

Diseño y Fabricación de una Antena Log- Periódica 200-1000 MHz

Víctor Cruz Ornetta ^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

²División de Laboratorios-INICTEL Lima-Perú

RESUMEN : El presente artículo es resultado del trabajo teórico- experimental realizado en el INICTEL, para el desarrollo de antenas log-periódicas. En este trabajo se presentan la base teórica, el diseño, la fabricación, y las pruebas realizadas para implementar una antena log-periódica de 200 a 1000 MHz con especificaciones comparables a las antenas de tipo comercial cuyos costos están en el orden de dos mil dólares.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas de telecomunicaciones las antenas ocupan un lugar muy importante, pues sin ellas las estaciones radioeléctricas no podrían funcionar. Es por eso que el INICTEL desde el año 2001 viene realizando el diseño de antenas log-periódicas las cuales en las pruebas de funcionamiento han demostrado cumplir con requisitos exigidos a los parámetros básicos de una antena de alta calidad, siendo su funcionamiento muy parecido a modelos comerciales. Entre las antenas log-periódicas desarrolladas por el INICTEL se encuentran las antenas log- periódicas para las bandas de frecuencias 200-1000 MHz, 30- 1800 MHz y 900- 2000 MHz. Actualmente son utilizadas para las labores de capacitación, investigación, mediciones y consultoría.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La Antena Arreglo Logarítmico Periódico de Dipolos (Log-Periodic Dipole Arrays – LDPA), es un grupo de antenas dipolos unidas y alimentadas alternativamente a través de una línea de transmisión común. Es la más común de las antenas VHF de banda ancha, también se está haciendo popular en UHF. Es una antena en banda ancha que

mantiene una ganancia e impedancia constante. Tiene una ganancia de 6.5 a 7.5 dB.

La figura 1, muestra una antena logarítmica básica.

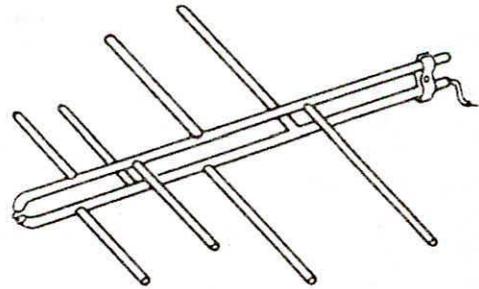


Fig. 1. Antena Log-Periódica LPDA

La antena trabaja en su región activa, que es la porción en la cual está emitiendo o recibiendo radiación eficientemente. La región cambia con la frecuencia. El elemento más largo que se muestra en la figura está activo en bajas frecuencias donde actúa como un dipolo de media onda. Como la frecuencia cambia en forma ascendente, la región activa cambia hacia delante. La frecuencia límite superior de la antena está en función del elemento más corto.

La figura 2, muestra el diagrama esquemático de una LDPA, en el cual se define los siguientes parámetros de diseño:

- El ángulo α .
- Las longitudes de los dipolos L_n .
- La ubicación de los elementos con respecto al vértice del triángulo, R_n .
- El espaciado entre dipolos σ .
- La constante de diseño τ , que es la relación entre la longitud de un dipolo o su ubicación con respecto al vértice y la longitud o ubicación del siguiente dipolo.

