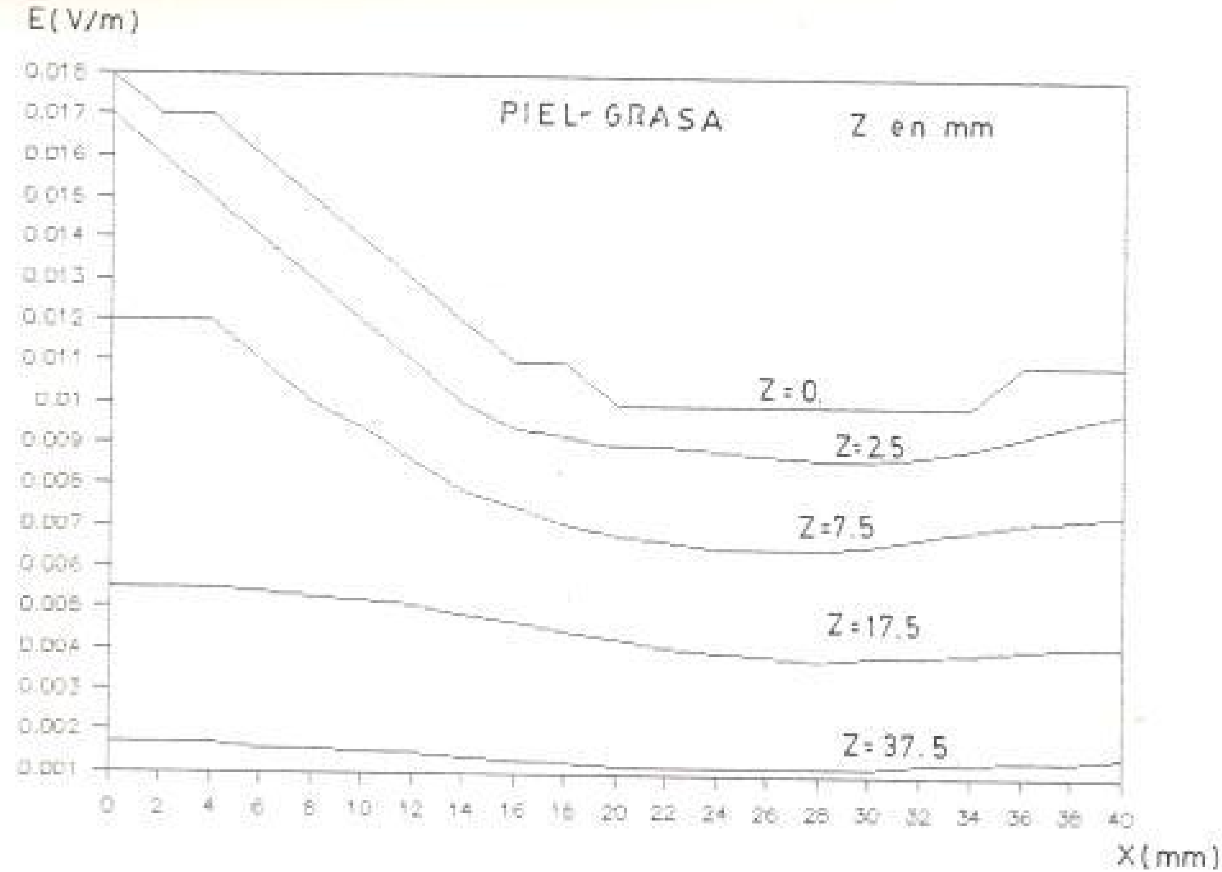


Fig. 3.31 Campos eléctricos versus x a diversos z para piel y grasa. Frecuencia 2.75 GHz y d=1.0 mm.

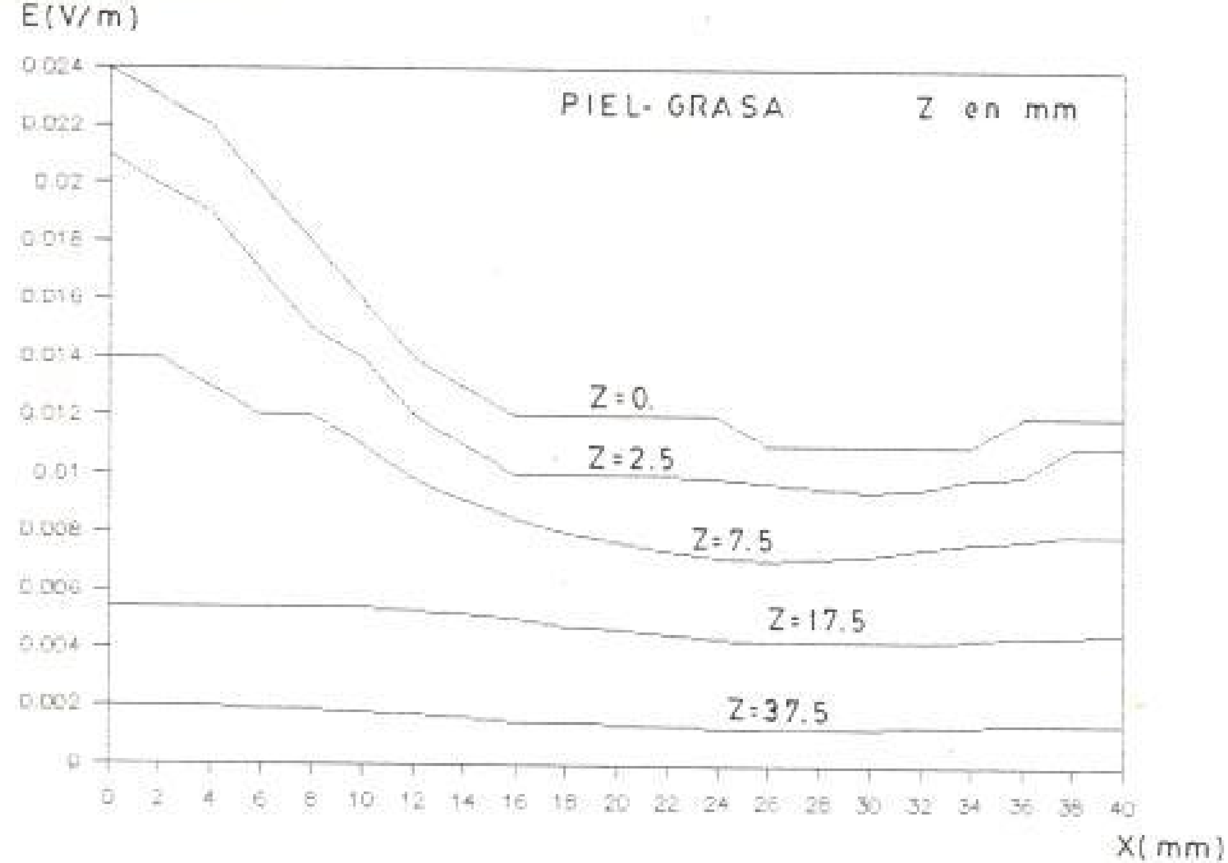


Fig. 3.32 Campos eléctricos versus x a diversos z para piel y grasa. Frecuencia 2.75 GHz y d=1.5 mm.

