

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA IMPEDANCIA DE LOS
DIPOLOS CON CARGA CAPACITIVA

Tesis previa a la obtención del título
de Ingeniero en la especialización de
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Escuela Politécnica Nacional.

JORGE G. ERAZO M.

QUITO
Junio de 1.979

Certifico que este trabajo ha
sido realizado en su totalidad
por el Sr. Jorge G. Erazo M.

A handwritten signature in blue ink, reading "Kanti Hore", is written over a horizontal line.

Dr. Kanti Hore
CONSULTOR DE TESIS

Quito, Junio de 1.979

A MI PADRE Y A LA
MEMORIA DE MI MADRE

A G R A D E C I M I E N T O

Quiero dejar constancia de mi más profundo agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, en las personas de quienes fueron mis maestros, por todo cuanto han aportado a mi preparación.

I N D I C E G E N E R A L

	Página
PROLOGO	1
CAPITULO I Introducción	2
CAPITULO II Descripción del Método de Medición	7
CAPITULO III Datos obtenidos en las Mediciones. Cálculos	19
CAPITULO IV Curvas Obtenidas	50
CAPITULO V Conclusiones	60
ANEXO Ajuste de Curvas. Método de Mínimos Cuadrados	65
BIBLIOGRAFIA	71

P R O L O G O

Dentro del estudio de antenas, es muy importante el conocimiento del valor de su impedancia, por cuanto ésto permitirá el diseño del circuito de acoplamiento de la antena al equipo de transmisión y/o recepción.

En forma teórica se tiene un valor de impedancia, pero en la práctica éste valor está afectado por varios factores físicos relacionados con la construcción misma de la antena. Así, si la antena en cuestión es un dipolo, su valor de impedancia varía al variar su longitud, el diámetro de sus elementos filamentosales y el diámetro de la compensación capacitiva colocada en sus extremos, en el caso de que ésta existiese.

El presente trabajo intenta mostrar la forma de variación del valor de la impedancia de los dipolos al variar los ya mencionados parámetros físicos.

Debido a que el estudio realizado se fundamenta en mediciones prácticas de impedancia de dipolos, se detalla además el método seguido para realizarlas.

Quito, Junio de 1.979.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

Una antena es un dispositivo que permite la transferencia de energía desde una línea de transmisión o guía de onda hacia el espacio libre.

La transición de la condición que podemos denominar guiada a la propagación en el espacio, debe ser realizada sin pérdidas, lo cual equivale a decir que toda la energía contenida en la línea de transmisión debe ser enviada al espacio libre.

Estos conceptos básicos se amplían si tenemos en cuenta que las propiedades de una antena que es usada para captar energía de una onda, están íntimamente relacionadas con las correspondientes propiedades de la misma antena cuando es usada como radiador. Así pues, la impedancia de una antena receptora es exactamente igual a la impedancia de la misma antena actuando como transmisora. En forma similar, la directividad que una antena tiene cuando radia energía, corresponde exactamente a la directividad que la misma antena tiene como receptora.

Estas características de reciprocidad entre las propiedades de transmisión y recepción de las antenas son extremadamente útiles, ya que hacen posible deducir sus características a través de pruebas o de recepción o de transmisión, según sea más conveniente.

De acuerdo a su concepción misma, la antena debe ser capaz de funcionar sobre una banda de frecuencias o, alternativamente, a una frecuencia específica.

Con éstas consideraciones, para la construcción de una antena, es necesario conocer:

- La frecuencia o el rango de frecuencias en el cual debe trabajar,
- El diagrama de radiación requerido y la ganancia, y
- El nivel de potencia, en el caso de transmisión.

A parte de éste conocimiento, es necesario tener el dato de IMPEDANCIA con el objeto de realizar el acoplamiento de la antena a las demás unidades que forman parte de los equipos de transmisión y/o recepción.

La componente resistiva de ésta impedancia es igual a la suma de la resistencia de radiación y de la resistencia de pérdida. En muchos casos, la resistencia de pérdida es indiferente, con lo cual la componente resistiva de la impedancia de la antena puede ser considerada como formada únicamente por la re-sistencia de radiación y la potencia que es disipada en ésta resistencia, debido a una corriente en la antena, es la potencia radiada.

La componente reactiva de la impedancia de la antena indica la naturaleza de la resonancia existente. Así, si la componente reactiva es cero (0), la antena está en resonancia, mientras que, componentes inductivas y capacitivas indican que la frecuencia está en uno u otro lado de la resonancia.

Como ya se ha mencionado, el conocimiento de las componentes resistiva y reactiva de la impedancia de una antena, provee el dato requerido para diseñar el circuito de acoplamiento de la impedancia de la antena a un generador. Por ejemplo, si una antena con una impedancia $R_a + jX_a$ va a ser acoplada a un cable coaxial de impedancia característica R_o , el circuito de acoplamiento debe transformar la impedancia $R_a + jX_a$ al valor R_o .

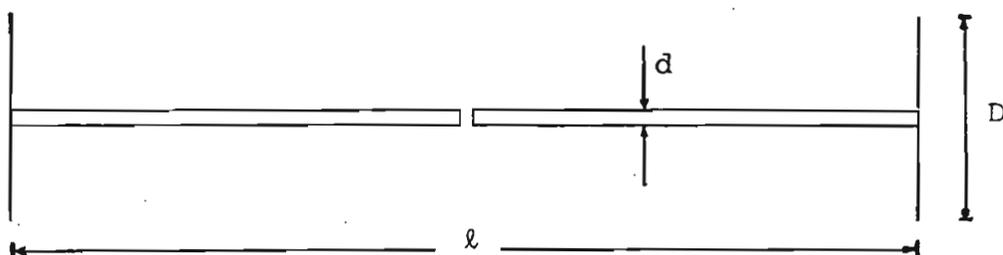
La variación de las componentes resistiva y reactiva de la impedancia de una antena con relación a la frecuencia, define el problema involucrado en el acoplamiento de la impedancia de la antena a un generador sobre una banda de frecuencias. Cuando el dato de impedancia está disponible para un rango de frecuencias, entonces se hace posible determinar, por cálculo, el intervalo de frecuencias sobre el cual un sistema de acoplamiento de impedancias permitirá unir la antena a un generador para cualquier grado deseado de tolerancia.

La impedancia de una antena en su medición, es afectada por la presencia de objetos cercanos, como:

- Otras antenas,
- alambres,
- edificios,
- montañas,
- obstáculos,
- etc.

En la práctica, la impedancia es siempre medida excitando a la antena, o sea, usándola como un elemento transmisor. También es posible medirla con la antena operando como receptora, pero experimentalmente esto es mucho más difícil y, por los teoremas de reciprocidad, da el mismo resultado.

Con éstos antecedentes, el presente trabajo intenta mostrar la forma de variación de la impedancia de los dipolos cortos, al variar los parámetros físicos de su construcción. Los parámetros físicos considerados son:



Es decir, se considerará, para el presente estudio experimental, la influencia que sobre la impedancia tienen, la longitud del dipolo (ℓ), su diámetro (d) y el diámetro de la compensación capacitiva (D).

C A P I T U L O I I

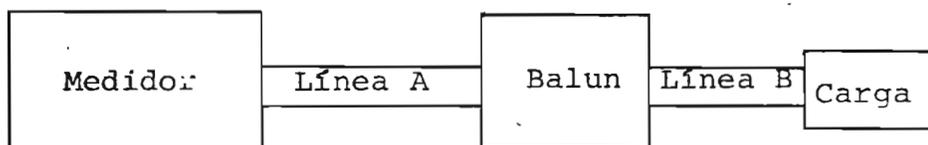
DESCRIPCION DEL METODO DE MEDICION

C-74(1) 75

El método usado para las mediciones de impedancia se basa en el uso del medidor de admitancias GENERAL RADIO 1602-B, y en el análisis de las características de las líneas de transmisión utilizadas.

Para la explicación requerida es necesario que consideremos la disposición de los aparatos utilizados en la realización de las mediciones.

Veamos:



donde,

El Medidor: Nos da la lectura de las admitancias puestas como su carga.

Línea A : Refiere la entrada del balun al punto exacto de medición

Balun : Permite acoplar una línea desbalanceada como la A, a una línea balanceada como la B.

Línea B : Alimenta al dipolo de carga, cuya impedancia se desea conocer.

Si tenemos un sistema como el de la figura, la lectura directa que se tiene en el medidor no es el valor de la admitancia o impedancia buscada, ya que para conseguirlo es necesario realizar la corrección eléctrica de las líneas utilizadas entre el medidor y la carga, y considerar sus características.

En un sistema de medición como el analizado se pueden tener diferentes casos:

1. Utilizar como parte del medidor una línea de transmisión que podamos considerar sin pérdidas (lo cual es posible de lograrse con líneas cuyo dieléctrico sea aire) y de longitud arbitraria, y como carga, una línea con pérdidas terminada en la impedancia desconocida.
2. Utilizar como parte del medidor una línea de transmisión que podamos considerar sin pérdidas, de media longitud de onda, y como carga una línea con pérdidas terminada en la impedancia que se desea medir. En este caso, el medidor nos dará una lectura de ADMITANCIA.
3. Utilizar como parte del medidor una línea de transmisión que podamos considerar sin pérdidas, de un cuarto de longitud de onda y como carga una línea con pérdidas terminada en la impedancia que se desea medir. En éste caso, el medidor nos dará una lectura de IMPEDANCIA..

Como se puede deducir, los métodos 2. y 3. nos brindan mayor facilidad en cuanto a una lectura más directa al no tener que recurrir a la corrección de la longitud eléctrica de la línea A. Sin embargo, si consideramos que las mediciones de impedancia se van a realizar en un rango de frecuencias, el método 1. nos evita el buscar, para cada frecuencia, la longitud apropiada de la línea A.

Por ésta razón, el método escogido es el 1. y su uso implica el conocimiento de las características de las líneas utilizadas, las mismas que se consiguen experimentalmente.

En forma general podemos decir que las líneas empleadas (A y B) están caracterizadas por:

Línea A : * $\text{tg } \beta l_1$

* Y_0

* α_1

Línea B : * $\text{tgh } \gamma l_2$

* Y_0

* α_2

De éstas características conocemos como datos únicamente:

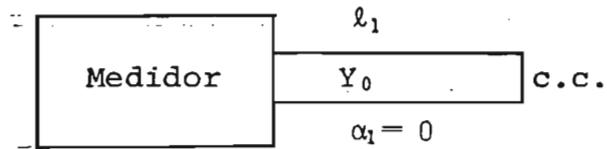
$$Y_0 = 20 \text{ milimhos}$$

$$\alpha_1 = 0 \text{ (Asumimos sin pérdidas)}$$

mientras que los demás valores deben ser calculados.

En las siguientes hojas se detalla el procedimiento de medición y de cálculo que debe ser realizado para cada frecuencia utilizada.

1.



El medidor da:

$$(1) \quad Y = j B_0' = j (B_0 \times A_0)$$

donde,

A_0 = Factor de multiplicación

B_0 = Susceptancia

Se conoce que en general, en la línea de longitud l_1 :

$$Y = Y \frac{Y_r + j Y_0 \operatorname{tg} \beta_1 l_1}{Y_0 + j Y_r \operatorname{tg} \beta_1 l_1}$$

como tenemos un cortocircuito en la carga,

$$Y_r = \infty$$

con lo cual:

$$Y = Y_0 \frac{\frac{Y_r}{Y_r} + j \frac{Y_0}{Y_r} \operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}{\frac{Y_0}{Y_r} + j \frac{Y_r}{Y_r} \operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}$$

$$Y = Y_0 \frac{1}{j \operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}$$

$$(2) \quad Y = -j \frac{Y}{\operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}$$

Igualando (1) y (2) tenemos:

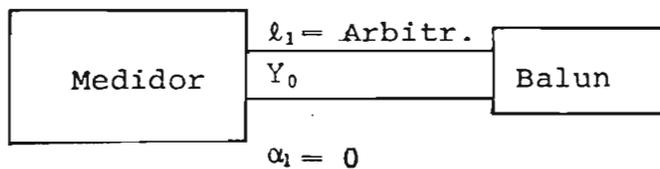
$$jB_0' = -j \frac{Y_0}{\operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}$$

de donde:

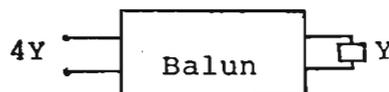
$$\operatorname{tg} \beta_1 \ell_1 = - \frac{Y_0}{B_0'}$$

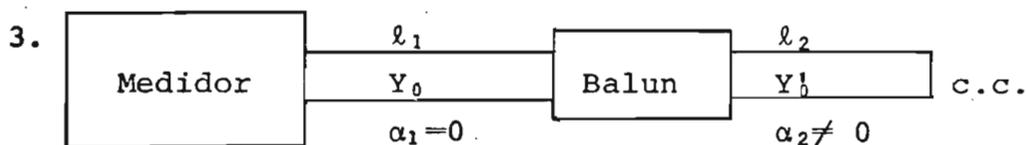
$$\operatorname{tg} \beta_1 \ell_1 = - \frac{Y_0}{B_0 \times A_0}$$

2.