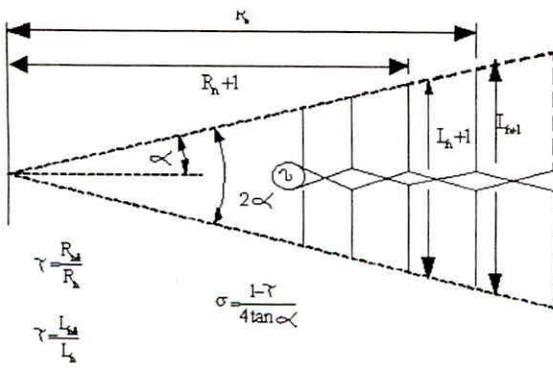


Fig. 2. Antena LPDA mostrando los parámetros de diseño

La LDPA, consiste de un conjunto de dipolos conectados a una línea de transmisión central con reversión de fase entre los dipolos. La figura 2 muestra una LPDA de 5 elementos, cuya operación se realiza de la siguiente manera: Asumiendo que se está operando en una frecuencia en la cual el tercer elemento es resonante, entonces los elementos 2 y 4 son ligeramente más largos y cortos respectivamente que el tercer elemento. Su espaciamiento combinado con el hecho de que la línea de transmisión cambia 180 grados en fase entre elementos permite que estos dos elementos estén en fase y cercanamente (pero no mucho) en resonancia con el tercer elemento. El elemento 4 siendo ligeramente más corto que el elemento 3 actúa como "director" cambiando el patrón de radiación ligeramente hacia adelante. El elemento 2 siendo ligeramente más corto actúa como "reflector" cambiando aun más el patrón de radiación hacia adelante. El resultado es una antena con una ganancia sobre un dipolo simple. Como la frecuencia cambia, la región activa; cuyos elementos están recibiendo o transmitiendo más potencia, cambia a lo largo del arreglo [1], [2], [3].

III. DISEÑO

Los dos factores, tau (τ) y sigma (σ) son los únicos factores que consideramos para el diseño de la LDPA. τ es la razón de la longitud de un elemento con su vecino próximo más largo. Sigma es conocida como el espaciamiento constante relativo con el cual se determina el ángulo del vértice de la antena.

$$\cot\alpha = \frac{4 \cdot \sigma}{1 - \tau} \quad (1)$$

τ y σ pueden ser seleccionados de la figura 3. Normalmente se selecciona un τ bajo. También podríamos mantener la ganancia bastante baja con tal de evitar que el ancho del haz sea demasiado angosto. Escogiendo un τ de 0.8 y un σ de 0.12 se tiene una ganancia aproximada de 6.5 dBi. La línea para un σ óptimo es para aquellos diseñadores que desean una máxima ganancia.

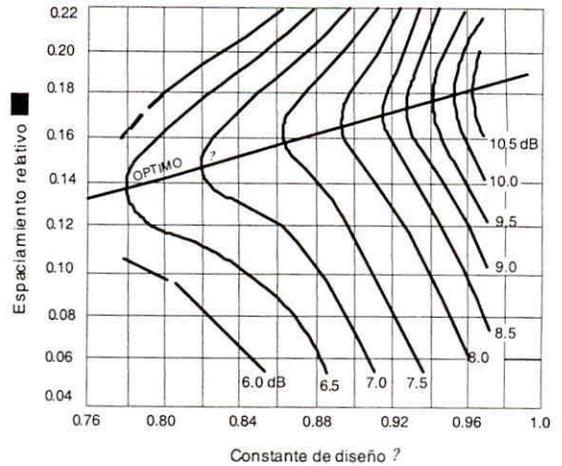


Fig. 3. Los parámetros τ y σ que en función de la ganancia deseada

El dipolo más largo del arreglo tiene una longitud L_1 dada por:

$$L_1 = (0.995 - 0.5 \cdot \tau) \cdot \lambda_{\min} \quad \text{para } 0.8 \leq \tau \leq 0.95 \quad (2)$$

$$L_{N_{\max}} \leq (0.32 + (\tau - 0.9) \cdot (\sigma - 2 \cdot \tau + 28) + (\tau - 1.48) \cdot (\sigma - 0.15)) \cdot \lambda \dots (3)$$

Para $0.8 \leq \tau \leq 0.95$ y $0.05 \leq \sigma \leq 0.2$ donde λ_{\max} es la longitud de onda de la frecuencia más alta a la que trabajará la LDPA.

La ubicación del dipolo R_1 más largo con respecto al vértice del triángulo está dada por:

$$R_1 = (L_1 \cdot \cot\alpha) / 2 \quad (4)$$

Las otras longitudes del dipolo L_N y las ubicaciones R_N , están dadas por:

$$L_N = L_1 \cdot \tau^{(n-1)}, \quad 2 \leq n \leq N \quad (5)$$

$$R_N = R_1 \cdot \tau^{(n-1)}, \quad 2 \leq n \leq N \quad (6)$$

Diseño de Dipolos y los Booms

1) Cálculo de los dipolos

En las tablas I y II se muestran las longitudes y distancia entre dipolos para la antena diseñada.