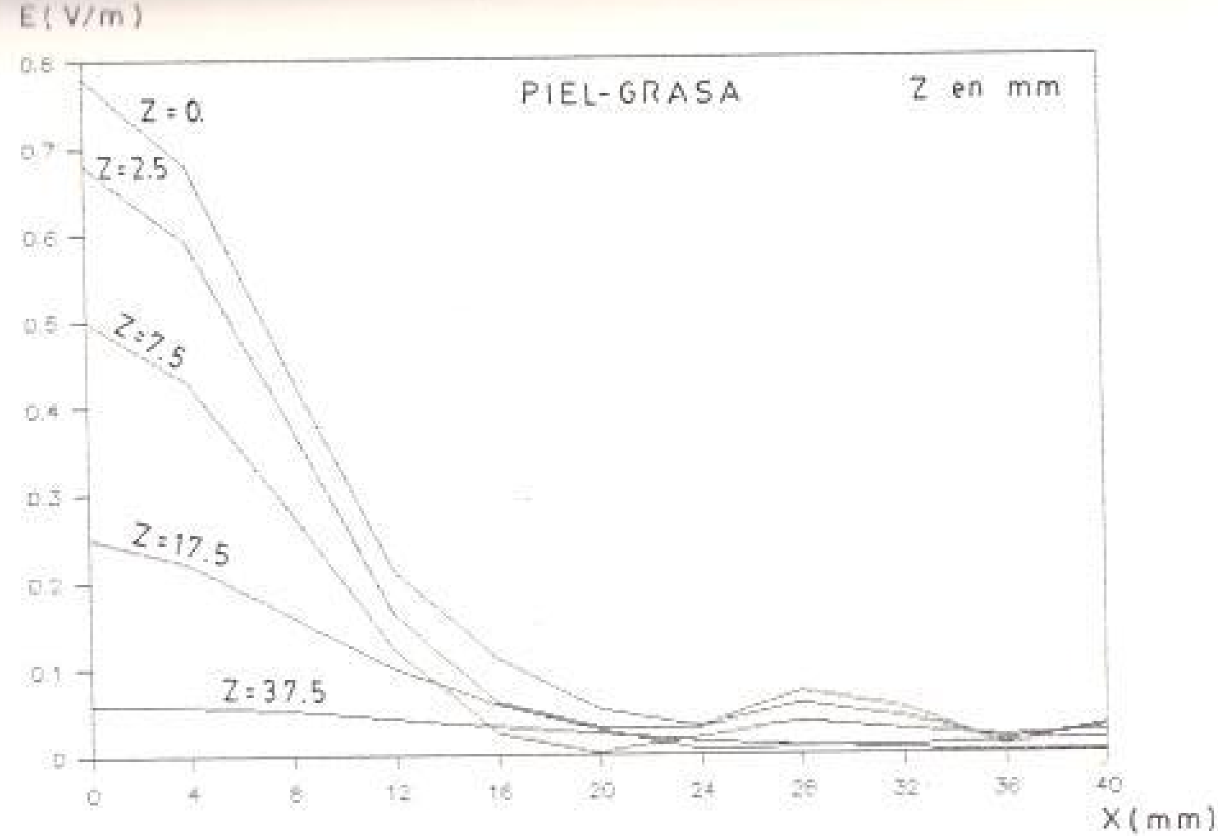


Fig. 3.33 Variaciones de campos eléctricos en un aplicador de tipo rectangular a diversos x i z. Frecuencia 2.25 GHz y d=0.5 mm.

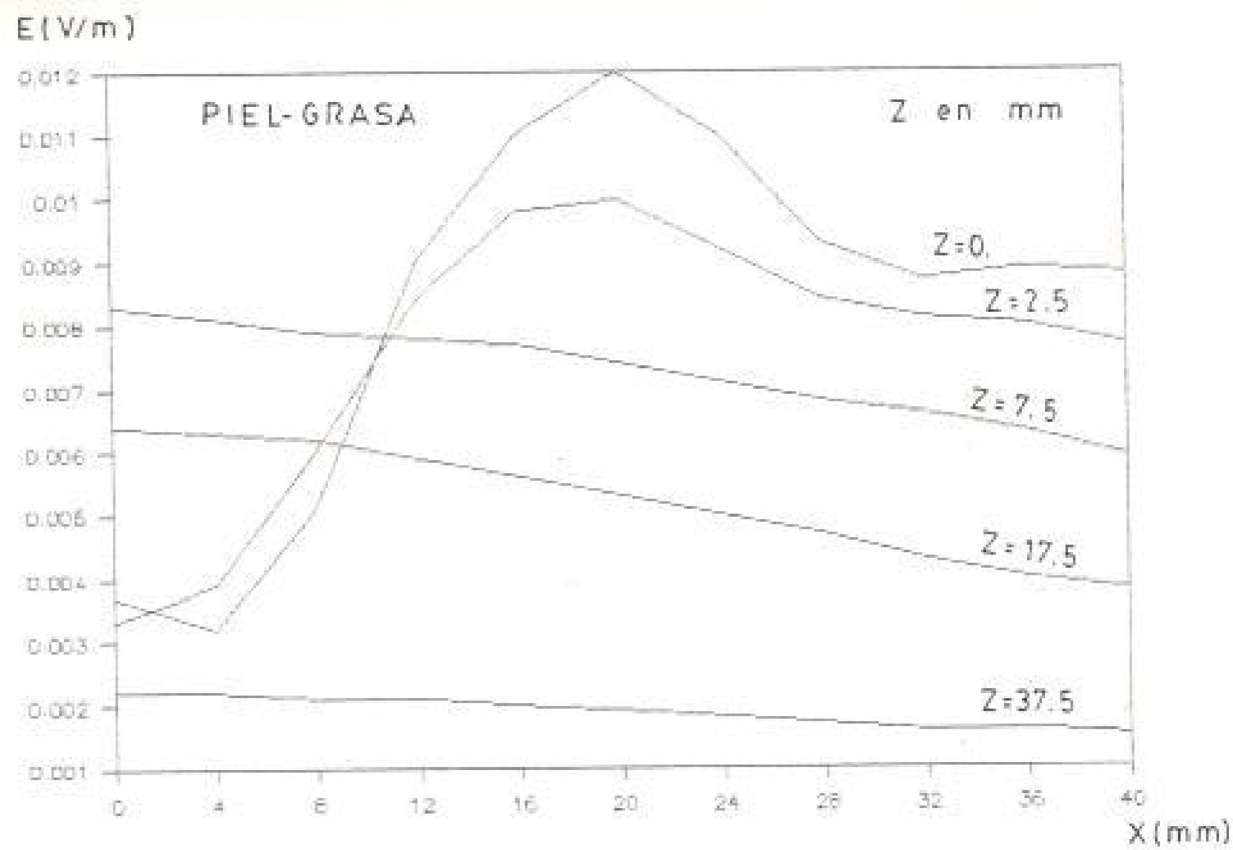


Fig. 3.34 Variaciones de campos eléctricos en un aplicador de tipo rectangular a diversos x i z. Frecuencia 2.25 GHz y d=1.0 mm.