Respecto del balun debemos tener en cuenta que:





El medidor da:

$$Y_1 = (G_1 + jB_1) A_1$$

donde,

$$G_1 = \text{Conductancia 1}$$

$$B_1 = \text{Susceptancia 1}$$

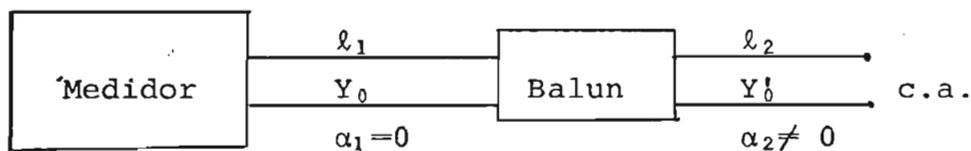
$$A_1 = \text{Factor de multiplicación 1}$$

a la entrada del balun tenemos:

$$Y_2 = Y_0 \frac{Y_1 - jY_0 \operatorname{tg} \beta_1 l_1}{Y_0 - jY_1 \operatorname{tg} \beta_1 l_1}$$

después del balun tenemos:

$$Y_3 = Y_2/4$$



El medidor nos da:

$$Y_4 = (G_4 + jB_4) A_4$$

donde,

$G_4 =$ Conductancia 4

$B_4 =$ Susceptancia 4

$A_4 =$ Factor de multiplicación 4

a la entrada del balun tenemos:

$$Y_5 = Y_0 \frac{Y_4 - j Y_0 \operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}{Y_0 - j Y_4 \operatorname{tg} \beta_1 \ell_1}$$

después del balun tenemos:

$$Y_6 = Y_5/4$$

con éstos datos,

$$Y_0' = \sqrt{Y_3 \times Y_6}$$

donde se debe cumplir que:

$$\operatorname{Re} \{Y_0'\} > 0$$

para tener sentido físico.

En la línea de longitud ℓ_2 en forma general tenemos:

$$Y = Y_0' \frac{Y_r + Y_0' \operatorname{tgh} \gamma \ell_2}{Y_0' + Y_r \operatorname{tgh} \gamma \ell_2}$$

con la carga en cortocircuito,

$$Y_r = \infty$$

con lo cual,

$$(3) \quad Y_3 = \frac{Y_0'}{\operatorname{tgh} \gamma \ell_2}$$

con la carga en circuito abierto,

$$Y_r = 0$$

con lo cual,

$$(4) \quad Y_6 = Y_0' \operatorname{tgh} \gamma \ell_2$$

Para el cálculo de $\operatorname{tgh} \gamma \ell_2$ existe la ecuación:

$$\operatorname{tgh} \gamma \ell_2 = \frac{Y_6}{Y_3}$$

sin embargo, Y_3 puede en algún momento tomar el valor cero (0), quedando una indeterminación. Para obviar ésta posibilidad, aprovechamos el cálculo anterior, el de Y_0' , obteniéndose el valor de la $\operatorname{tgh} \gamma \ell_2$ o de la ecuación (3) o de la ecuación (4).

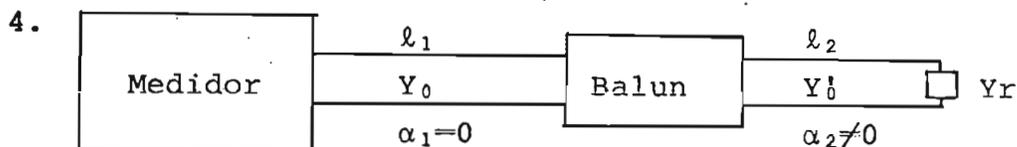
De la ecuación (3) tenemos:

$$\operatorname{tgh} \gamma l_2 = \frac{Y_0'}{Y_3}$$

de la (4), cuya utilización es preferible, tenemos:

$$\operatorname{tgh} \gamma l_2 = \frac{Y_6}{Y_0'}$$

Una vez que se han encontrado los valores que caracterizan a las líneas utilizadas en la medición, es posible encontrar el valor real de la impedancia de carga Z_r , a través de montar el sistema completo y realizar el cálculo respectivo, en la forma que a continuación se explica:



El medidor da:

$$Y_7 = (G_7 + jB_7) A_7$$

donde,

G_7 = Conductancia 7

B_7 = Susceptancia 7

A_7 = Factor de multiplicación 7

A la entrada del balun tenemos:

$$Y_8 = Y_0 \frac{Y_7 - jY_0 \operatorname{tg}\beta_1 l_1}{Y_0 - jY_7 \operatorname{tg}\beta_1 l_1}$$

después del balun tenemos:

$$Y_9 = Y_8/4$$

con todos los datos obtenidos:

$$Y_r = Y_0 \frac{Y_9 - Y_0 \operatorname{tgh}\gamma l_2}{Y_0 - Y_9 \operatorname{tgh}\gamma l_2}$$

con lo cual, el resultado buscado es:

$$Z_r = \frac{1.000}{Y_r} \quad \Omega$$

C A P I T U L O I I I

DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES
CALCULOS

Como se describe en el capítulo anterior, el método de medición necesita para su utilización, del conocimiento de las características propias de las líneas usadas; concretamente, necesita el conocimiento de la admitancia o impedancia característica de cada línea, de la constante de atenuación α y de la constante de fase β .

Con los datos obtenidos en las mediciones, A_0 , B_0 ; A_1 , B_1 , G_1 ; A_4 , B_4 , G_4 ; A_7 , B_7 , G_7 , se procedió a realizar los cálculos respectivos para llegar al valor final de la impedancia. Sin embargo, analizando el método de medición, se observó que se estaba calculando, para cada frecuencia, las características de las líneas utilizadas. Así, se variaban en cada medida, parámetros que debían mantenerse esencialmente constantes, como son:

- La constante de velocidad de la línea de aire,
- La constante de velocidad de la línea balanceada
- La impedancia característica de la línea balanceada.

Por ésta razón, se calculó β_1 de la línea de aire para cada frecuencia utilizada, y se procedió a graficar éstos valores, obteniéndose una curva de β_1 en función de la frecuencia, que compensa errores por exceso y/o por defecto, debido al uso de una regresión. La curva obtenida y a la que se recurre para el cálculo en cada frecuencia es:

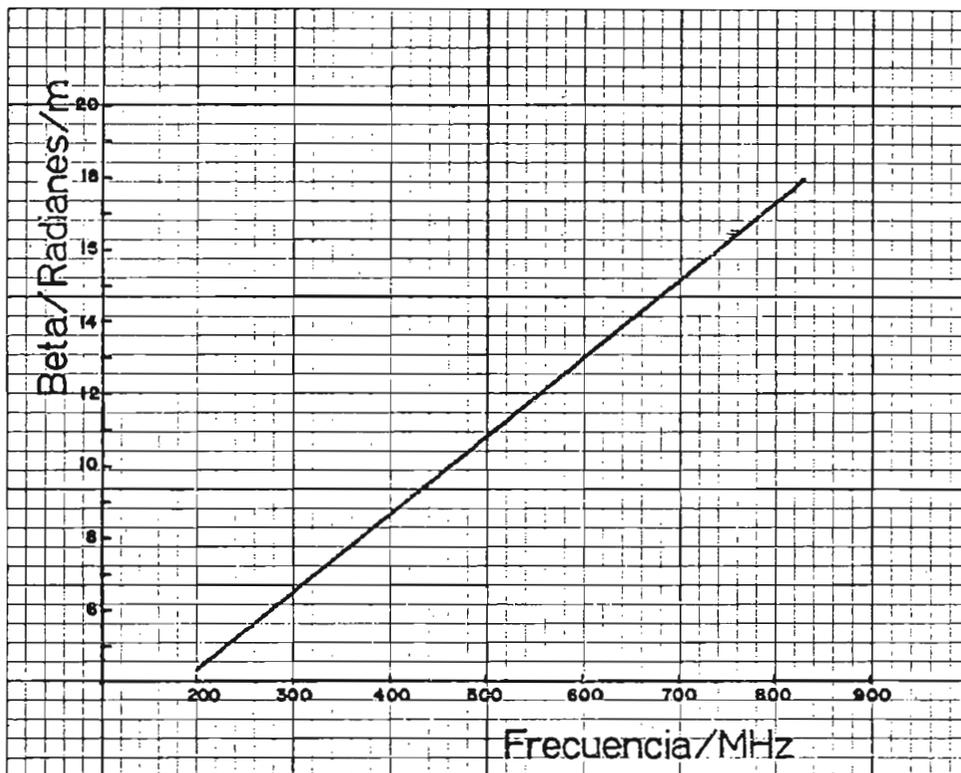


Gráfico de Beta 1 en función de la Frecuencia para la Línea de Aire.

cuya ecuación particular es:

$$\beta_1 = Af$$

donde,

$$A = 0,021609774293$$

En igual forma que β_1 , se obtuvo para cada frecuencia, el valor de la constante de velocidad de la línea de aire Kv_1 , obteniéndose luego un promedio aritmético que es igual a:

$$Kv_1 = 0,969188791144$$

que será constante respecto de la frecuencia, ya que:

$$Kv = \frac{2 \pi f}{C \beta_1} = \frac{2 \pi f}{C A f}$$

$$Kv = \frac{2 \pi}{C A}$$

donde, C es la velocidad de la luz, teniéndose en la ecuación únicamente términos constantes.

En la línea de aire se ha considerado que la constante de atenuación α_1 es igual a cero (0).

Respecto a la línea balanceada se ha procedido

en igual forma, con el objeto de minimizar los errores que, en mediciones de puntos aislados, se pudieron haber cometido.

Teniendo presente lo anterior, se procedió a calcular, para cada frecuencia utilizada, el valor de la parte real y la parte imaginaria de la admitancia característica de la línea balanceada, tomándose su promedio aritmético para usarla en los cálculos. Ese valor promedio es:

$$\bar{Y}_0 = 3,4253 + j0,064$$

de donde se puede obtener la impedancia característica:

$$\bar{Z}_0 = 291,89 \angle -1,071^\circ$$

Se calculó el valor de α_2 , procediéndose a grafizarlo en función de la frecuencia, obteniéndose la curva:

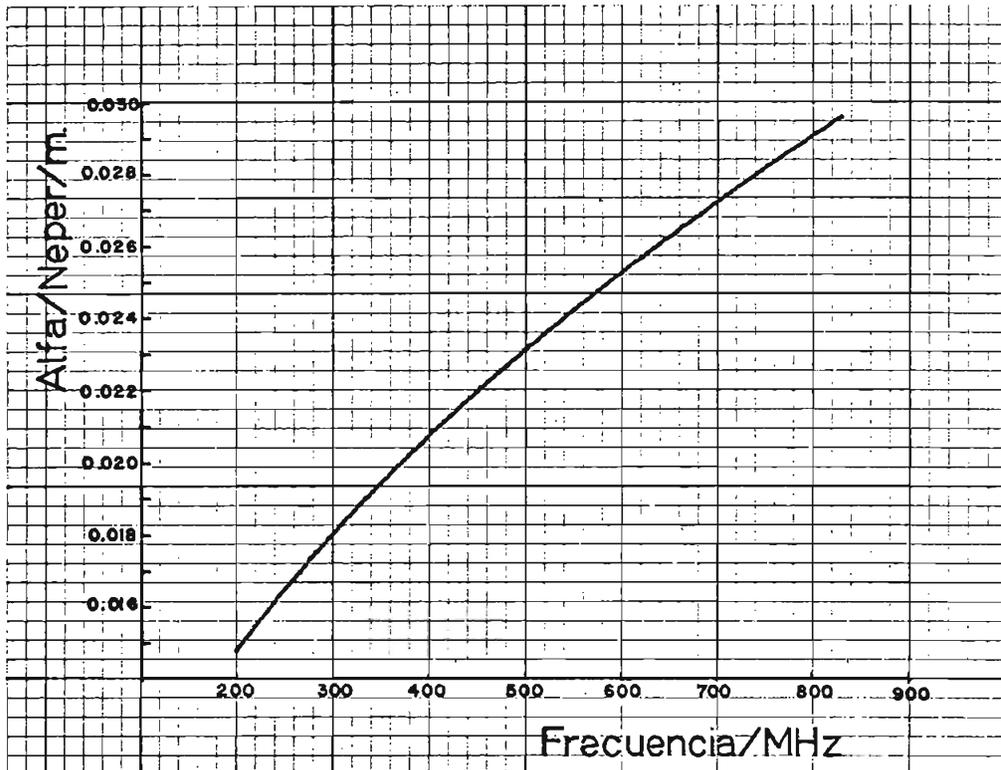


Gráfico de Alfa 2 en función de la Frecuencia para la Línea Balanceada.

de la que se obtuvieron los datos necesarios para el cálculo, y cuya ecuación es:

$$\alpha_2 = Af^B$$

donde,

$$A = 0,00112435792033$$

$$B = 0,48649639467$$

Si analizamos la ecuación:

$$Kv = \frac{2 \pi f}{C \beta_2}$$

a cada valor de β_2 corresponderá un Kv_2 o viceversa. Esto hace necesario que conozcamos el orden de magnitud de la constante Kv_2 para poder determinar un valor de β_2 a ser usado. En la línea de aire el problema era sencillo, pues se conoce que tiene una constante de velocidad $Kv_1 \geq 0,9$ (teóricamente, $Kv_1 = 1$).