TABLA I
LONGITUD DE DIPOLOS

Elementos	Fórmula	Longitud Calculada
L ₁	$(0.995 - 0.5 * 0.859) * 150$	84.825
L ₂	L ₁ *τ	72.865
L ₃	L ₂ *τ	62.591
L ₄	L ₃ *τ	53.765
L ₅	L ₄ *τ	46.185
L ₆	L ₅ *τ	39.673
L ₇	L ₆ *τ	34.079
L ₈	L ₇ *τ	29.274
L ₉	L ₈ *τ	25.146
L ₁₀	L ₉ *τ	21.600
L ₁₁	L ₁₀ *τ	18.555
L ₁₂	L ₁₁ *τ	15.939
L ₁₃	L ₁₂ *τ	13.691
L ₁₄	L ₁₃ *τ	11.761
L ₁₅	L ₁₄ *τ	10.102
L ₁₆	L ₁₅ *τ	8.678

TABLA II
DISTANCIA ENTRE DIPOLOS

Distancias	Fórmula	Distancia Calculada
R ₁	$(74.9 * 1.881) / 2$	79.766
R ₂	R ₁ *τ	68.519
R ₃	R ₂ *τ	58.858
R ₄	R ₃ *τ	50.559
R ₅	R ₄ *τ	43.430
R ₆	R ₅ *τ	37.307
R ₇	R ₆ *τ	32.046
R ₈	R ₇ *τ	27.528
R ₉	R ₈ *τ	23.646
R ₁₀	R ₉ *τ	20.312
R ₁₁	R ₁₀ *τ	17.448
R ₁₂	R ₁₁ *τ	14.988
R ₁₃	R ₁₂ *τ	12.875
R ₁₄	R ₁₃ *τ	11.059
R ₁₅	R ₁₄ *τ	9.500
R ₁₆	R ₁₅ *τ	8.161

2) Cálculo de las Impedancias

$$\begin{aligned}
 f_{\min} &= 200 \text{ MHz}, \lambda_{\min} = 150 \text{ cm.} \\
 f_{\max} &= 1000 \text{ MHz } \lambda_{\max} = 30 \text{ cm., } \tau = 0.859, \sigma = 0.066 \\
 \alpha &= \cot^{-1} \left(\frac{4 * 0.066}{1 - 0.859} \right) = 28^\circ, \cot \alpha = 1.88 \\
 L_1 &= (0.995 - 0.5 * \tau) * \lambda_{\min} = 74.9 \text{ cm}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Idealmente, la relación de la longitud al diámetro de cada dipolo K_n debería ser idéntica. En la práctica este no es el caso usualmente. El principal efecto de la variación de los K_n , es la variación de la impedancia con respecto a la frecuencia. La impedancia característica de la línea de transmisión Z_0 (llamada también impedancia característica del boom o línea de alimentación de la antena) esta diseñada para transformar la impedancia de la región activa de los dipolos (impedancia de la antena), Z_A a la resistencia de entrada deseada R_0 . La impedancia de los dipolos en la región activa es una función del promedio de los K_n , la que se denominará K_{AVG} y esta dada por:

$$Z_A = 60 * \ln \left(\frac{K_{AVG} * 16 * \tau * \sigma}{\pi * (1 + \tau)} \right) \tag{8}$$

La impedancia característica Z_0 de la línea de transmisión central está dada por:

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= R_0 * \left(\frac{R_0 * (1 + \tau)}{32 * \tau * \sigma * Z_A} + \right. \\
 &\quad \left. \sqrt{\left[\left(\frac{R_0 * (1 + \tau)}{32 * \tau * \sigma * Z_A} \right)^2 + 1 \right]} \right) \tag{9}
 \end{aligned}$$

La impedancia característica Z_0 puede ser lograda con una línea de transmisión de dos conductores (booms) en la cual tiene un diámetro D y el espacio de centro a centro de los conductores es S y esta dada por: Donde:

$$S = D * \cosh(Z_0 / 120) \tag{10}$$

- k_{AVG} , promedio de los K_n de los dipolos.
- K_n , relación de la longitud al diámetro de antena.
- Z_A , resistencia de entrada deseada de la antena.
- Z_0 , impedancia característica de la línea de transmisión central.
- R_0 , resistencia de entrada deseada
- S , espacio de centro a centro de los conductores. D , diámetro promedio de los dipolos.

En la Tabla III, se presentan del cálculo de las impedancias de la antena diseñada.

Tabla III
IMPEDANCIAS DE ANTENA

$Z_A =$	91.80	ohmios
$Z_o =$	85.16	ohmios
$R_o =$	50.00	ohmios
$D =$	1.5	cm
$S =$	1.89	cm

La Figura. 4, muestra una antena LDPA cuyos booms actúan como línea de transmisión que conectan alternadamente todos los elementos de la antena.