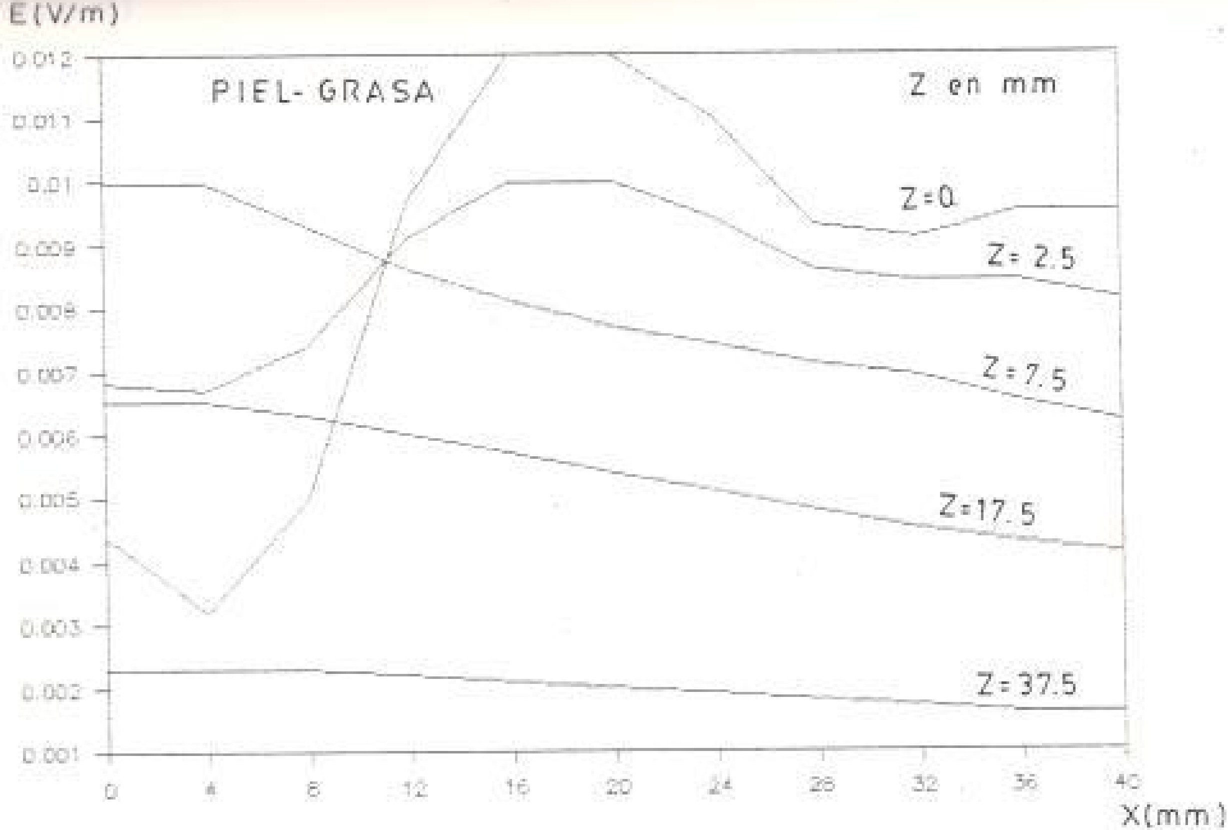


Fig. 3.35 Variaciones de campos eléctricos en un aplicador de tipo rectangular a diversos x i z. Frecuencia 2.25 GHz y d=1.5 mm.

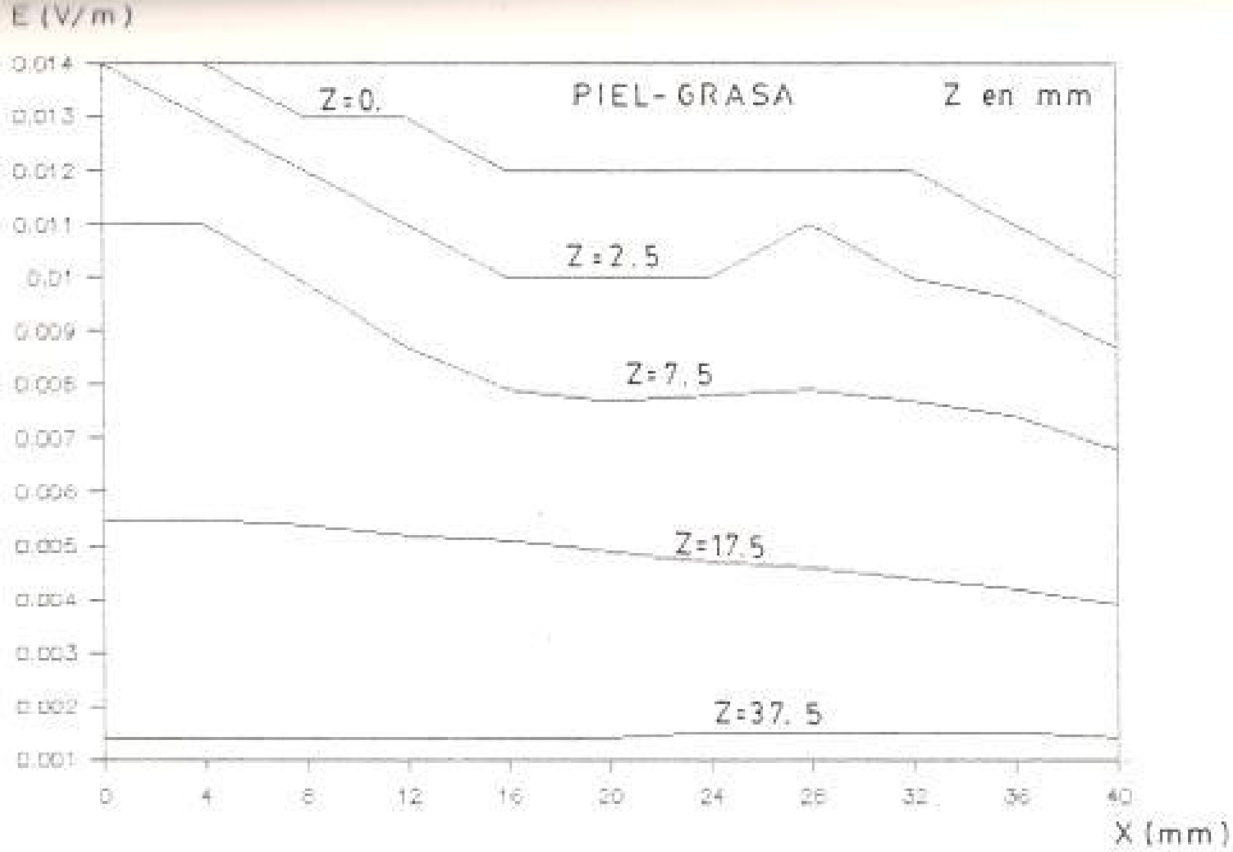


Fig. 3.36 Variaciones de campos eléctricos en una apertura de tipo rectangular a diversos x i z. Frecuencia 2.75 GHz y d=Ø.5 mm.