Por referencias se conoce que puede estar entre 0,7 y 0,8 pero cada cable tiene su propia constante de velocidad que depende del material usado en su fabricación. Luego de un análisis de resultados utilizando los dos posibles valores, se concluyó que el mejor valor es el de 0,8 o el que está en sus cercanías. Tomándose el promedio aritmético de éstos valores se llegó a determinar que:

$$Kv_2 = 0,85631290$$

Con ésto se obtuvo una curva que representa a β_2 en función de la frecuencia. La curva mencionada es la siguiente:

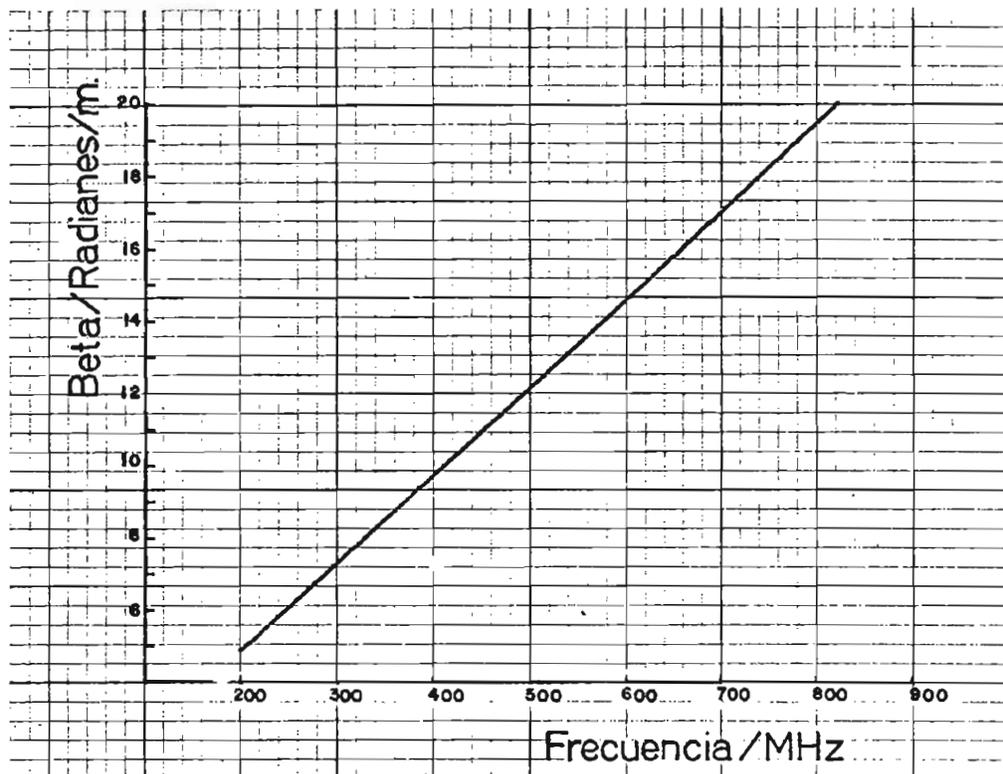


Gráfico de Beta 2 en función de la Frecuencia para la Línea Balanceada.

que se usó para obtener los datos necesarios. La ecuación de la curva anterior es:

$$\beta_2 = Af$$

donde,

$$A = 0,0243443725602$$

Así obtenidos los parámetros de las líneas utilizadas en las mediciones, se procedió a utilizarlos en el cálculo de la impedancia del dipolo, alcanzándose los siguientes resultados:

NOTA: Los cálculos necesarios en el presente trabajo fueron realizados mediante programa en la microcomputadora Tektronix 4051.

LONGITUD DEL DIPOLO

$$l = 32 \text{ cm.}$$

FRECUENCIA: 400 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 77,80 CM
 LONGITUD DEL DIFOLO: 32,00 CM

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 CM	2,00	10,00	4,90	73,46	-57,69
D= 2 CM	2,00	11,50	6,75	75,33	-20,67
D= 3 CM	2,00	11,20	13,75	99,24	48,86
D= 4 CM	2,00	3,60	11,25	201,47	56,08

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 CM	2,00	10,90	4,40	56,90	-51,30
D= 2 CM	2,00	11,80	7,00	74,15	-15,75
D= 3 CM	2,00	11,50	11,20	95,45	26,03
D= 4 CM	2,00	6,00	16,80	129,65	90,02

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 CM	2,00	11,30	4,60	55,66	-44,35
D= 2 CM	2,00	11,60	5,50	62,89	-32,48
D= 3 CM	2,00	11,50	6,80	75,72	-20,14
D= 4 CM	2,00	11,20	11,80	99,08	31,45

FRECUENCIA: 440 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 75,20 cm
 LONGITUD DEL DIFOLO: 32,00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	14.40	6.50	53.86	116.56
D= 2 cm	3.00	9.50	11.10	132.66	132.08
D= 3 cm	3.00	4.50	13.40	204.93	174.46
D= 4 cm	3.00	-1.00	11.80	323.22	230.96

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	10.10	7.00	98.09	81.06
D= 2 cm	3.00	9.80	10.10	124.92	119.90
D= 3 cm	3.00	6.00	13.40	182.14	166.37
D= 4 cm	3.00	0.80	12.40	279.70	201.24

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	10.50	5.90	81.01	72.49
D= 2 cm	3.00	10.00	8.00	108.72	93.09
D= 3 cm	3.00	10.30	9.75	116.69	117.85
D= 4 cm	3.00	7.00	12.60	169.53	151.61

FRECUENCIA: 460 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 73.70 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 32.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-1.60	4.50	124.53	90.12
D= 2 cm	3.00	0.60	4.50	198.13	139.07
D= 3 cm	3.00	2.50	4.50	310.83	178.30
D= 4 cm	3.00	4.40	4.50	501.35	170.21

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-1.70	4.60	124.10	85.66
D= 2 cm	3.00	0.20	4.50	181.29	129.80
D= 3 cm	3.00	2.00	4.50	274.91	169.71
D= 4 cm	3.00	4.00	4.90	444.82	137.84

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-1.60	4.70	128.52	85.14
D= 2 cm	3.00	-1.00	4.60	142.38	99.91
D= 3 cm	3.00	0.25	4.80	189.74	118.85
D= 4 cm	3.00	1.70	5.10	265.22	127.99

FRECUENCIA: 480 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 72.30 cm
 LONGITUD DEL DIFOLO: 32.00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	9.90	10.00	162.80	161.20
D = 2 cm	3.00	8.25	14.90	239.84	218.05
D = 3 cm	3.00	1.50	18.40	390.75	269.49
D = 4 cm	3.00	-5.00	16.40	608.14	267.40

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	9.75	9.50	157.82	152.64
D = 2 cm	3.00	8.50	13.25	221.58	192.89
D = 3 cm	3.00	4.50	16.80	321.92	233.77
D = 4 cm	3.00	-2.80	17.00	521.05	256.77

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	9.25	8.30	145.96	129.86
D = 2 cm	3.00	9.00	10.25	179.54	152.35
D = 3 cm	3.00	7.60	12.60	230.14	172.65
D = 4 cm	3.00	4.00	15.10	325.93	193.41

FRECUENCIA: 500 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 74.80 cm
 LONGITUD DEL DIPLO: 32.00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	5.50	11.10	592.05	-199.60
D = 2 cm	3.00	0.20	15.70	319.32	-204.95
D = 3 cm	3.00	-6.50	14.70	198.09	-154.38
D = 4 cm	3.00	-9.90	12.30	141.58	-130.76

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	4.50	10.25	580.51	-115.15
D = 2 cm	3.00	2.60	14.40	394.25	-214.09
D = 3 cm	3.00	-3.90	15.40	241.36	-169.21
D = 4 cm	3.00	-6.90	12.90	187.96	-125.98

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3.00	4.20	9.40	592.69	-53.25
D = 2 cm	3.00	4.40	10.50	565.89	-124.69
D = 3 cm	3.00	1.25	13.25	378.00	-158.70
D = 4 cm	3.00	-3.00	13.70	264.22	-137.93

FRECUENCIA: 520 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 73.50 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 32.00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-14.20	13.20	619.32	-7.35
D= 2 cm	1.50	-9.60	10.90	428.58	-174.77
D= 3 cm	1.50	-6.80	9.00	294.59	-214.05
D= 4 cm	1.50	-3.75	7.60	186.57	-188.39

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-14.40	14.20	595.75	39.12
D= 2 cm	1.50	-10.50	11.60	470.56	-143.91
D= 3 cm	1.50	-7.00	10.40	322.86	-170.63
D= 4 cm	1.50	-3.75	9.10	214.79	-157.08

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-15.30	15.75	572.73	116.30
D= 2 cm	1.50	-12.60	14.70	519.59	10.51
D= 3 cm	1.50	-10.10	13.25	446.23	-76.69
D= 4 cm	1.50	-6.70	12.20	329.47	-110.88

FRECUENCIA: 540 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 69.60 cm
 LONGITUD DEL DIFOLO: 32.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.00	0.50	14.80	615.07	-58.14
D= 2 cm	3.00	2.10	7.25	369.41	-193.14
D= 3 cm	3.00	4.60	10.00	221.59	-200.09
D= 4 cm	3.00	6.50	13.75	149.08	-167.61

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-0.50	5.10	569.36	23.71
D= 2 cm	3.00	0.90	7.00	409.51	-126.63
D= 3 cm	3.00	2.60	9.30	276.97	-166.96
D= 4 cm	3.00	4.50	12.75	181.34	-157.34

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-1.75	5.50	454.85	110.96
D= 2 cm	3.00	-1.40	6.10	435.64	53.65
D= 3 cm	3.00	0.20	7.50	380.92	-81.16
D= 4 cm	3.00	0.80	9.60	286.48	-104.65

FRECUENCIA: 530 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 68.40 cm
 LONGITUD DEL DIFOLO: 32.00 cm

d= 6.0 milímetros

D	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-5.50	12.80	532.25	-84.65
D= 2 cm	3.00	-7.25	8.50	348.57	-212.79
D= 3 cm	3.00	-7.10	6.00	231.39	-217.66
D= 4 cm	3.00	-6.50	4.50	163.15	-194.02

d= 7.5 milímetros

D	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-4.40	13.00	524.93	-31.82
D= 2 cm	3.00	-6.90	9.40	388.68	-159.44
D= 3 cm	3.00	-6.90	7.00	276.46	-204.77
D= 4 cm	3.00	-6.50	5.10	189.50	-193.00

d=12.0 milímetros

D	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	-2.00	12.60	472.10	64.13
D= 2 cm	3.00	-3.70	11.60	453.87	-20.87
D= 3 cm	3.00	-5.00	9.10	358.71	-104.90
D= 4 cm	3.00	-5.50	7.20	278.31	-140.68

FRECUENCIA: 580 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 67.50 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 32.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-3.40	6.50	490.45	-70.53
D= 2 cm	2.00	-0.25	7.90	302.51	-171.34
D= 3 cm	2.00	3.00	9.50	186.21	-161.53
D= 4 cm	2.00	6.00	10.90	128.55	-140.86

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-3.50	6.90	461.52	-53.78
D= 2 cm	2.00	-1.30	8.10	334.13	-133.94
D= 3 cm	2.00	1.30	9.60	226.35	-145.45
D= 4 cm	2.00	4.30	11.00	155.14	-136.94

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-5.00	7.50	422.77	52.05
D= 2 cm	2.00	-4.00	8.25	382.68	-8.20
D= 3 cm	2.00	-2.50	9.40	316.32	-60.82
D= 4 cm	2.00	-0.50	11.20	237.51	-84.02

FRECUENCIA: 600 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 66.40 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 32.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-4.50	14.60	416.92	-138.12
D= 2 cm	2.00	-9.40	11.90	261.55	-194.90
D= 3 cm	2.00	-10.00	7.90	165.31	-154.80
D= 4 cm	2.00	-9.90	6.00	122.04	-133.61

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-4.00	13.75	408.10	-105.87
D= 2 cm	2.00	-7.60	12.00	293.30	-157.09
D= 3 cm	2.00	-9.40	8.80	192.97	-151.48
D= 4 cm	2.00	-9.75	6.50	135.26	-134.64