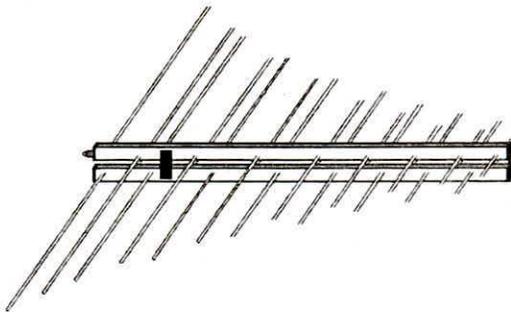


Fig. 4. Antena LPDA con booms en paralelo

Cada elemento de la antena esta alimentado 180° grados en fases opuesta con el elemento adyacente. Los terminales de la impedancia de entrada Z_i están usualmente conectadas a una especie de balun el cual realiza la transformación de líneas balanceadas desbalanceadas. Esta impedancia Z_i se enlaza a la impedancia de la línea que va de la antena al generador de señal o receptor de entrada. La impedancia de esta línea coaxial (Z_o) usualmente es 50 ohms [1],[2],[3].

IV. FABRICACIÓN

La antena se fabricó en aluminio, con las tapas y algunos aditamentos realizados en PETP, en las figuras 5,6 y 7 y la foto 1 se muestran algunos detalles de la fabricación