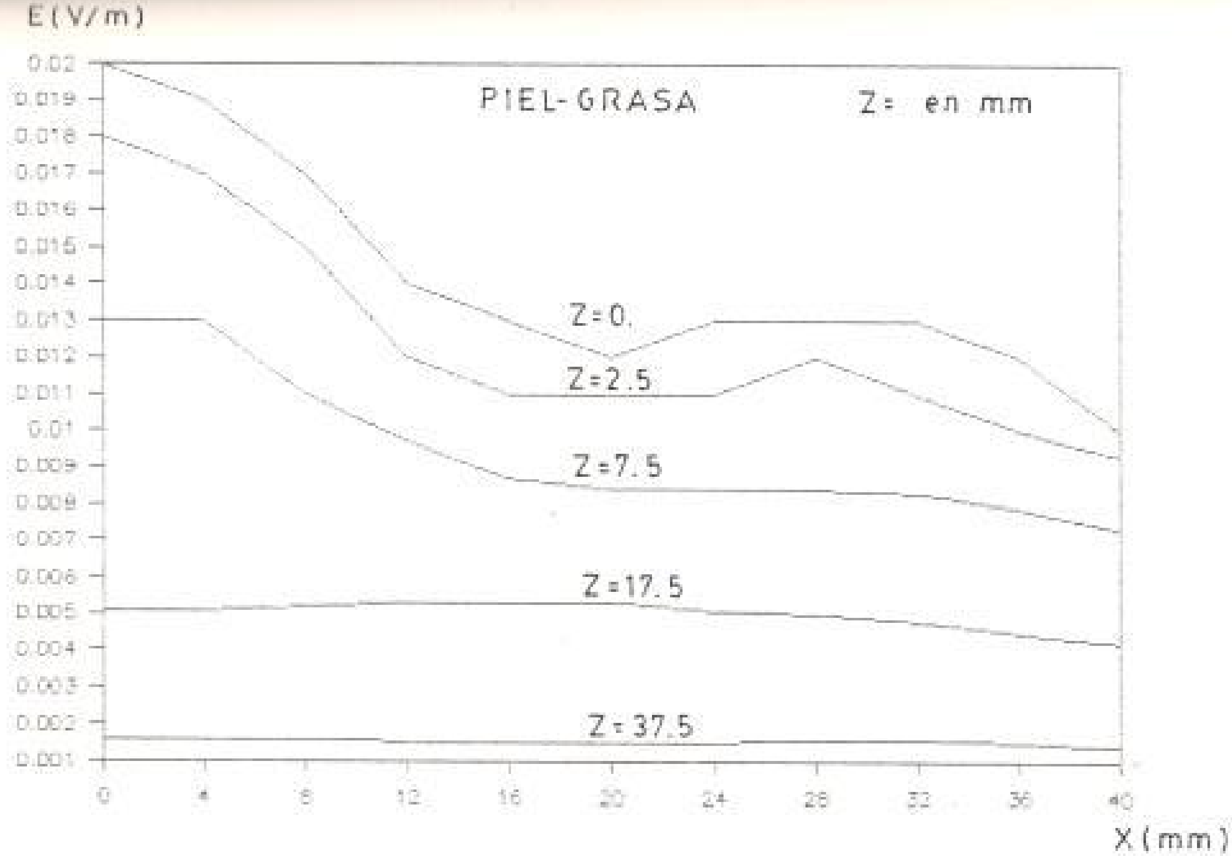


Fig. 3.37 Valores de campos eléctricos en una apertura de tipo rectangular a diversos x á z. Frecuencia 2.75 GHz y d=1.0 mm.

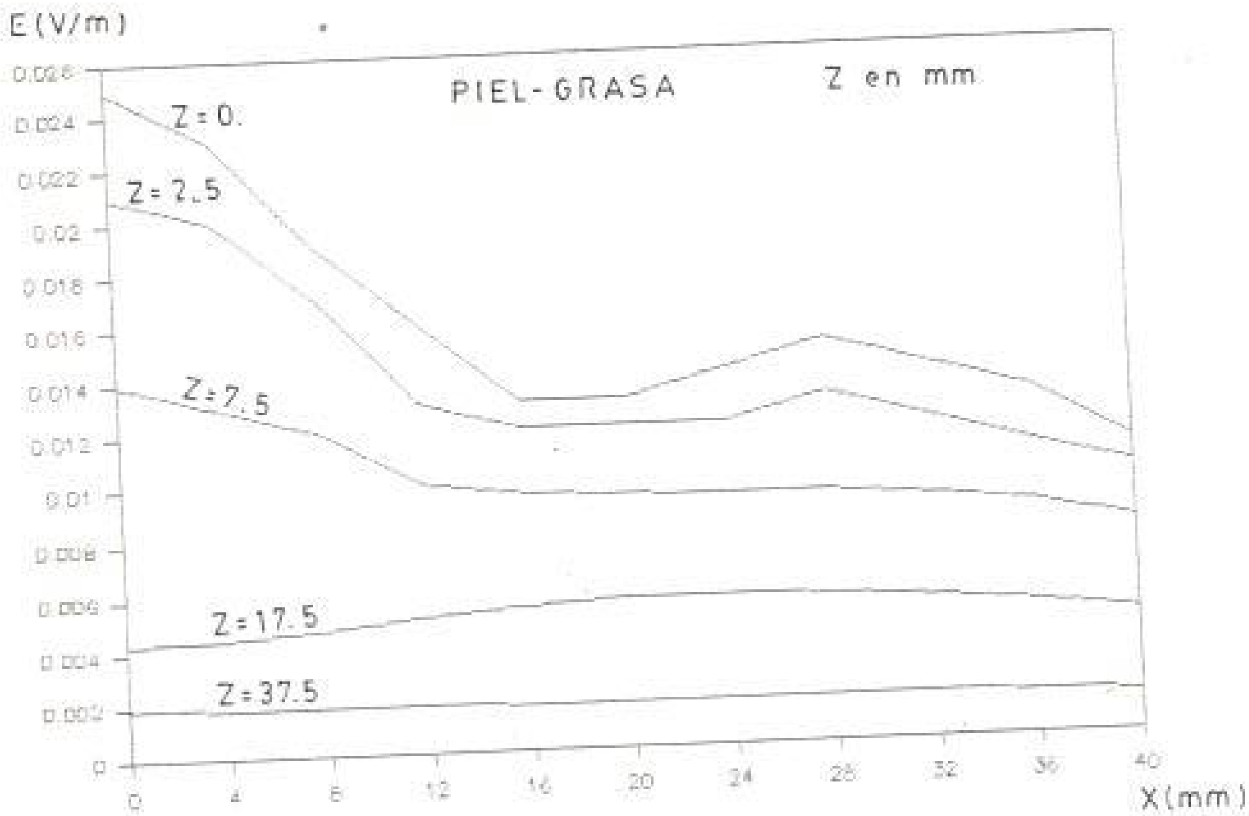


Fig. 3.38 Variaciones de campos eléctricos en una apertura rectangular a diversos x 1 2. Frecuencia 2.75 GHz y d=1.5 mm.

TABLA II

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DE APLICADORES
PARA DUS TIPOS DE MEDIOS BIOLOGICOS

TEJIDO	APLICADOR A2XB2	FRE(GHz)	E2
PIEL-GRASA	58.0X29.0	2.45	10
PIEL-GRASA	219.9X109.9	0.915	5
PIEL-MUSCULO	29.0X14.5	2.45	40
PIEL-MUSCULO	83.1X41.5	0.915	35

LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN MM.
SE CONSIDERA A1XB1=5*A2X5*B2

estandar de 915 MHz y 2.45 GHz. Para esta selección se ha partido del valor del campo eléctrico en el tejido biológico, de su forma de distribución, del dieléctrico del aplicador y de sus dimensiones transversales (82=82/2.1); los modos existentes en las guías han sido de 400 y 25 para el tejido y aplicador respectivamente, proporcionales a las áreas.

Los valores de campos eléctricos para las magnitudes mencionadas se muestran en las figuras 3.39 a 3.42. El espesor de la primera capa dieléctrica se estimó en 1.0 mm.