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-2.00	11.40	387.95	5.25
D= 2 cm	2.00	-4.20	11.60	346.77	-64.10
D= 3 cm	2.00	-6.40	9.75	257.76	-90.70
D= 4 cm	2.00	-7.50	8.40	207.14	-100.19

LONGITUD DEL DIPOLO

$$l = 42 \text{ cm.}$$

FRECUENCIA: 250 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 44.60 cm
 LONGITUD DEL BIFILIO: 42.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-18.70	6.50	42.83	-156.51
D= 2 cm	1.50	-15.25	5.60	51.28	-113.72
D= 3 cm	1.50	-11.90	5.10	65.98	-69.80
D= 4 cm	1.50	-9.40	4.40	73.73	-22.93

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-17.50	5.60	39.84	-140.91
D= 2 cm	1.50	-14.90	5.50	52.09	-112.06
D= 3 cm	1.50	-12.20	5.00	62.41	-73.50
D= 4 cm	1.50	-10.00	4.60	72.41	-35.39

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1.50	-16.10	5.25	42.84	-124.48
D= 2 cm	1.50	-13.25	5.25	47.22	-114.80
D= 3 cm	1.50	-13.00	4.90	55.76	-84.19
D= 4 cm	1.50	-11.50	4.60	61.20	-60.19

FRECUENCIA: 300 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 44,90 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42,00 cm

d= 6,0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,00	4,50	3,25	47,29	-103,68
D= 2 cm	1,00	6,50	4,70	59,76	-63,20
D= 3 cm	1,00	9,00	7,20	74,62	-17,23
D= 4 cm	1,00	11,60	10,50	86,30	26,01

d= 7,5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,00	5,10	3,60	50,26	-91,27
D= 2 cm	1,00	6,40	4,50	57,44	-65,79
D= 3 cm	1,00	8,60	6,60	70,95	-25,25
D= 4 cm	1,00	10,75	9,20	81,93	11,44

d=12,0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,00	5,80	3,50	45,22	-80,13
D= 2 cm	1,00	6,00	4,00	52,11	-74,54
D= 3 cm	1,00	7,80	5,75	65,97	-39,72
D= 4 cm	1,00	9,10	7,30	75,21	-15,57

FRECUENCIA: 320 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 49.10 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
14	1.20	-16.30	12.60	63.18	-105.58
15	1.20	-10.70	10.40	83.87	-51.73
16	1.20	-6.20	8.40	106.04	-3.54
17	1.20	-3.10	7.40	132.23	43.58

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
25	1.20	-15.00	12.10	67.35	-93.96
26	1.20	-11.20	10.25	79.37	-64.07
27	1.20	-7.00	8.90	102.89	-19.55
28	1.20	-3.75	7.80	128.44	29.11

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
35	1.20	-14.90	11.20	63.27	-91.79
36	1.20	-12.80	10.40	70.20	-75.35
37	1.20	-9.20	9.40	87.82	-43.12

FRECUENCIA: 340 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 48.80 cm
 LONGITUD DEL DIFOLIO: 42.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
U= 0 cm	1.00	11.60	5.30	70.46	-33.94
U= 2 cm	1.50	9.60	5.25	90.49	17.95
U= 3 cm	1.50	11.50	8.00	114.96	72.55
U= 4 cm	1.50	13.40	10.90	127.97	121.14

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
U= 0 cm	1.50	9.25	4.00	76.99	-18.89
U= 2 cm	1.50	9.40	5.00	87.63	12.22
U= 3 cm	1.50	10.75	7.50	115.61	57.52
U= 4 cm	1.50	13.25	10.10	121.90	112.21

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
U= 0 cm	1.50	7.90	3.75	74.17	-28.52
U= 2 cm	1.50	8.75	4.90	91.35	-1.04
U= 3 cm	1.50	9.40	5.90	103.85	20.39
U= 4 cm	1.50	10.00	7.40	121.98	45.60

FRECUENCIA: 360 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 49.10 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42.00 cm

d= 6.0 millimetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-10.75	15.40	70.76	-34.53
D= 2 cm	2.00	-6.80	9.50	88.73	18.20
D= 3 cm	2.00	-3.10	6.50	121.38	83.78
D= 4 cm	2.00	-1.10	5.25	153.48	138.25

d= 7.5 millimetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-9.90	14.00	74.42	-25.43
D= 2 cm	2.00	-6.90	9.90	89.28	13.78
D= 3 cm	2.00	-4.00	7.50	113.86	58.80
D= 4 cm	2.00	-1.90	5.90	140.87	109.77

d=12.0 millimetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	2.00	-10.50	14.80	71.66	-30.91
D= 2 cm	2.00	-8.75	12.80	79.71	-11.97
D= 3 cm	2.00	-5.50	9.50	103.17	23.27
D= 4 cm	2.00	-4.00	8.30	118.63	46.12

FRECUENCIA: 375 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 49,10 cm
 LONGITUD DEL DIFOLG: 42,00 cm

d= 6,0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
14	1,00	7,20	8,25	109,52	15,66
15	1,20	9,10	8,40	144,10	72,06
16	1,20	12,20	10,30	188,02	130,11
17	1,20	15,80	12,50	242,09	200,56

d= 7,5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
25	1,20	6,20	7,30	117,82	18,63
26	1,20	8,25	8,30	140,58	55,78
27	1,20	10,90	9,80	175,24	104,83
28	1,20	13,80	11,50	216,25	160,51

d=12,0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
35	1,20	5,30	7,20	114,33	2,07
36	1,20	6,25	7,75	126,35	18,77
37	1,20	8,40	9,25	159,24	56,79
38	1,20	10,10	10,90	195,42	86,48

FRECUENCIA: 400 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 48,80 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42,00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3,00	-3,60	16,40	108,98	15,32
D= 2 cm	3,00	-2,80	11,80	145,07	46,43
D= 3 cm	3,00	-2,75	8,80	168,89	92,02
D= 4 cm	3,00	-0,70	7,20	239,79	109,76

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3,00	-3,20	16,50	110,55	12,62
D= 2 cm	3,00	-2,50	12,10	145,95	40,72
D= 3 cm	3,00	-1,40	9,50	187,91	65,14
D= 4 cm	3,00	-0,75	7,90	225,94	90,16

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3,00	-1,90	17,40	111,22	0,85
D= 2 cm	3,00	-1,40	15,20	128,82	7,54
D= 3 cm	3,00	-0,60	12,30	162,44	19,45
D= 4 cm	3,00	-0,40	10,20	193,62	39,55

FRECUENCIA: 420 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 81,50 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42,00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,00	5,60	8,75	91,19	28,47
D= 2 cm	1,50	9,00	9,75	189,11	120,14
D= 3 cm	1,50	12,90	10,80	233,46	203,15
D= 4 cm	1,50	15,90	13,50	321,45	259,21

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,50	5,00	8,80	152,00	42,73
D= 2 cm	1,50	7,80	10,20	192,75	92,56
D= 3 cm	1,50	11,10	11,00	227,79	160,00
D= 4 cm	1,50	14,80	13,00	300,05	235,13

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	1,50	3,00	10,00	165,92	-0,14
D= 2 cm	1,50	4,50	10,40	180,46	25,97
D= 3 cm	1,50	7,40	11,90	225,59	75,05
D= 4 cm	1,50	9,90	14,00	286,35	113,54

FRECUENCIA: 440 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 45,70 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42,00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3,00	-2,90	16,60	172,76	152,10
D = 2 cm	3,00	-6,40	12,50	203,94	224,60
D = 3 cm	3,00	-6,60	8,70	256,85	303,00
D = 4 cm	3,00	-6,00	6,30	321,39	392,56

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3,00	-2,70	16,10	179,07	150,60
D = 2 cm	3,00	-5,30	12,80	212,19	205,22
D = 3 cm	3,00	-6,00	9,50	259,10	270,89
D = 4 cm	3,00	-5,80	7,25	312,78	340,77

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	3,00	1,00	15,25	184,78	101,73
D = 2 cm	3,00	-1,20	14,25	205,97	130,33
D = 3 cm	3,00	-3,50	11,10	263,71	186,30
D = 4 cm	3,00	-3,60	9,10	322,23	214,06

FRECUENCIA: 460 MHz
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE: 74.80 cm
 LONGITUD DEL DÍPOLO: 42.00 cm

d = 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	1.00	1.70	14.50	167.67	119.23
D = 2 cm	1.00	6.60	13.10	245.86	188.74
D = 3 cm	1.00	11.20	11.90	336.22	277.17
D = 4 cm	1.00	15.00	10.90	461.84	376.95

d = 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	1.00	2.00	15.70	200.99	107.02
D = 2 cm	1.00	5.75	14.40	244.46	157.15
D = 3 cm	1.00	10.10	13.25	323.52	225.79
D = 4 cm	1.00	13.00	12.25	399.64	291.12

d = 12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D = 0 cm	1.10	0.90	17.80	211.21	54.92
D = 2 cm	1.10	3.25	17.00	239.62	77.05
D = 3 cm	1.10	7.80	15.70	317.11	122.40
D = 4 cm	1.10	10.50	15.30	384.03	141.10

FRECUENCIA: 480 MHZ
 LONGITUD DE LINEA DE AIRE 73.20 cm
 LONGITUD DEL DIPOLO: 42.00 cm

d= 6.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	5.60	15.60	240.49	175.93
D= 2 cm	3.00	-2.50	18.60	381.60	277.33
D= 3 cm	3.00	-9.40	17.10	527.95	419.73
D= 4 cm	3.00	-12.50	13.50	706.33	558.27

d= 7.5 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	3.00	15.60	289.98	174.12
D= 2 cm	3.00	-1.10	17.25	370.16	232.64
D= 3 cm	3.00	-6.90	16.75	504.50	333.74
D= 4 cm	3.00	-10.60	14.50	649.05	448.82

d=12.0 milímetros

	A7	B7	G7	Re(Z)	Im(Z)
D= 0 cm	3.00	2.25	12.80	304.74	107.48
D= 2 cm	3.00	0.95	13.50	341.31	124.76
D= 3 cm	3.00	-3.20	14.00	469.61	171.19
D= 4 cm	3.00	-5.90	12.80	601.28	187.99

C A P I T U L O I V

CURVAS OBTENIDAS

Con los valores obtenidos mediante cálculo y tratando de que los resultados alcanzados sean más objetivos, se han grafizado tanto la parte real como la parte imaginaria de la impedancia de los dipolos medidos.

Se han grafizado familias de curvas que están en función de l/λ , para un mismo diámetro "D" de compensación capacitiva. En estas familias de curvas se tiene una curva para cada diámetro "d" de dipolo.

Las familias de curvas mencionadas han sido divididas en dos grupos diferenciados por la longitud l del dipolo.

Las curvas son las siguientes:

LONGITUD DEL DIPOLO

$$l = 42 \text{ cm.}$$

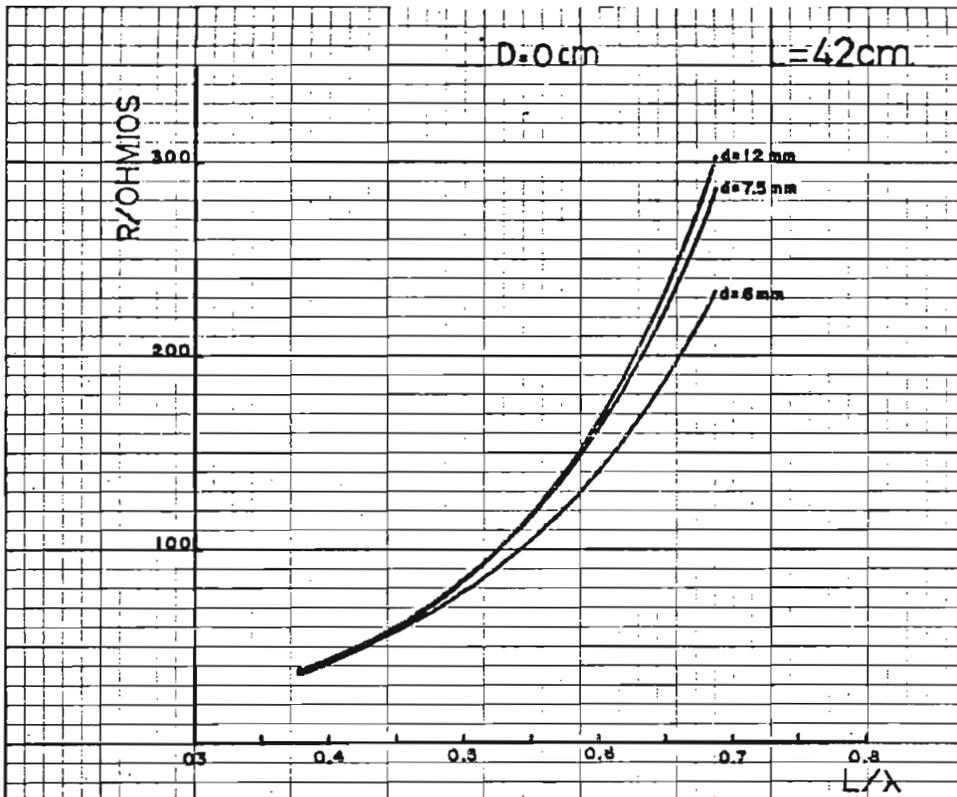


fig 1a

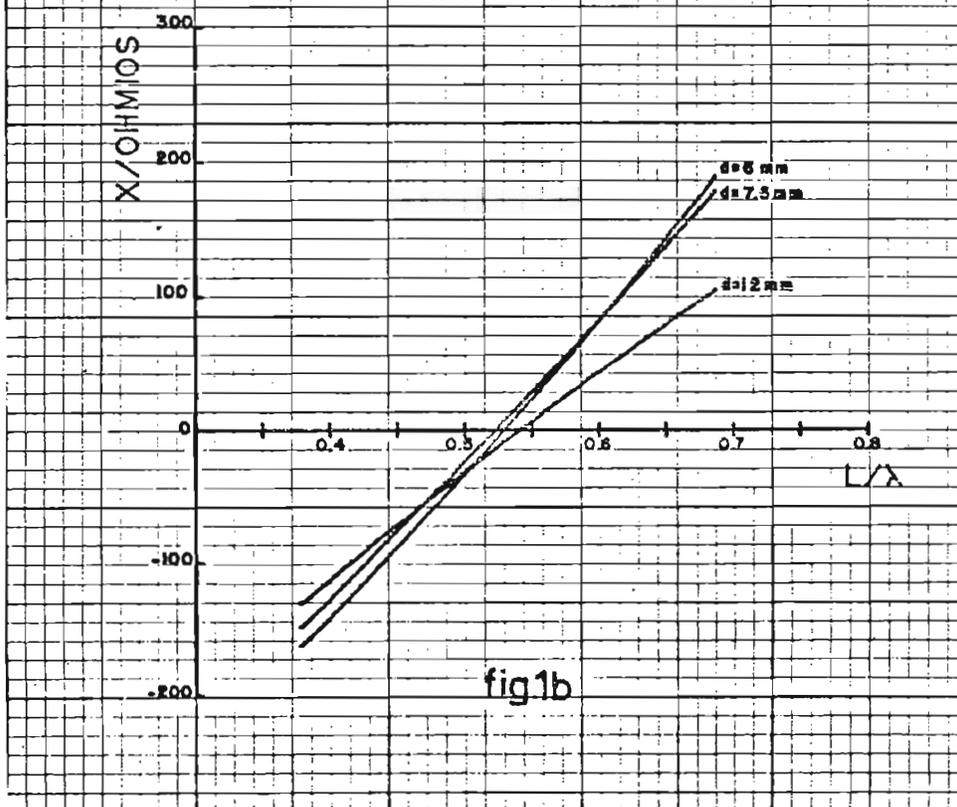


fig 1b

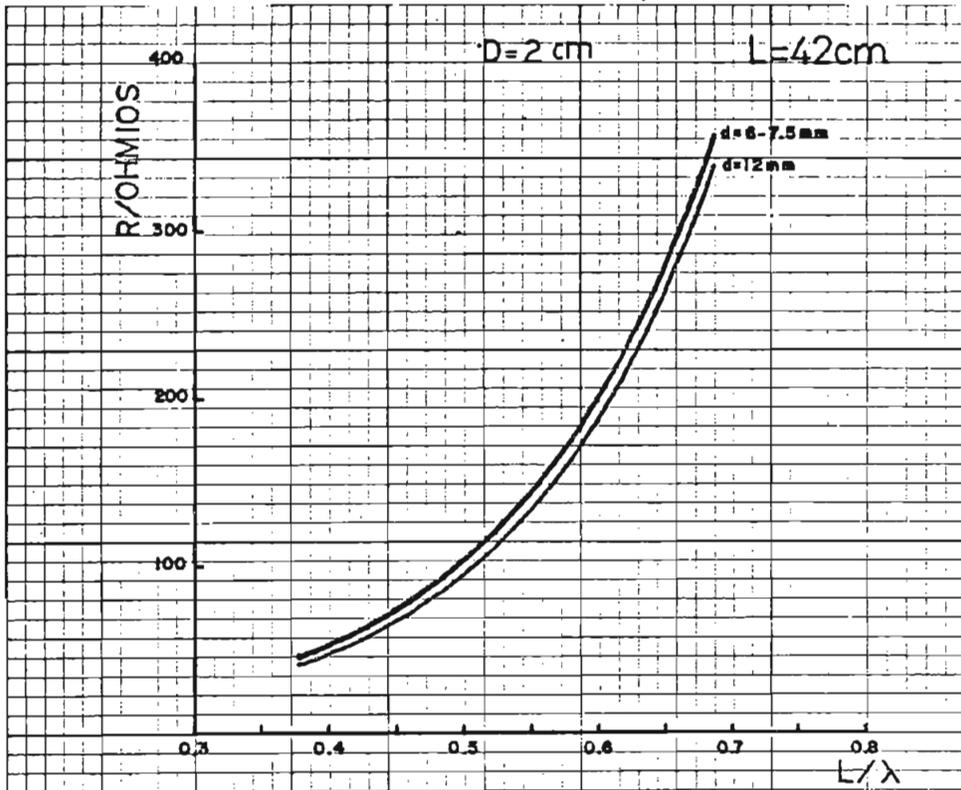


fig.2a

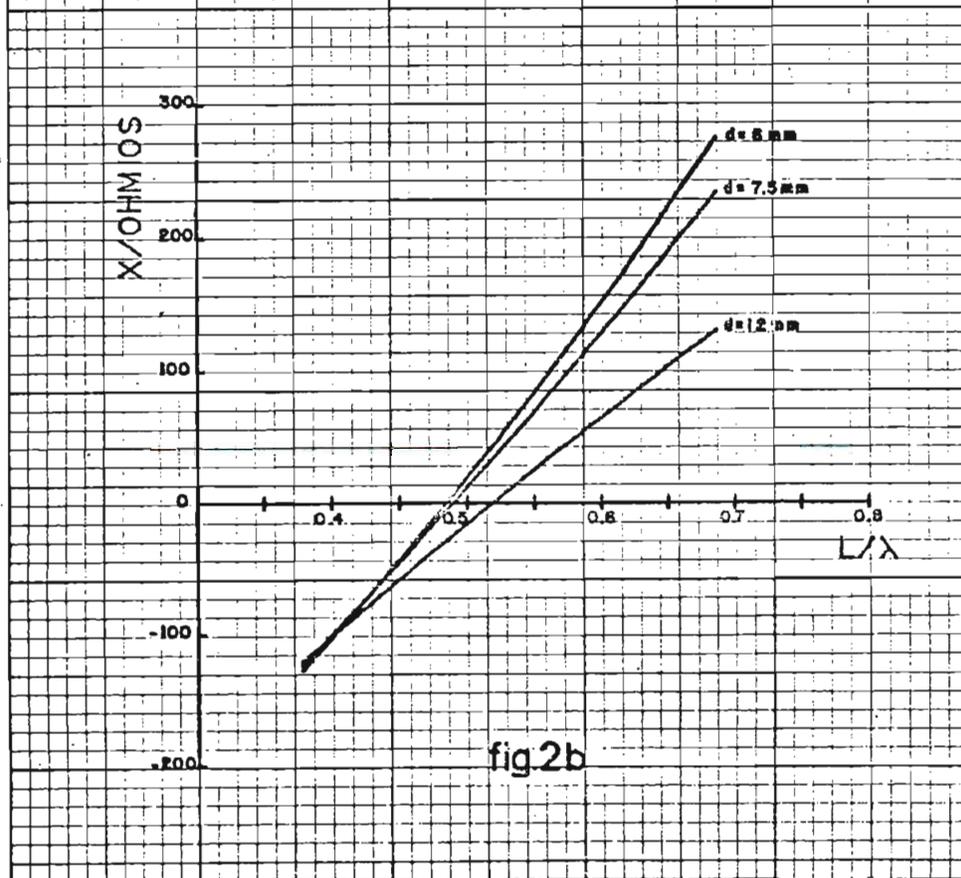


fig.2b

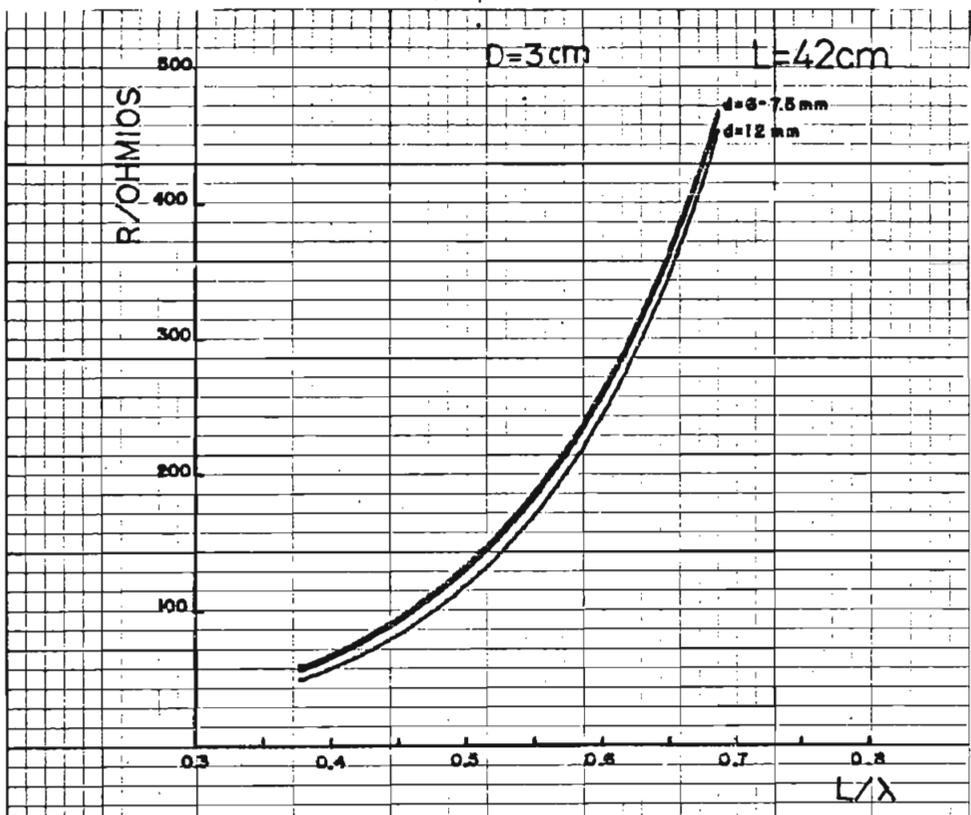


fig.3a

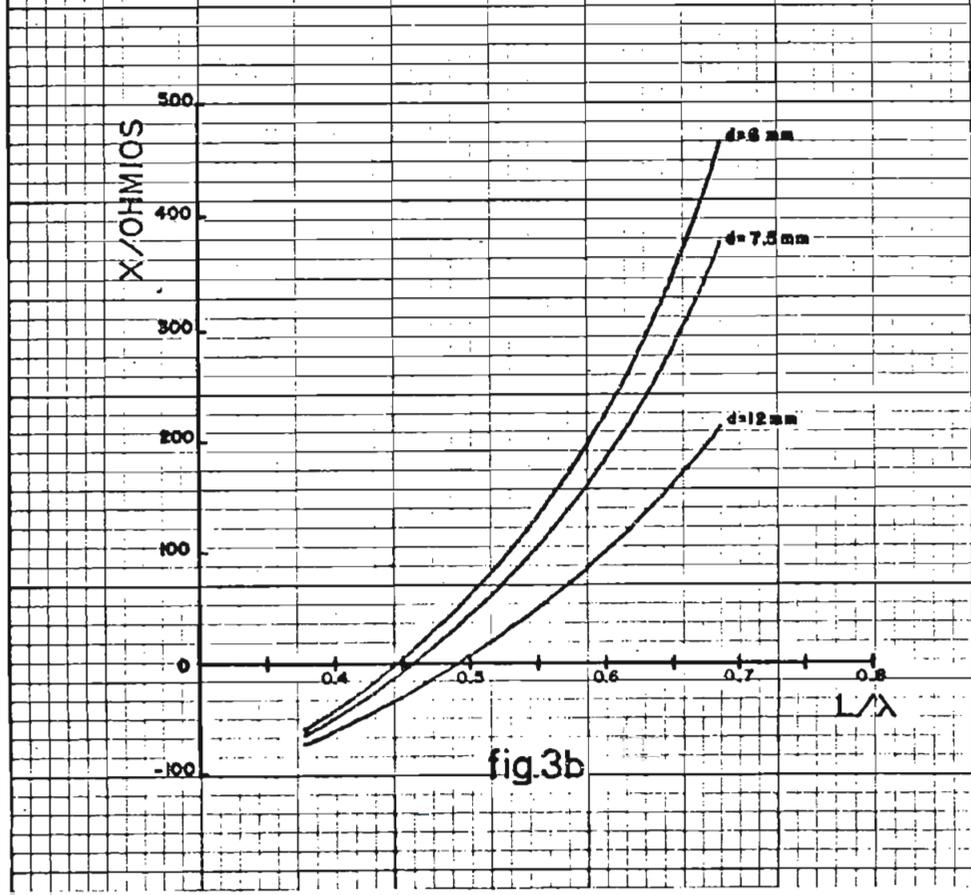


fig.3b

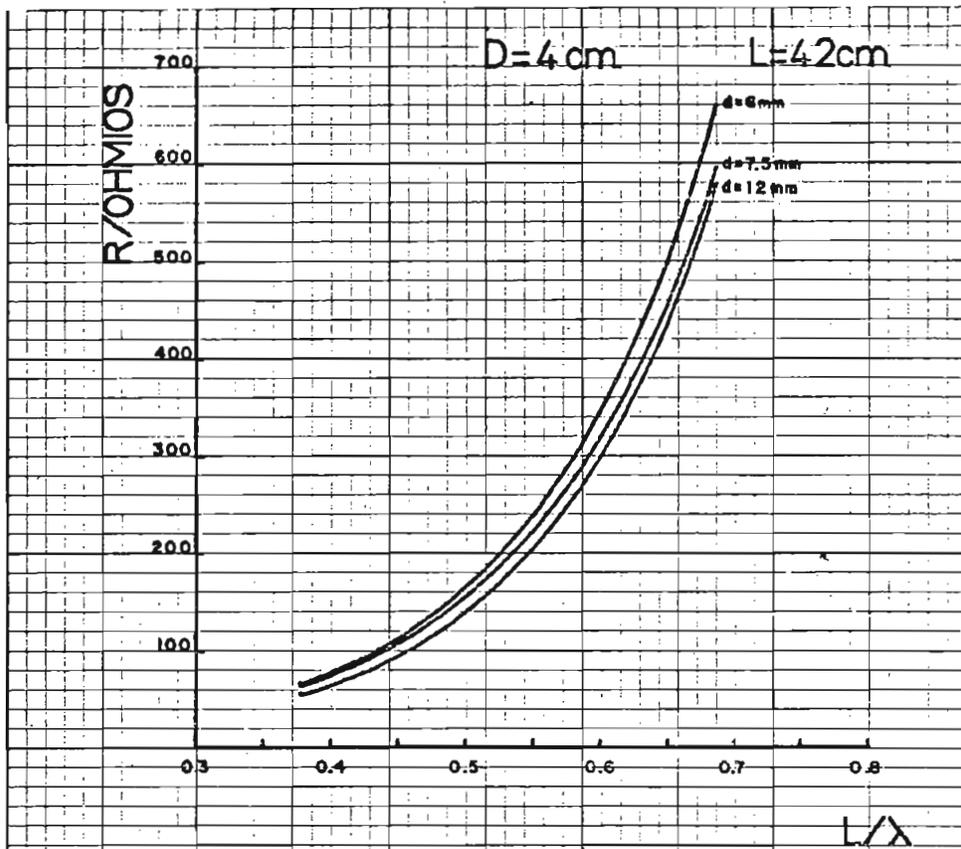


fig.4a

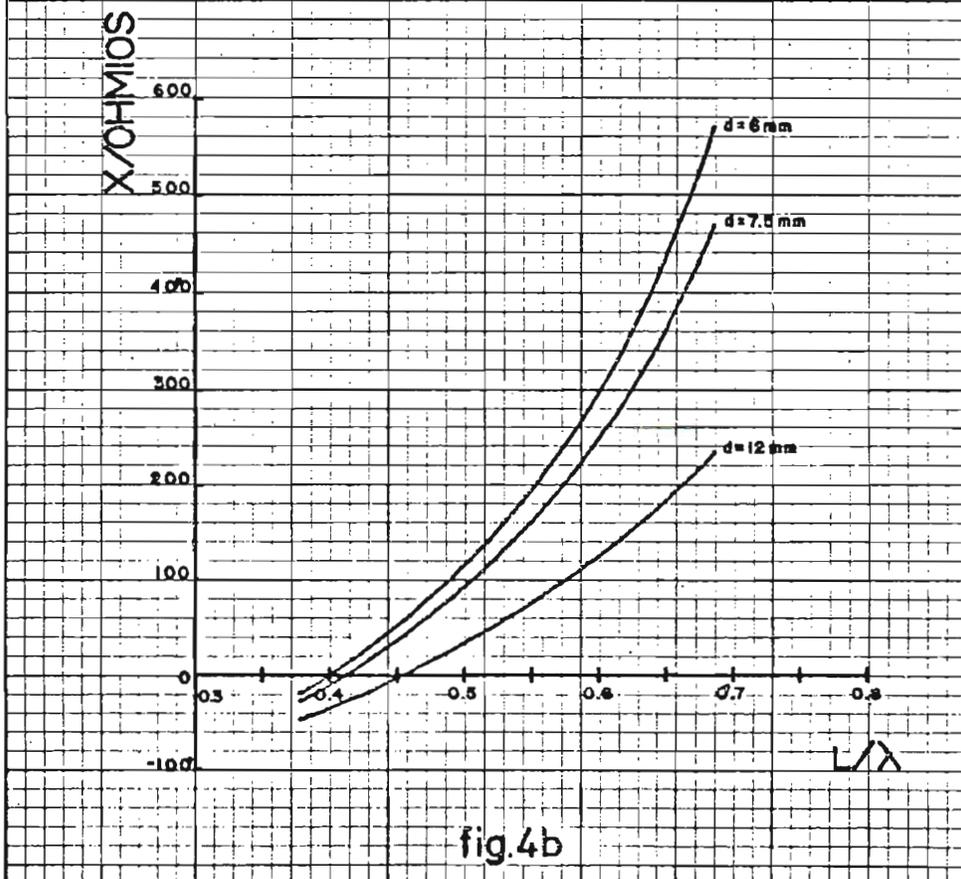


fig.4b

LONGITUD DEL DIPOLO

$$l = 32 \text{ cm.}$$

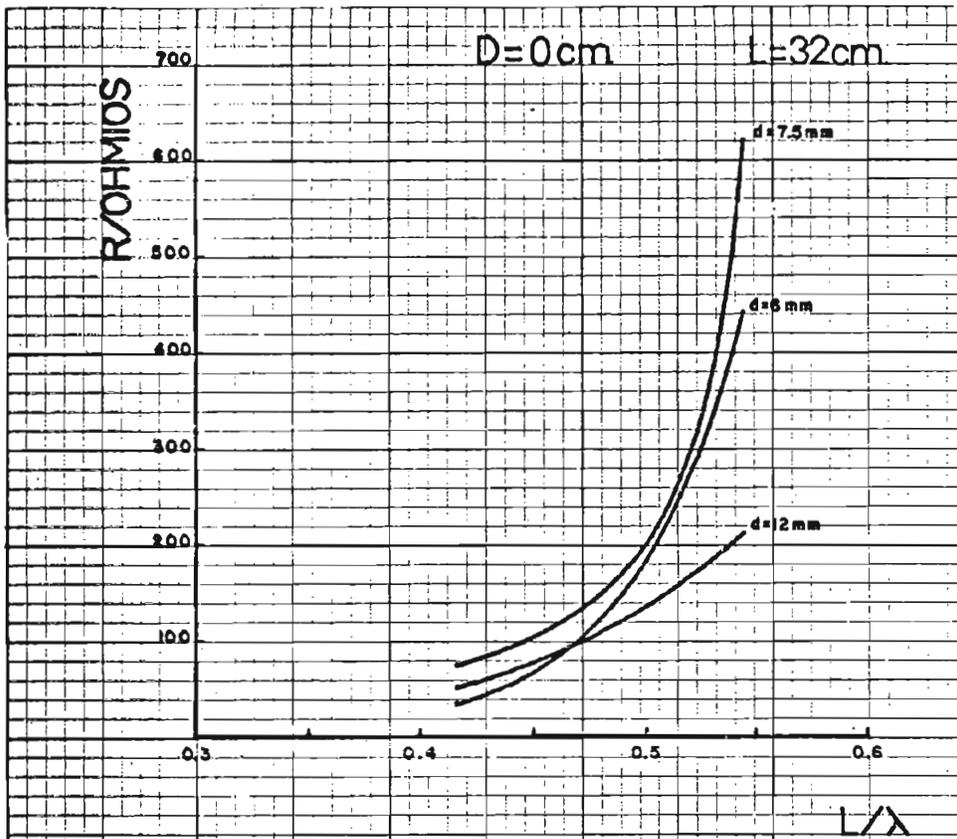


fig.5a

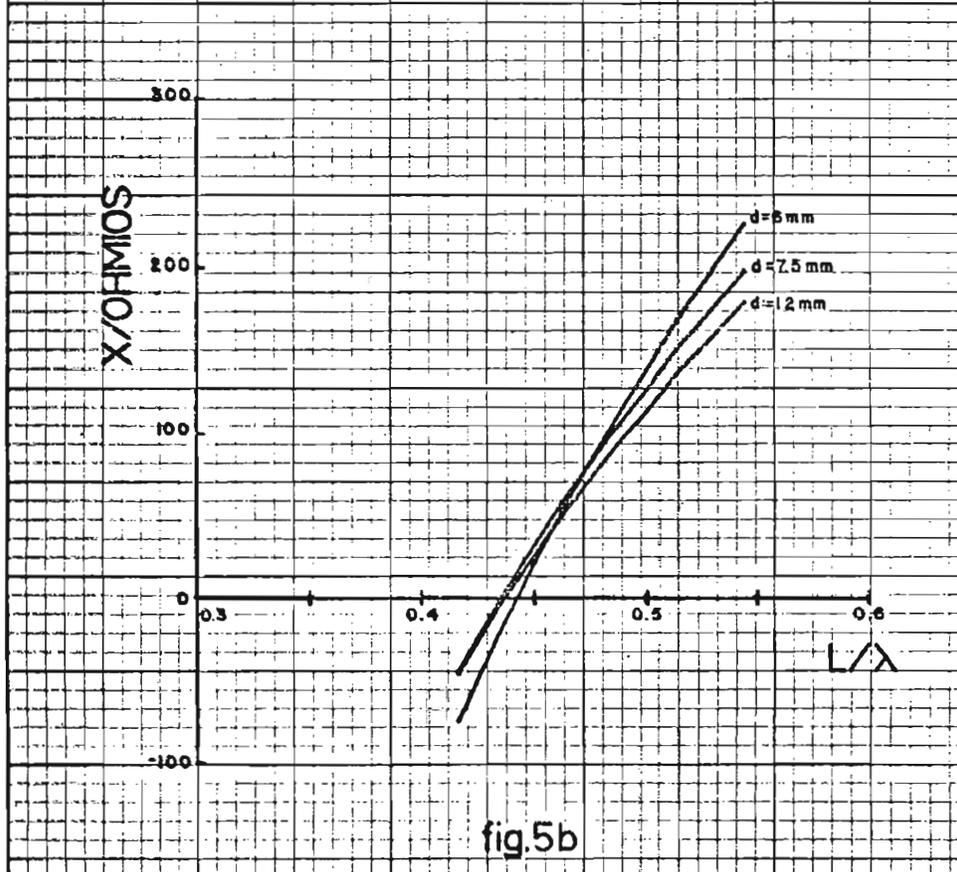


fig.5b

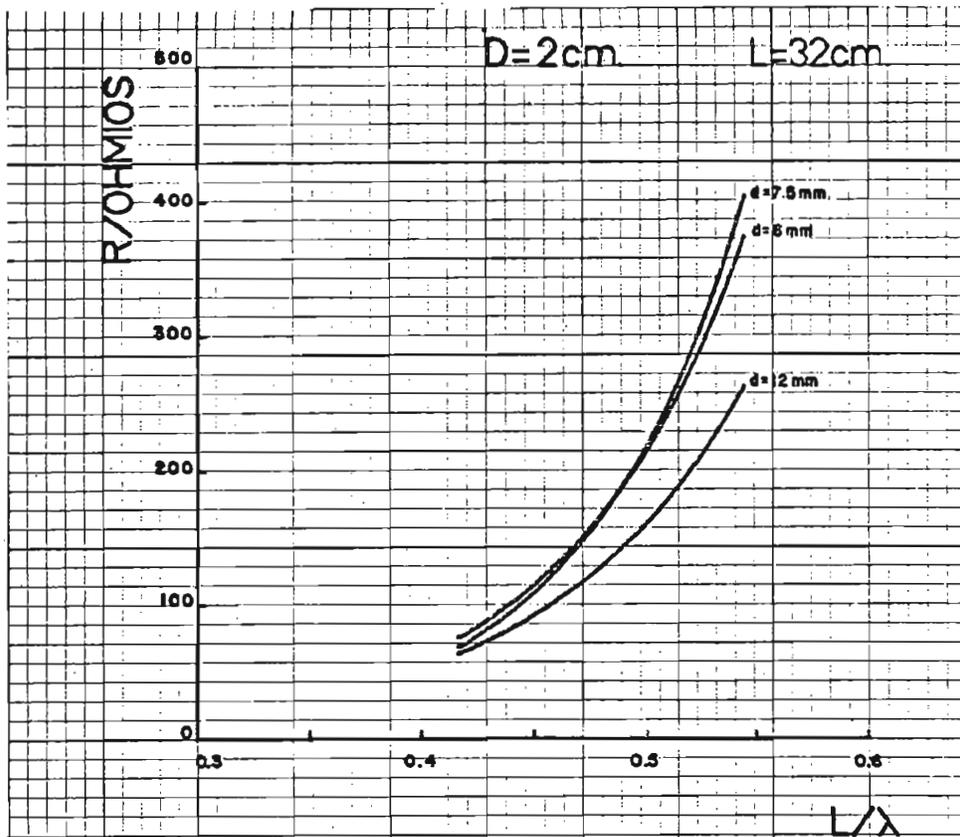


fig.6a

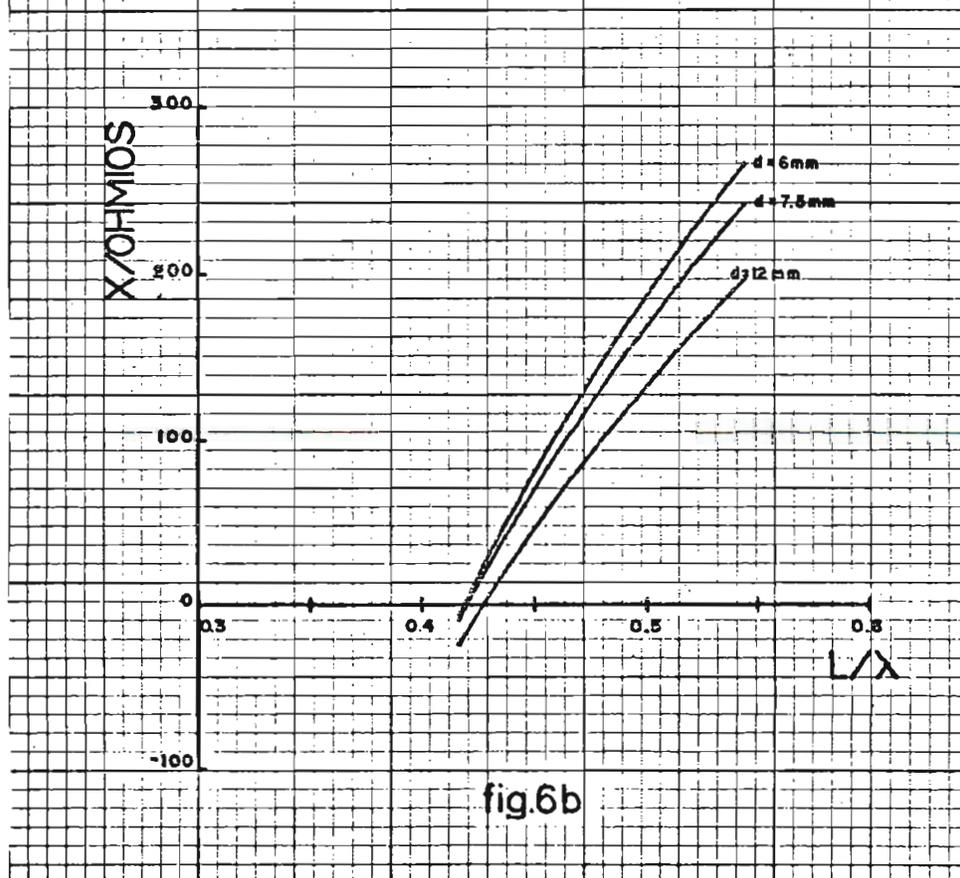


fig.6b

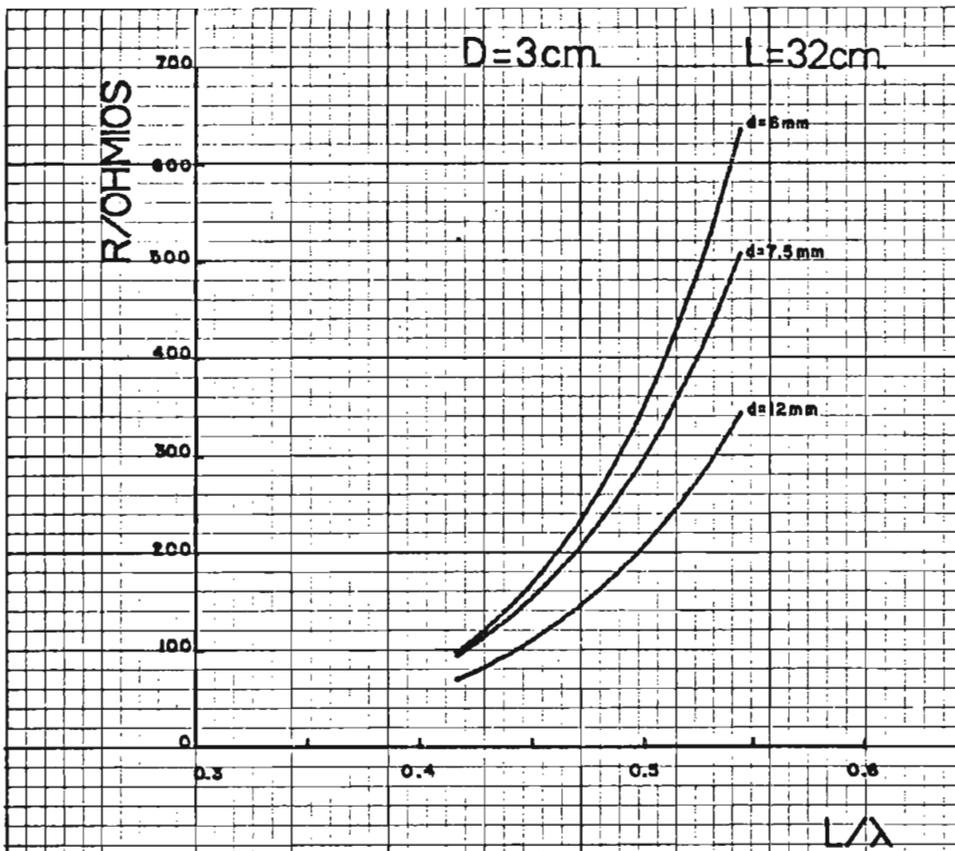


fig.7a

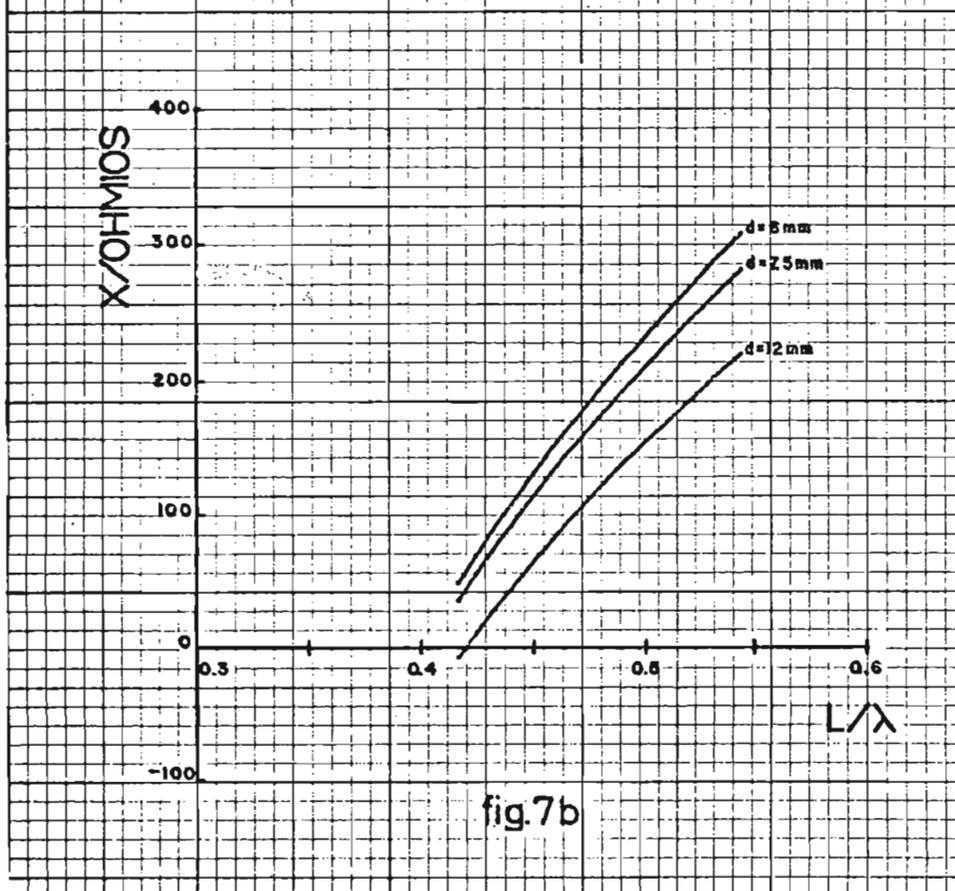


fig.7b

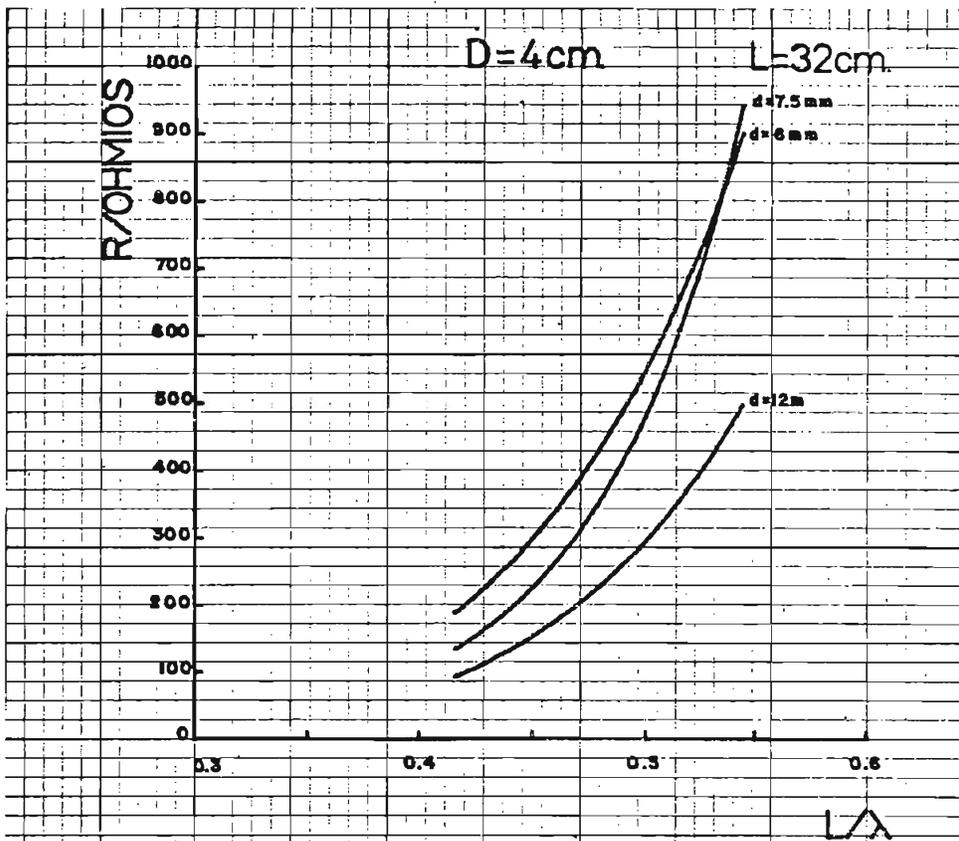


fig.8a

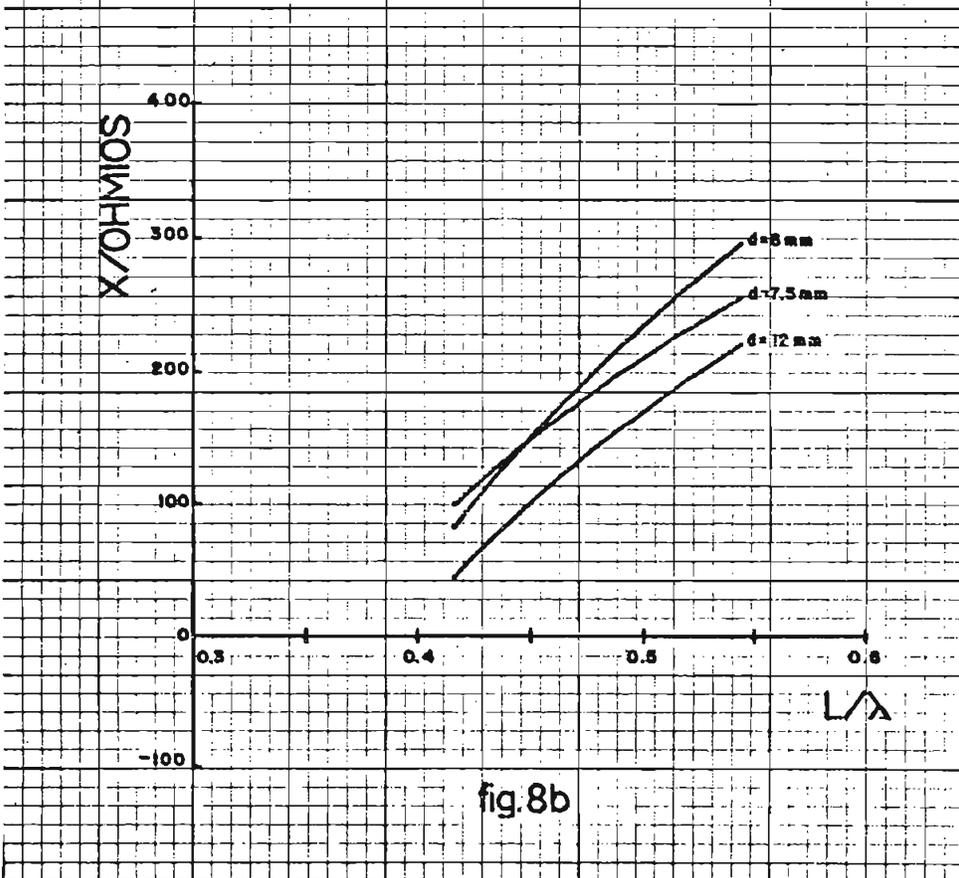


fig.8b

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

07/11/2023

Antes de entrar a analizar las conclusiones mismas, es necesario indicar que las mediciones realizadas y, por tanto, los resultados obtenidos, están influidos por una capacidad parásita formada por la cercanía de los elementos que constituyen el dipolo. La existencia de ésta capacidad se ve manifestada en un corrimiento de la frecuencia de resonancia. Veamos:

Una antena filamental de longitud $\lambda/2$ es resonante a la frecuencia:

$$f_0 = \frac{C}{\lambda}$$

debido a que la antena no es filamental, es decir que su diámetro "d" es comparable con la longitud de onda λ , se tiene:

$$f_0 - \Delta f = \frac{C}{\lambda}$$

Este efecto ha afectado a todas las mediciones, mas debido a que los resultados deseados se refieren a un análisis cualitativo y no cuantitativo, no es un impedimento su presencia.

El trabajo realizado ha permitido obtener importantes conclusiones respecto de la frecuencia de resonancia de los dipolos, considerando los parámetros cambiantes l , d , D . Esto se puede visualizar en la

siguiente tabla extraída luego de un análisis de las curvas obtenidas:

D=0 cm.			
ℓ cm.	d=6 mm.	d=7,5 mm.	d=12 mm.
32	414,3 MHz 60 Ω	407,9 MHz 95 Ω	409,6 MHz 50 Ω
42	378,1 MHz 92 Ω	373,2 MHz 100 Ω	386,2 MHz 100 Ω
D=2 cm.			
32	392,15 MHz 77,77 Ω	393,5 MHz 72,22 Ω	400,5 MHz 69,44 Ω
42	345,9 MHz 93,8 Ω	349,4 MHz 88,63 Ω	370,3 MHz 106,81 Ω
D=3 cm.			
32	373,85 MHz 72 Ω	377,3 MHz 77 Ω	393,3 MHz 72 Ω
42	318 MHz 88,88 Ω	326,4 MHz 97,22 Ω	350 MHz 111,11 Ω
D=4 cm.			
32	357,45 MHz 122,22 Ω	339,5 MHz 55,55 Ω	368,2 MHz 50 Ω
42	285,3 MHz 80 Ω	293,65 MHz 78 Ω	324 MHz 100 Ω