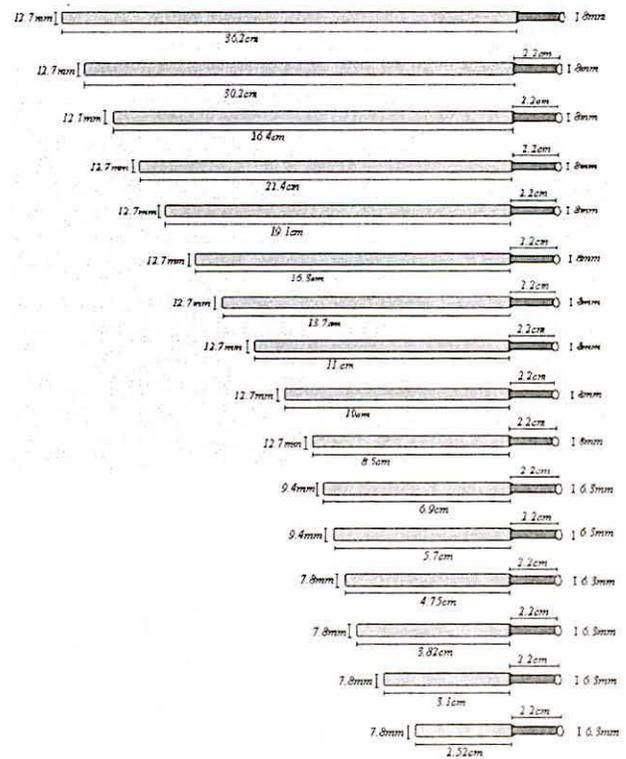


Fig.5. Diseño de los dipolos y sus respectivas longitudes

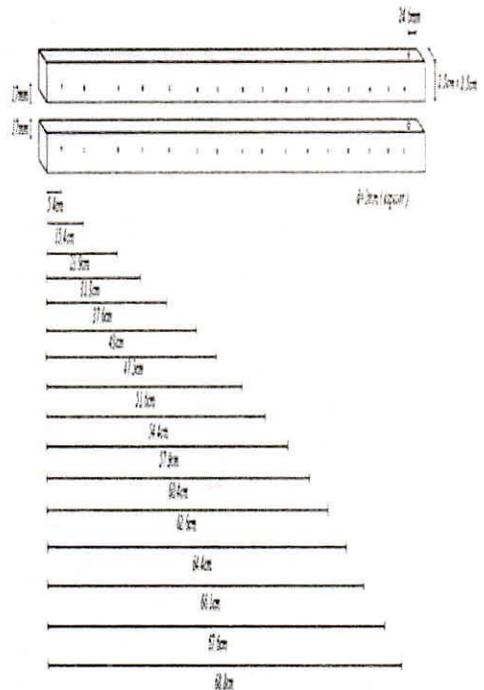


Fig. 6. Diseño de los Booms y Ubicación de los dipolos

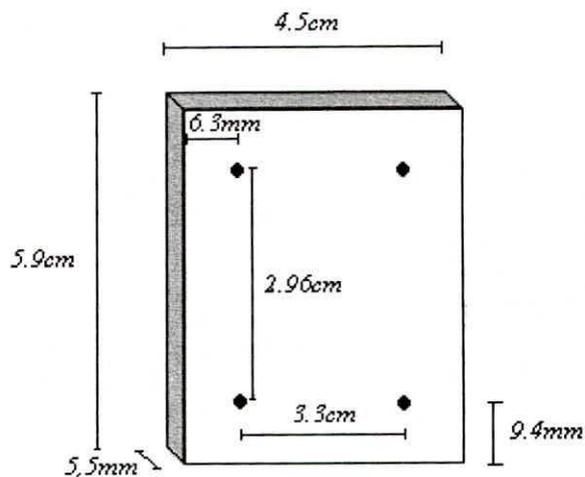
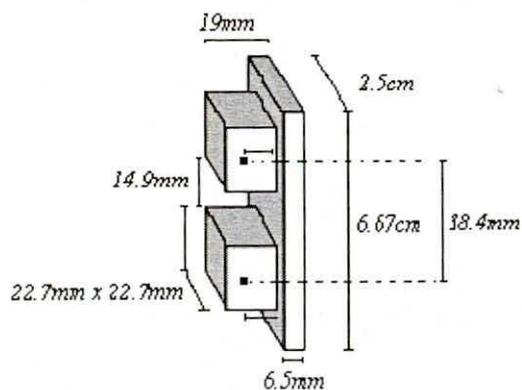
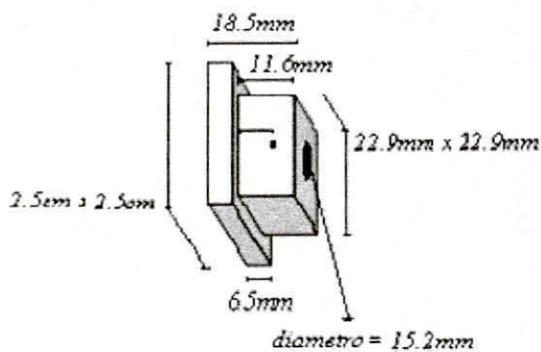
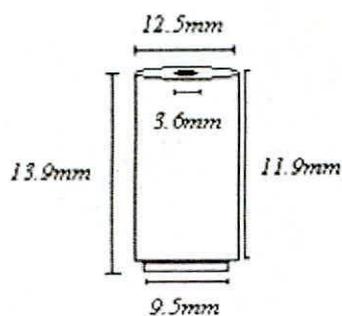
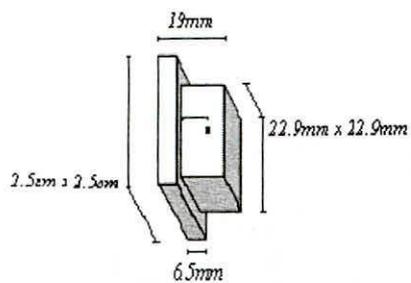


Fig.7. Tapas y otros Aditamentos

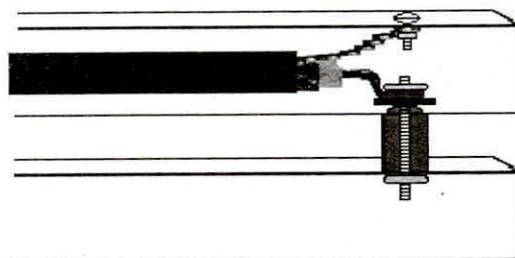
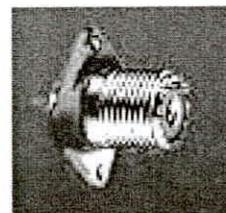


Foto1. Cable Belden Rg-8, forma de conexión a los booms y conector utilizado tipo Amphenol

El costo de fabricación se muestra en la tabla IV

TABLA IV
MATERIALES Y COSTOS

MATERIALES	COSTO (S/.)
Aluminio	80.00
Cable Coaxial	35.20
Tornillos	10.50
Conector N Amphenol	13.00
Fabricación de la antena	312.70
Fabricación del soporte y accesorios	266.00
Lainas	20.00
TOTAL	737.40

V. PRUEBAS Y AJUSTE

A. Equipamiento utilizado

Para las pruebas de la antena se utilizaron los siguientes equipos:

- Generador de señales MARCONI Model 2024, rango de frecuencia de 10 KHz – 2.4 GHz.
- Analizador de Espectros Anritsu MS 2661B
- Medidor de Intensidad de Campo ANRITSU modelo ML524B, rango de frecuencia, rango de frecuencia 25 – 1000 MHz .
- Un acoplador direccional ANRITSU modelo MP520D, rango de frecuencia 100-1700 MHz.
- Un acoplador direccional ANRITSU modelo MP520D, rango de frecuencia 100-1700 MHz.