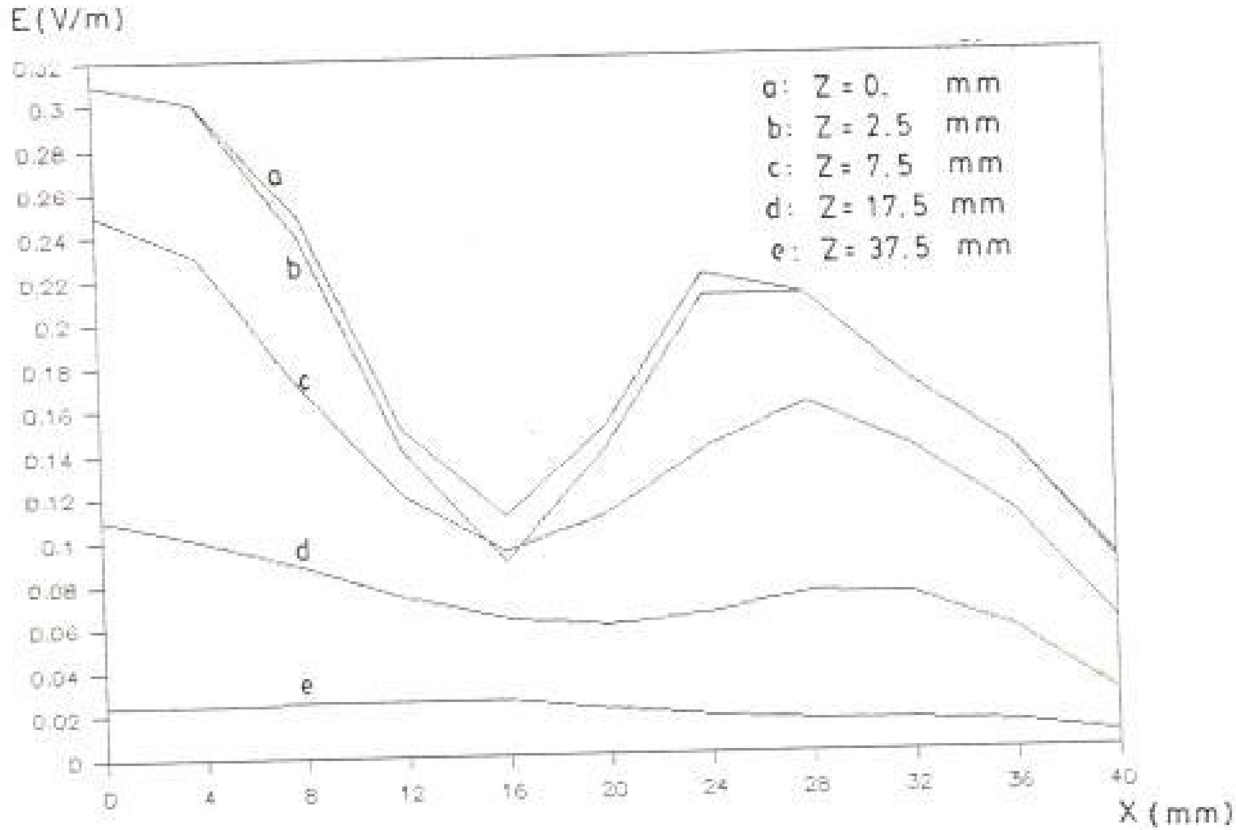


Fig. 3.39 Valores de campos eléctricos en un tejido formado por piel y grasa ($\epsilon 11=46 - j13$ y $\epsilon 12=5.8 - j0.6$) a una frecuencia de 2.25 GHz. El aplicador se rellena con $\epsilon 2=10.0$.

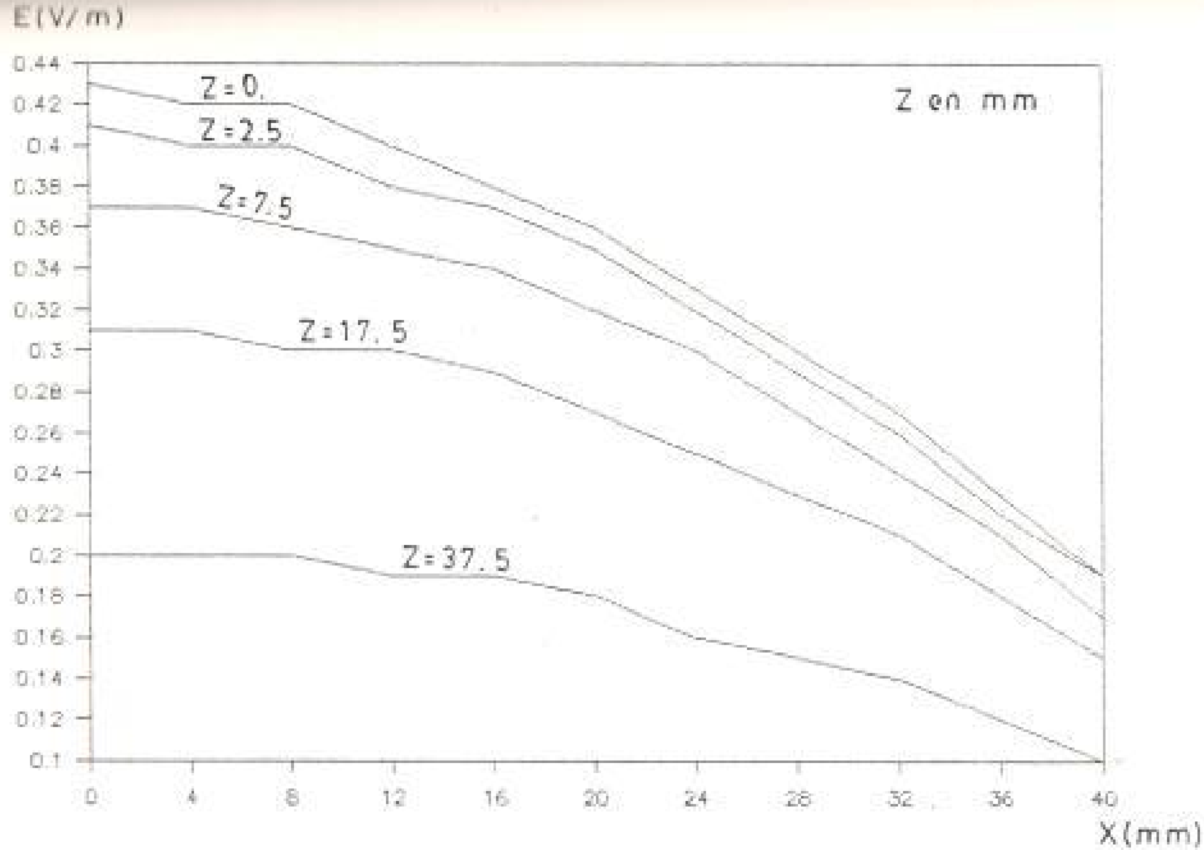


Fig. 3.40 Valores de campos eléctricos para un tejido formado por piel y grasa ($\epsilon_{11}=48 - j15$ y $\epsilon_{12}=6.5 - j2.5$) a una frecuencia de 915 MHz. El aplicador se rellena con $\epsilon_2=5.0$.