Los valores presentados nos muestran que la frecuencia de resonancia experimenta un aumento de su valor al ir variando ascendentemente el valor del diámetro "d" del dipolo.

En igual forma, si dirigimos nuestro interés al cambio de la frecuencia de resonancia, pero ésta vez considerando una variación del diámetro de la compensación capacitiva (D), se puede concluir que un aumento de éste parámetro influye en una disminución del valor de la frecuencia de resonancia.

Respecto de la longitud, se puede apreciar que su aumento produce una disminución de la frecuencia de resonancia.

Si bien éstas deducciones experimentales son importantes, el objetivo de éste trabajo estaba encaminado a obtener conclusiones también experimentales, pero referentes a la impedancia de los dipolos, cuyo conocimiento como ya se ha dicho, es de gran importancia para el diseño. Esto que en principio se intentó, no ha sido posible de lograrlo por algunas razones que merecen ser analizadas.

Ante todo, debemos partir del hecho de que las mediciones de impedancia fueron realizadas, obteniéndose los resultados ya mostrados, pero sin poder llegar a una generalización del cambio de ése valor al variar los parámetros físicos considerados, principalmente debido a dos razones fundamentales. La prime

ra se refiere a las condiciones en que fueron realizadas las mediciones; si bien se trató de que fueran las mejores, se deduce ahora que no fueron suficientes para la obtención de los resultados esperados; y la segunda que tiene relación con la insuficiencia del número de puntos medidos para poder generalizar el resultado final.

A éstas dos razones que por sí solas dan una justificación aceptable a todo lo indicado, es necesario añadir una tercera y es la falta de información referencial que, respecto de dipolos compensados capacitivamente, se tiene. Esta última razón ha sido un obstáculo grande al tratar de dar justificación teórica a los resultados de impedancia obtenidos. La gran variación de impedancia observada en la tabla anterior es en cierta forma aceptable, pero no demostrada en éste trabajo, por la distribución no sinusoidal de la corriente en las antenas dipolo analizadas.

El estudio experimental es importante y aunque, como en éste caso, no ha sido posible la obtención de los resultados esperados, deja una posibilidad de seguir adelante fundamentando ése trabajo posterior en las experiencias ya existentes.

A N E X O

AJUSTE DE CURVAS

METODO DE MINIMOS CUADRADOS

(1/2)

Todas las curvas que se han obtenido, han sido sacadas de datos experimentales. Estos datos, por su naturaleza, presentan mayor o menor grado de dispersión al momento de representarlos en un plano cartesiano. Esta característica hizo que las curvas logradas sean obtenidas luego de un estudio estadístico simple denominado "Método de Mínimos Cuadrados para Curvas de Ajuste" el mismo que en forma concisa se describe.