1) Pruebas de Relación de Onda Estacionaria

a) Detalles técnicos

Potencia del generador: 13dbm.

Polarización Vertical

Fecha de mediciones: 22/07/2004

Los resultados de las pruebas de VSWR se muestran en las tablas V, VI y en la fig. 8.

TABLA V
VSWR

F(MHz)	ρ	VSWR	F(Hz)	ρ	VSWR
200	0,43	2,52	450	0,10	1,21
210	0,44	5,59	460	0,17	1,41
220	0,80	8,77	470	0,19	1,45
230	0,79	8,39	480	0,24	1,63
240	0,70	5,66	490	0,17	1,42
250	0,52	3,15	500	0,14	1,33
260	0,29	1,81	510	0,26	1,69
270	0,33	2,00	520	0,34	2,04
280	0,35	2,08	530	0,57	3,61
290	0,20	1,50	540	0,77	7,63
300	0,26	1,69	550	0,64	4,59
310	0,32	1,96	560	0,46	2,71
320	0,22	1,55	570	0,43	2,49
330	0,29	1,82	580	0,35	2,08
340	0,34	2,05	590	0,25	1,68
350	0,25	1,68	600	0,16	1,39
360	0,23	1,61	610	0,17	1,42
370	0,37	2,16	620	0,11	1,24
380	0,56	3,58	630	0,09	1,21
390	0,90	18,50	640	0,24	1,64
400	0,69	5,46	650	0,25	1,65
410	0,48	2,85	660	0,20	1,49
420	0,38	2,24	670	0,25	1,67
430	0,29	1,83	680	0,46	2,61
440	0,14	1,33	690	0,68	5,30
700	0,46	2,67	860	0,00	1,01
710	0,08	1,18	870	0,07	1,14
720	0,20	1,51	880	0,26	1,70
730	0,37	2,18	890	0,32	1,95
740	0,36	2,08	900	0,28	1,77
750	0,26	1,70	910	0,31	1,92
760	0,24	1,65	920	0,38	2,24
770	0,22	1,57	930	0,36	2,13
780	0,14	1,32	940	0,26	1,71
790	0,19	1,27	950	0,19	1,47
800	0,11	1,26	960	0,22	1,56
810	0,12	1,27	970	0,21	1,53
820	0,24	1,62	980	0,22	1,55
830	0,39	2,26	990	0,33	2,00
840	0,50	2,99	1000	0,48	2,81
850	0,63	436			

TABLA VI
RANGO DE FRECUENCIAS DONDE
VSWR<2:

Rango (MHz)	Ancho (MHz)	Rango (MHz)	Ancho (MHz)
260-270	10	710-720	10
290-330	40	750-820	70
350-360	10	860-910	50
430-510	80	940-990	50
590-670	80		

TABLA VII
CÁLCULO DE GANANCIA

Acimut (°S)	P _{Rx} (dBm)	P _{Rx} (μW)	G _{Rx} (dBi)	G _{Rx} (número)
0°	-33.96	0.4018	17.1990	0.9616
10°	-33.79	0.4178	17.3690	1.0000
20°	-33.93	0.4046	17.2290	0.9683
30°	-36.31	0.2339	14.8490	0.5598
40°	-37.22	0.1897	13.9390	0.4539
50°	-38.99	0.1262	12.1690	0.3020
60°	-45.01	0.0316	6.1490	0.0755
70°	-47.47	0.0179	3.6891	0.0429
80°	-50.41	0.0091	0.7491	0.0218
90°	-49.78	0.0105	1.3791	0.0252
100°	-45.01	0.0316	6.1491	0.0755
110°	-50.74	0.0084	0.4191	0.0202
120°	-45.27	0.0297	5.8891	0.0711
130°	-46.57	0.0220	4.5891	0.0527
140°	-43.30	0.0468	7.8591	0.1119
150°	-48.38	0.0145	2.7791	0.0348
160°	-47.34	0.0185	3.8191	0.0442
170°	-48.27	0.0149	2.8891	0.0356
180°	-44.95	0.0320	6.2091	0.0766
190°	-48.51	0.0141	2.6491	0.0337
200°	-48.93	0.0128	2.2291	0.0306
210°	-44.19	0.0381	6.9691	0.0912
220°	-43.55	0.0442	7.6091	0.1057
230°	-48.49	0.0142	2.6691	0.0339
240°	-48.47	0.0142	2.6891	0.0340
250°	-51.47	0.0071	-0.3109	0.0171
260°	-52.97	0.0050	-1.8109	0.0121
270°	-48.09	0.0155	3.0691	0.0372
280°	-51.55	0.0070	-0.3909	0.0167
290°	-52.29	0.0059	-1.1309	0.0141
300°	-48.54	0.0140	2.6191	0.0335
310°	-43.75	0.0422	7.4091	0.1009
320°	-40.03	0.0993	11.1291	0.2377
330°	-38.59	0.1384	12.5691	0.3311
340°	-36.19	0.2404	14.9691	0.5754
350°	-35.09	0.3097	16.0691	0.7413