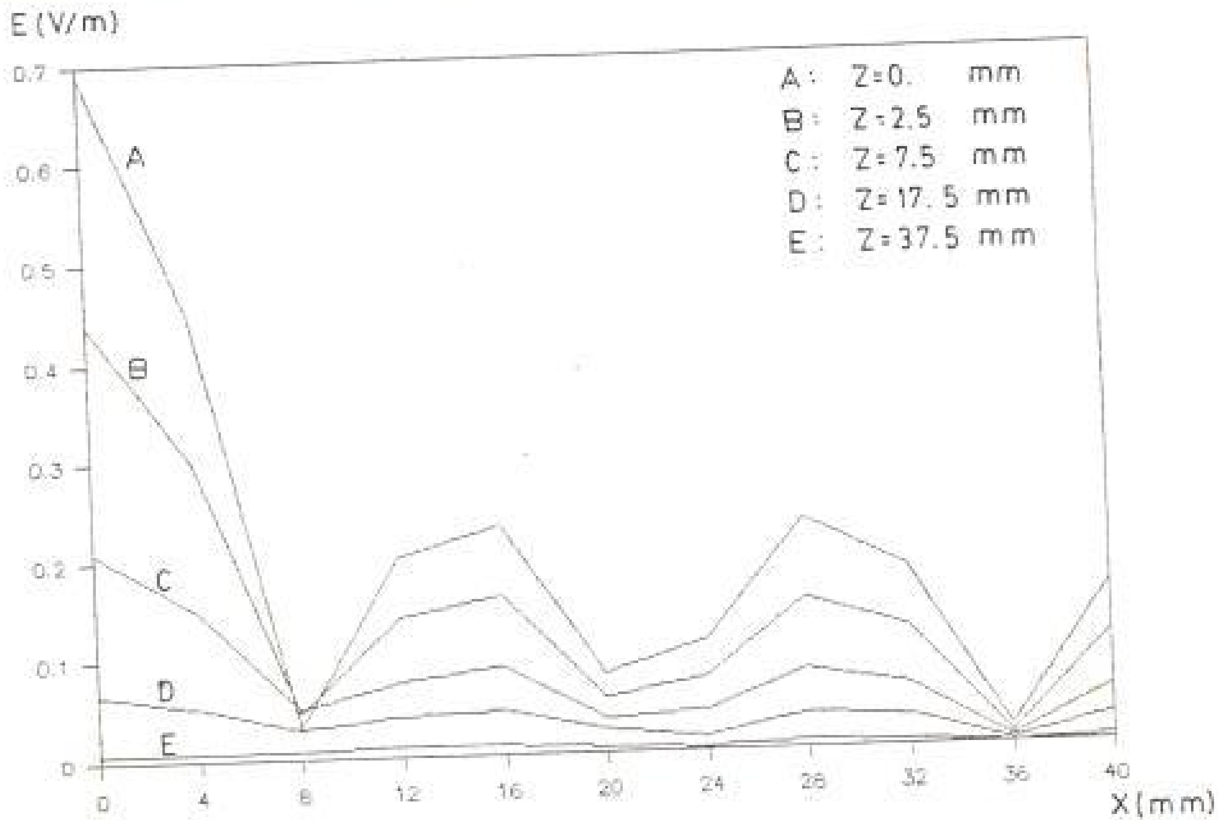


Fig. 3.41 Valores de campos eléctricos para un tejido formado por piel y músculo ($\epsilon 11=48 - j13$ y $\epsilon 12=51 - j14$) a una frecuencia de 2.45 GHz. El aplicador se rellena con $\epsilon 2=40$.

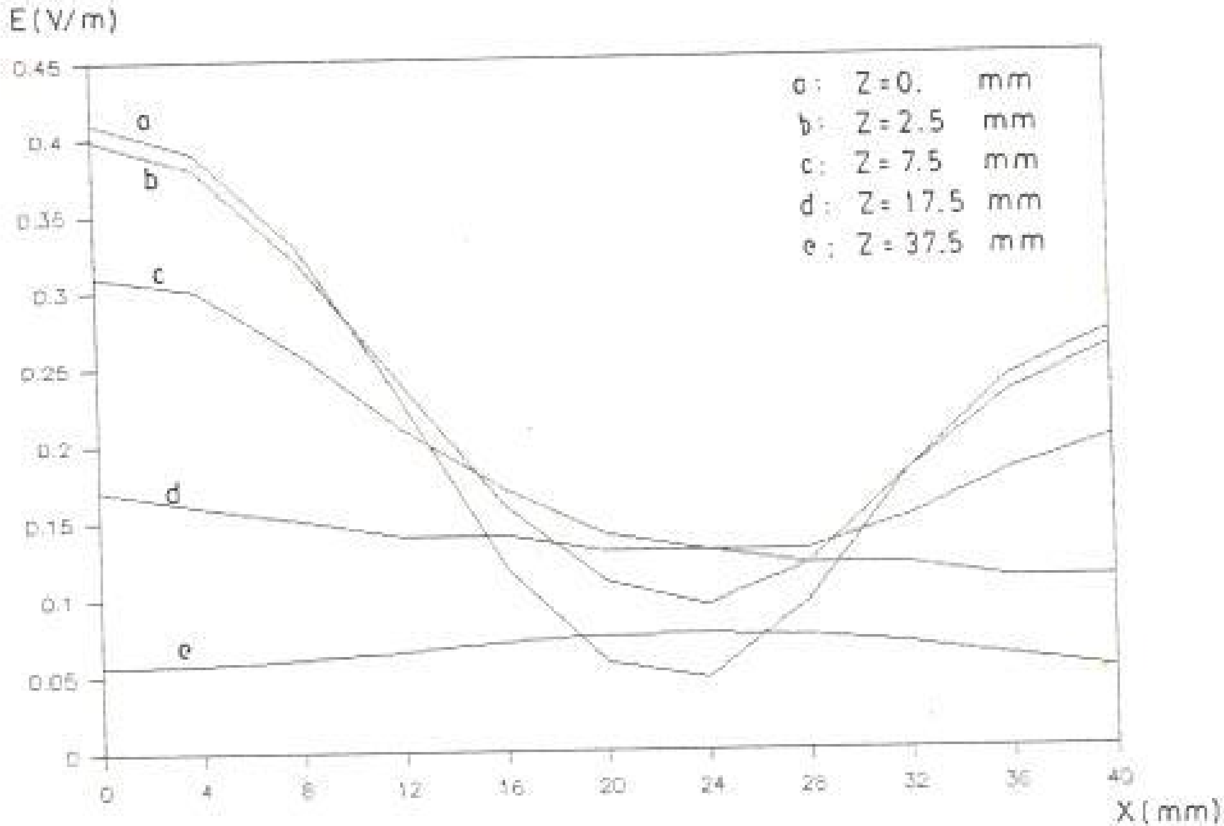


Fig. 3.42 Valores de campos eléctricos para un tejido formado por piel y músculo (ϵ_{11}=48 - j15 y ϵ_{12}=55 - j25) a una frecuencia de 915 MHz. El aplicador se rellena con dieléctrico ϵ_2=35.

CAPITULO IV

TRATAMIENTOS DE TEJIDOS BIOLOGICOS CON HIPERTERMEIA DE MICROONDAS

4.1 A pesar de existir otros tratamientos para la eliminación de neoplasias, se ha mantenido y acentuado el interés por la hipertermia como medio terapéutico contra los tumores malignos, a través de estudios biológicos detallados minusiosamente. Se ha demostrado que la exposición celular a altas temperaturas, conduce a curvas de supervivencia similares a las presentadas en tejidos irradiados por otros métodos.