Una vez realizadas las mediciones necesarias se tenían dos variables que relacionar. Sin importar cuáles eran esas variables, lo que se quería era expresar ésta relación mediante una ecuación matemática.

Al grafizar los resultados de las mediciones, se obtuvo una serie de puntos dispersos que al ser unidos no conseguíamos tener una idea de la forma de curva resultante. Sin embargo, con el denominado "Diagrama de Dispersión", se puede ya representar una curva que se llama de "Aproximación". Por ejemplo, si se ve que los puntos representados al ser unidos se aproximan a una recta, se dice que entre las variables existe una "relación lineal" y si no es recta sino una parábola o cualquier otra curva, se dice que la relación existente entre las variables es "no lineal".

Con éste planteamiento general, el problema se reduce a encontrar las ecuaciones de las curvas que

se ajusten a los puntos datos, denominándose a éste proceso como búsqueda de la "curva de ajuste".

Tipos comunes de curvas de aproximación son:

$$Y = a_0 + a_1x \quad \text{recta}$$

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad \text{parábola}$$

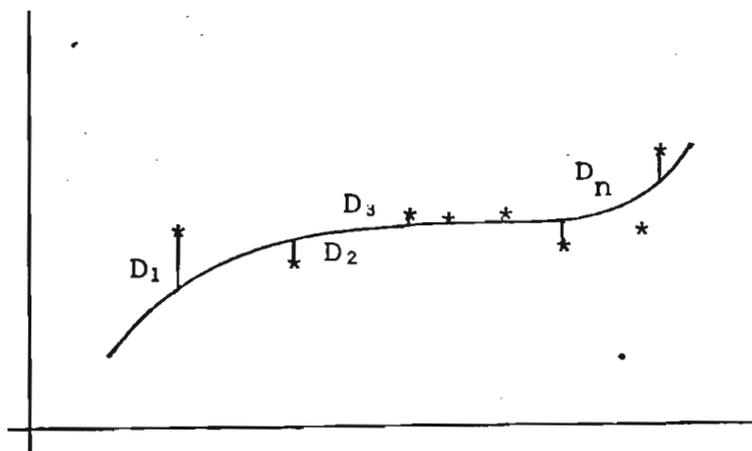
$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad \text{curva cúbica}$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \quad \text{curva cuártica}$$

o en general,

$$Y = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n \quad \text{curva de grado } n$$

Si la unión de los puntos se realizara arbitrariamente y a juicio de quien lo haga, con seguridad aparecerían diferentes tipos de curvas y, obviamente, diversas ecuaciones. Para evitar ésta arbitrariedad es necesario introducir el concepto de la "mejor curva de ajuste". Para ésto, consideremos la curva:



Supongamos que los datos puntuales obtenidos son los marcados y que una curva de aproximación es la da da.

Puede observarse que al no pasar la curva por los puntos, se obtienen errores por exceso (D_1) o por defecto (D_2). Una medida de la bondad del ajuste está dada por la cantidad:

$$D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2$$

y se dice que de todas las curvas de aproximación a una serie de datos puntuales, la curva que tiene la propiedad de que:

$$D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2 \text{ es mínima}$$

se conoce como la "mejor curva de ajuste", diciéndo se además que se ajusta a los datos por "mínimos cu drados".