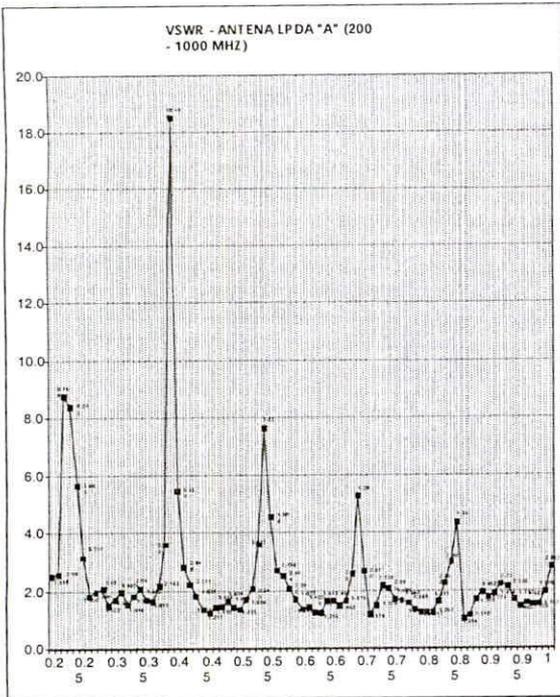


Fig. 8. VSWR vs f(GHz)

2) Pruebas de Patrón de Radiación

a) Detalles técnicos

Polarización Horizontal
 d=0.031km
 f=780MHz
 PTx=13dBm.
 A₀ = 32,4 + 20log(fd) = 60,07db

VSWR (780Mhz)=1.316
 Gtx (780Mhz) = 5.41dBi.
 Ltx+Lrx :=9.5 dB
 Fecha de mediciones: 25/11/2004