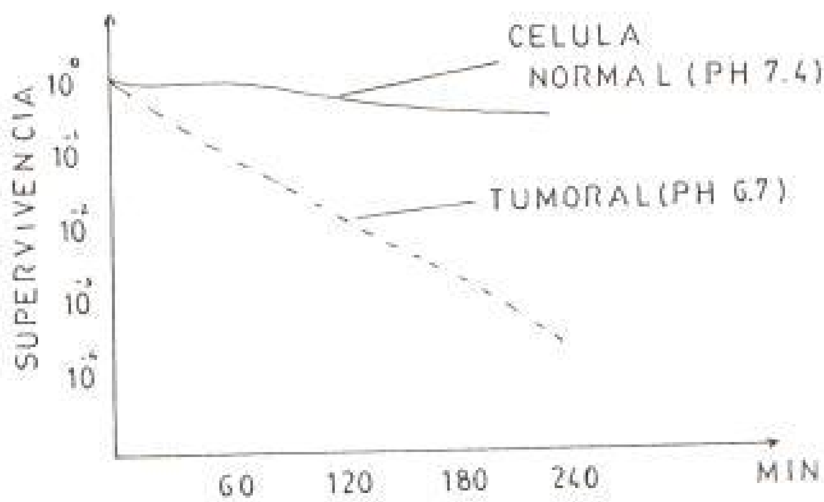


Fig 4.1 Curvas de fracción de supervivencia de células expuestas a radiación por algunas horas

La figura 4.1 muestra la fracción de supervivencia de células luego de ser expuestas a una temperatura de 42°C . Existen pruebas asegurando que el calor acentúa los efectos de la radiación ionizante, es decir, la hipertermia con microondas proporciona mayor eficacia de otros tratamientos dirigidos a neoplasias.

Todo lo formulado y expresado anteriormente, nos ha preparado para llevar este tipo de interfaz al campo de la medicina, exactamente al tratamiento de medios biológicos que presenten neoplasias, empleando hipertermia.

Tanto hombres y mujeres están predispuestos a contraer tumores malignos, con mayor incidencia en las mujeres que en los hombres. Los tumores malignos pueden surgir de cualquier tipo de tejido, en cualquier edad invadiendo tejidos próximos a ellos.

La tabla III muestra la incidencia de tumores generados en personas de sexo masculino y femenino. Como notamos, un mayor porcentaje de neoplasias en los hombres es común en los pulmones y próstata pero en pequeña escala se producen en la piel, esto bosquejado en forma general. Los casos en mujeres se acentúan en las mamas, colon y recto, al igual que en los hombres la piel posee un menor

TABLA III

% DE NEOPLASIAS PRESENTES EN DIVERSOS TEJIDOS
EN HOMBRES Y MUJERES

LOCALIZACION	HOMBRES	MUJERES
PIEL	1	1
ORAL	5	2
PULMON	22	6
COLON Y RECTO	14	15
MAMAS	–	26
APARATO DIGESTIVO	12	9
PROSTATA	17	–
URETER	9	4
UTERO	–	14
LEUCEMIA	8	7
OTROS	12	11

porcentaje.

Concretemos específicamente las áreas del cuerpo humano en las cuales el aplicador puede servir de ayuda. Por lo visto en el capítulo III, el tratamiento de neoplasias debe hacerse en aquellas zonas comprendidas o constituidas por piel, grasa y músculo. Los cálculos efectuados con guías de onda de diferente área, se centran en un tejido compuesto por piel y músculo o también en un tejido formado por una capa de piel y una de grasa como se ilustra en la figura 4.2.

Como determinamos anteriormente, los tejidos que forman la piel, la grasa y el músculo se caracterizan por presentar parámetros dieléctricos (inclusive con pérdidas) bien definidos para frecuencias del orden de los GHz, frecuencias a las cuales se ha trabajado. Tomando como referencia tablas elaboradas , en las que encontramos las permitividades (complejas) para diferentes tipos de medios biológicos, a diferentes frecuencias, tenemos la posibilidad de emplear el aplicador para estos medios, concretamente en el hígado y médula de los huesos. Además podemos simular una guía de onda que aloje tres tipos de tejidos distintos simultáneamente, pero dicha situación no será tratada en esta tesis.

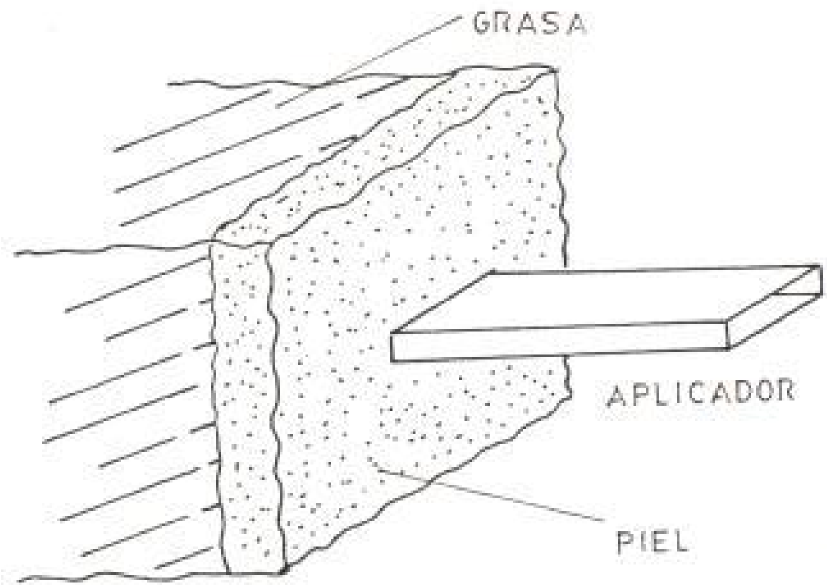


Fig. 4.2 Aplicador acoplado a un tejido formado por piel y grasa

Es necesario resaltar algo importante, el mayor porcentaje de neoplasias en el sexo femenino se da en las mamas, por esto resulto atractivo escoger una guía de onda en la cual se aloje una capa preeliminar de piel seguida de una capa de grasa como lo muestra la figura 4.2

Otros tejidos que podemos analizar es el formado por una parte de piel y una de tejido muscular, en consecuencia gran parte de la anatomía humana que está constituida por esta configuración de tejidos puede ser tratada.

Por los resultados mostrados en los capítulos II y III podemos llegar a conocer de cerca el tratameinto no solamente de un par de medios biológicos sino también de un solo tejido, tal es el caso de la piel, neoplasia presente en mínimo porcentaje en el hombre y la mujer.

En resumen, el aplicador es apropiado para los tumores malignos detectados en tejidos tales como la piel, piel–grasa, piel–músculo medios para los que se conocen con exactitud sus constantes dieléctricas.

4.2 COMPARACION CON OTROS TRATAMIENTOS

A continuación presentamos algunas técnicas comunmente empleadas en el tratamiento de neoplasias.

luego de lo cual trataremos de compararlos con la técnica de la hipertermia.

Oncología Quirúrgica. La cirugía tiene un papel importante en el tratamiento de neoplasias, tumores malignos que afectan al inicio a una pequeña porción de células y luego se expanden, invadiendo tejidos cercanos son tratados con cirugía. Los cirujanos son los encargados de determinar los márgenes alrededor del tumor por impresiones visibles y tactiles, u otros exámenes clínicos, resecando luego suficiente tejido circundante para incluir enfermedad microscópica. Los márgenes son determinados por límites anatómicos, por factores cosméticos y por experiencia. La mayor o menor cantidad de tejidos resecados depende de la lesión que trate el cirujano, no por el hecho de resecar excesivamente un tejido da como resultado una mejor sobrevida.

La Radioterapia es otra forma de tratamiento de neoplasias, de manera tal que trata de erradicar las células tumorales malignas y en lo posible no causar daños estructurales o funcionales de los tejidos vecinos. La Radioterapia actúa a través de efectos destructivos de la parte seleccionada de un tumor, variando así en forma sustancial con la técnica quirúrgica.