A partir de ésto, hagamos la suposición de que nuestra curva de mínimos cuadrados es una recta:

$$Y = a_0 + a_1 x$$

en éste caso, las constantes a_0 y a_1 se logran a partir de:

$$Y = a_0 N + a_1 X$$

$$XY = a_0 X + a_1 X^2$$

de donde,

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

De ésta manera, se logran sacar las ecuaciones de las curvas de ajuste. Aunque aquí se muestra únicamente la consecución de la ecuación de la recta, la obtención de ecuaciones de curvas distintas es realizada en forma similar.

Ahora bien, necesitamos conocer la medida en que una ecuación, lineal o no, describe la relación entre las variables consideradas. A éste grado de relación se denomina "correlación". Como nuestro caso involucra únicamente dos variables, corresponde al denominado "correlación simple".

Nuevamente, si los puntos en el diagrama de dispersión parecen acercarse a una recta, se habla de una correlación lineal y de una no lineal en el caso contrario.

Para medir la correlación entre las variables existe el llamado "coeficiente de correlación" (r),

del cual no nos interesa conocer más que su forma de cálculo:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{N \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

El valor de r tiene como límite máximo a la undad, de manera que un coeficiente de correlación que tienda o se aproxime a ése valor estará indicando que la curva de ajuste tiene una buena aproximación a los datos puntuales.

Este estudio estadístico fue necesario en el trabajo realizado y fue posible de hacerlo en la microcomputadora TEKTRONIX 4051 que posee programas para ejecutarlo.

En la consecución de las ecuaciones de curvas se trató de conseguir un factor de correlación alto para asegurar unas curvas de ajuste que se apeguen lo más fielmente a los datos puntuales conseguidos en forma experimental.

B I B L I O G R A F I A

- JASIK, H., Antenna Engineering Handbook, Primera Edición, McGraw - Hill Book Company, New York, 1.961.
- W. L. WEEKS, Antenna Engineering, Primera Edición, McGraw-Hill Book Company, New York, 1.968.
- SCHELKUNOFF, S., Antennas. Theory and Practice, Primera Edición, Applied Mathematics Series, New York, 1.952.
- KRAUS, J. D., Antennas, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1.956.
- GENERAL RADIO COMPANY, Operating Instructions. Type 1602-B Admittance Meter, General Radio Company, West Concord, Massachusetts, 1.965.
- GENERAL RADIO COMPANY, Operating Instructions. Type 874-UB Balun, General Radio Company, West Concord, Massachusetts, 1.962.
- GENERAL RADIO COMPANY, Operating Instructions. Type 1216-A Unit I-F Amplifier, West Concord, Massachusetts, 1.963. .