Los resultados de las pruebas de Patrón de Radiación se muestran en la tabla VII

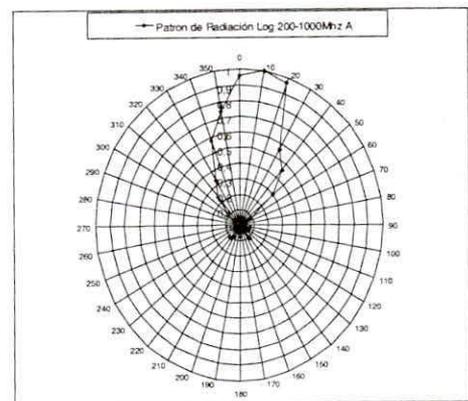


Fig. 9. Patrón de Radiación

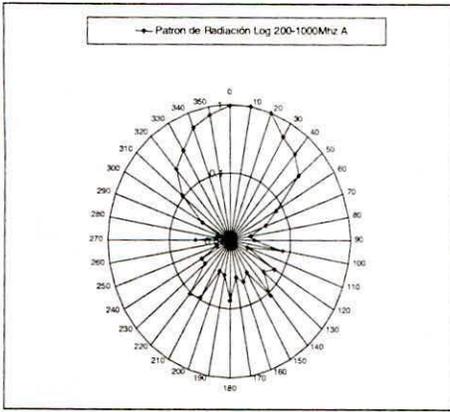
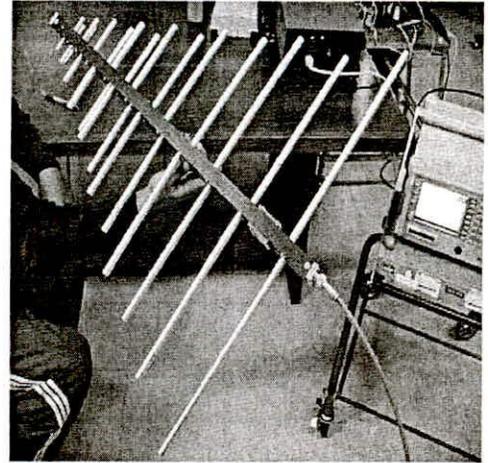
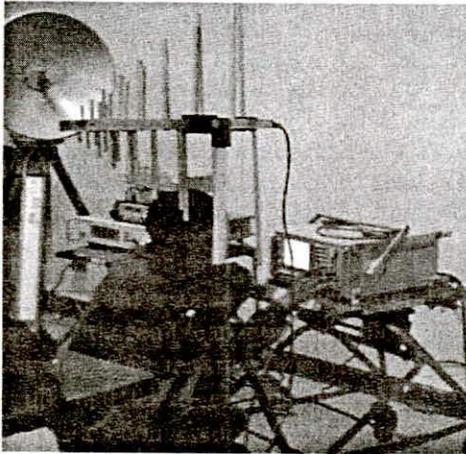


Fig. 10. Patrón de Radiación

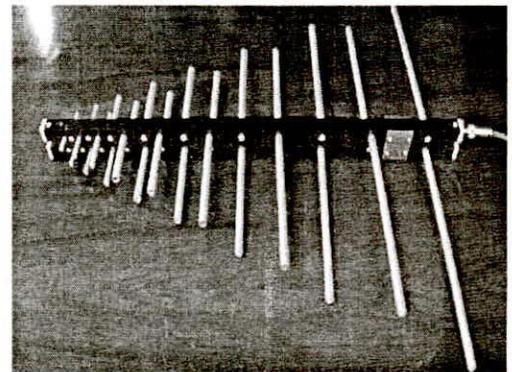


(c)

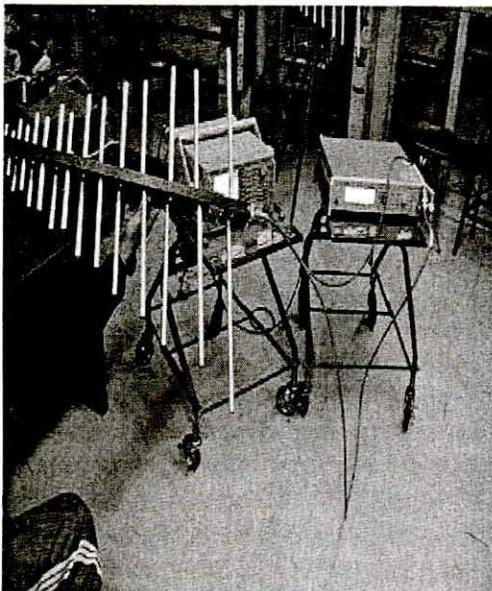
Foto (a), (b) y(c) muestran medición de la ROE



(a)



Fotos 3. Presentación final de la antena



(b)

VI. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- La antena fabricada cumple con las especificaciones necesarias para una adecuada calidad de operación.
- En la Fabricación de los elementos de la antena se necesita precisión en la longitud de los elementos de la antena (como los dipolos), de lo contrario será necesario hacer ajustes a las longitudes de los dipolos (mediante lanas) durante las pruebas para llegar a un VSWE lo mas bajo posible
- El cable coaxial usado para conectar los booms tiene que ser una malla de platina metálica.
- El conector que se utiliza la antena tiene que ser de buena calidad para poder resistir la operación en campo de la antena significa un ahorro en la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento.

AGRADECIMIENTO

Se agradece por su colaboración a: Eduardo Rodríguez, James Arellano, Efrain Konja, Claudia Butrón, Cristian Cobeñas, Martín Tomás.

REFERENCIAS

- [1] R.C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, 3^a ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1997.
- [2] Poynting Group. *Design Curves for a Log-periodic Dipole Antenna*, disponible en: http://www.poynting.co.za/tech_training/lpda.shtml Fecha de acceso 10 de Marzo del 2004.
- [3] Wolfgans. *Entwicklung einer log.-per. Dipolantenne*, disponible en: http://www.wolfgang-olke.de/antennas/ant_400.htm