Se ha comprobado la existencia de diferencias en la capacidad de reparación intercelular de las células neoplásicas con las normales; el daño producido por la radiación acumulada en la célula tumoral puede ser de tal magnitud que la célula muera; mientras tanto, la misma radiación puede provocar un daño menor en la célula normal, tendiendo a sobrevivir debido a su mayor capacidad de recuperación. Los tejidos y organos normales, tienen la capacidad de regenerarse cuando son parcialmente dañados y lo hacen formando tejidos fibrosos y cicatrisal. Si el tejido tumoral es dañado no tiene la misma capacidad que una célula normal.

Existen dosis limitantes para la radiación; una sobre dosis puede causar lesiones leves, transitorias, en algunos casos reversibles, ligera morbilidad, y excepcionalmente la muerte a los tejidos tratados.

La tabla IV muestra algunos tejidos u organos para los cuales la radiación produce lesiones en función de la intensidad de radiación mínima y máxima. Las iniciales $TD_{5/5}$ y $TD_{50/5}$ significan dosis dadas a un grupo de pacientes en condiciones estandar de tratamiento, produciendo un porcentaje de complicaciones severas no mayores al 5% (para $TD_{5/5}$) y 50% (para $TD_{50/5}$) en un lapso de cinco años luego del tratamiento.

TABLA IV

EFECTOS PRODUCIDOS POR LA RADIACION EN DIFERENTES TEJIDOS BIOLOGICOS

ORGANO	LESIONES	TD5/5	TD50/5
PIEL**	DERMATITIS AGUDA	5500	7000
MUSCULO***	ATROFIA	2000-3000	4000-5000
MAMAS***	ATROFIA	3000	10000
HIGADO*	HEPATITIS AGUDA	2500	4000
RECTO**	ULCERA	6000	8000
PULMON*	NEUMONITIS	3000	3500

* LESIONES FATALES O SEVERA MORBILIDAD
** LESIONES FATALES O LIGERA MORBILIDAD
*** EFECTOS LEVES, TRANSITORIOS REVERSIBLES

Aclararemos algunos aspectos referentes a la radiación. La radiación puede ser corpuscular y electromagnética; la radiación corpuscular consiste de partículas α, β, o 1 en movimiento. Estas partículas actúan penetrando en los tejidos, donde pierden su energía cinética a través del proceso de ionizar y exitar los átomos y moléculas que constituyen las células. La muerte celular ocurre a consecuencia de la absorción de esta energía. El Co-60, Ra-226, Cs-137, Ir-19 son ejemplos de elementos radiactivos corpusculares, mientras tanto los Rx pertenesen al grupo de radiación electromagnética.

Quimioterapia.- Los agentes quimioterapéuticos son generalmente más efectivos cuando se usan en tratamiento de tumores con poca masa celular, disminuyendo su efecto en mayores volúmenes celulares para los mismos tejidos.

Los regímenes quimioterapéuticos pueden actuar con mayor efectividad y eficiencia, reduciendo el número de células tumorales, luego de haberse practicado una cirugía reductiva o radioterápica. Esto se logra eliminando o deteniendo la división celular en una fase específica o también, resultando tóxicos para células en período de reposo. Como mencionaramos anteriormente, las drogas quimioterápicas estan destinadas a reducir neoplasias mediante la disminución del número de células tumorales; se administran por vía oral, venosa intramuscular, predominando las primeras. Este tratamiento puede causar diversos trastornos, entre los que tenemos: náuseas, alopecias, pigmentación de la piel, trastornos gastrointestinales, depresión del sitema nervioso central, entre otros.

La Quimioterapia, la cirugía Oncológica y la Radiación vistas en forma somera nos dan una pauta para formular algunos puntos importantes:

1.- Un rasgo fundamental, la hipertermia comparada con los tratamientos quirúrgicos y quimioterapéutico es la de ser no invasivo.

2.- La hipertermia utilizada en los casos presentados en la sección 4.1, produce efectos reductivos sustanciales antineoplásicos si se aplica en conjunto con un tratamiento quimioterapéutico o radiactivo.

3.- Si empleamos un sistema que mantenga la superficie tumoral a una temperatura constante (empleando un "bolus" por ejemplo), las neoplasias de piel y tejidos próximos a ésta, pueden ser tratadas satisfactoriamente.

4.3 DEMANDA DEL APLICADOR PARA SU UTILIZACION EN NUESTRO MEDIO.

SOLCA, institución destinada al diagnóstico y tratamiento de neoplasias, emplea para este propósito: cirugía Oncológica, Quimioterapia y los siguientes tipos de Radiación: Cobalto, Radio, Cesio y Rx.

El avance de las investigaciones en el campo de la hipertermia en tratamientos antineoplásicos están ocurriendo a grandes pasos y con interés por tratarse de una nueva perspectiva en tumores malignos.

Por lo regular, por no decirlo en forma generalizada, en nuestro medio se emplean o utilizan los equipos o investigaciones realizadas en otras esferas. En este caso, el estudio efectuado en esta tesis no es único, pero tiene las bases técnicas suficientes para que luego de las comprobaciones necesarias un equipo hipertérmico se emplee en el país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

1.- El análisis de esta tesis se sustentó en la técnica modal acompañada de la matriz generalizada de dispersión.

2.- Una apertura responde con resultados satisfactorios siempre y cuando consideremos los modos propagantes y evanescentes en las guías proporcionales a sus secciones transversales.

3.- La distribución de campos en un tejido biológico depende del medio con el cual se trata. Los campos penetran en menor intensidad a un medio formado por piel-grasa que a un tejido celular constituido por piel-músculo.

4.- A parte de la influencia del medio celular en los campos, existen otros factores que intervienen en los resultados y son fundamentalmente: la frecuencia de operación, el relleno dieléctrico del aplicador y el espesor de la capa de piel.

5.- Se tienen buenos resultados para una guía que aloje una capa de piel solamente por cuanto existe enfoque espacial y profundidad de penetración trabajando a una frecuencia de 1.5 a 2.0 la frecuencia de corte del aplicador.

6.- Este estudio es aplicable en el campo hipertermico si asumimos al tejido tumoral con caracteristicas dielectricas muy similares a las de un tejido normal.

RECOMENDACIONES.

1.- Extender las capas celulares de dos a tres con el proposito de simular tejidos no tratados en este tesis.

2.- Implementacion del aplicador, por carecer de complejidad y utilizar pocos elementos.

BIBLIOGRAFIA

1. Becerra C. and J. Rebollar, Electrical Fiel Distributions of waveguide Array for Local Tumor Hiperthermia, Jounarl of Microwavw Power and Electromagnetic Energi, Vol. 23, No. 4, 1988, pp 247-254

2. Collin E. Robert, Fundations for Microwave Engineering (McGraw-Hill Physical and Quantum Electronics Series, 1966.)

3. Hurt D. William, Multiterm Debye Dispersion Relations for permittivity of Muscle, IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. BME, No. 1, January 1985, pp 60-63

4. Rebollar J. M. Desing of waveguide applicators for medical applications considering multilayerd configurations of tissues. INTERN URSI SYMP (Aug. 1983), pp 669- 672

5. Rebollar J. M. and Encinar A. J., Convergence of Numerical Solutions of Open-Ended Waveguide by Modal Analysis and Hibrid Modal-Spectral Techniques, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol MTT- 34, No. 7, July 1986

6. Rubin Philip, Oncologia Clinica para estudiantes de Medicina y médicos, quinta edición, New York 1978, pp

7. Schwan P. Herman and Foster R. Kenneth. RF Field Interactions with Biological Sistems: Electrical Properties and Biophysical Mechanisms. Proceedings of the IEEE, Vol. 68, No. 1. January 1980, pp 104-113