

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Característica de Impedancia y Radiación de Antenas Log. - Periódicas de Dipolos en V

Diplomante: Roddy Rosendo Zamora Cruz.

Tutor: Dr. C. Roberto Jiménez Hernández. Prof. Titular y Consultante





Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Telecomunicaciones y Electrónica autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Dpto Donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de Información Científico- Técnica

Pensamiento

"No se debe poner mano ligera en las cosas en que va envuelta la vida de los hombres. La vida humana es una ciencia, y hay que estudiar en la raíz y en los datos especiales cada aspecto de ella".

(Martí, J., 1975: 157-158)

Dedicatoria

A mi familia, en especial a mis padres Estilita y Santo, por enseñarme el camino correcto por donde transitar, y darme todo el cariño del mundo.

A mis hermanas Misbel y Miladi por el apoyo incondicional.

A mi pequeña princesa Sami, por ser la luz que me alumbra en los momentos oscuros.

A mis amigos Carlitos, Karina y Bruno a todos los que me ayudaron a llevar este trabajo a su feliz culminación.

A todos los profesores por contribuir a mi formación profesional y en especial a Ricardo, Teresa, Nápoles y al profesor Labertano.

A mi tutor Dr. C. Roberto y su esposa Conchi por su especial dedicación y gran ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A todos los que de una forma u otra han tenido que ver con mi formación profesional.

A todos les dedico mi tesis.

Agradecimiento

- ➤ A los que me ofrecieron las primeras ideas.
- A mi tutor por su guía, entrega y dedicación en todos los momentos.
- A Carlos, Karina y Bruno por su entrega incondicional, críticas y consejos.
- A los compañeros Fidel Pérez, Roberto Hiribarne y Tuan de la Empresa de Antenas de Villaclara por su incondicional ayuda.
- A los compañeros Omar Marrero y Aldo de la Empresa UPTCER por su ayuda en las mediciones experimentales.
- A mi familia y amigos sin los cuales sería imposible dedicarle tantas horas a este trabajo.
- A todos los entrevistados y trabajadores que me ofrecieron su ayuda desinteresada.
- A todos los que me estimularon, me extendieron la mano o me criticaron.

Resumen

.

En nuestro país se tiene poca bibliografía y conocimientos sobre las características de radiación e impedancia de la antena log-periódica en V, así como su método de diseño, por esta razón nos dimos a la tarea, en este trabajo, de realizar un estudio teórico-práctico de las características de impedancia y radiación de las antenas log – periódicas de dipolos en V.

Indice

Introducción	1
Capítulo I: Características de impedancia y radiación de las antena logperiódicas de dipol sus diferentes formas geométricas	los y 4
1.1 Introducción	4
1.2 Características de impedancia y radiación 1.2.1- Impedancia del punto de alimentación.	4 5
1.2.2 Diagrania de Crank y razon de onda estacionaria. 1.2.3 Ganancia. 1.2.4 Angulo sólido	
 1.2.5 Fuente isotropica. 1.2.6 Ganancia directiva. 1.2.7 Ganancia de potencia. 1.2.8 Área efectiva y longitud efectiva. 	
1.2.8 Alea electiva y longitud electiva. 1.2.9 Patrón de radiación	
1.3 Antenas Log-periódicas de dipolos (LPD). 1.3.1 Diseño de la antena LPD. <i>1.3.2 El conjunto</i> considerado <i>como línea de transmisión</i> .	10 13 16
1.4 Otros tipos de antenas Log-periódicas. 1.4.1 Antena en zig-zag log-periódica. 1.4.2 Antena Log-periódica trapezoidal.	
1.5 Conjunto log-periódica de V resonante.	
1.6 Breve descripción del software utilizado para la simulación virtual 1.6.1 Limitaciones	19
Capítulo II. Diseño y Simulación	
2.1 Condiciones de trabajo	21
2.3 Diseño de la antena LPDV a partir de la antena LPD	21
2.4 Diseño a través de una hoja de cálculos en Excel	
2.5 Resultados de la simulación. Antena LPDV	31
2.6 Análisis de los resultados de la impedancia.2.7.2 Análisis de los resultados del comportamiento de la ROE	32
2.9 Comportamiento de la relación front to back (f/b)	35
2.9 Patrón de radiación	36
2.11 Conclusiones parciales	
Capitulo III. Validación de los resultados mediante mediciones experimentales	39
Introducción	
3.1 Análisis de los resultados experimentales de las antenas Log- Periódica en V	
Recomendaciones	45
Anexos	46
Anexo 2.5 Gráfico de las pérdidas de retorno medidas de la LPD	55
Anexo 2.6 Gráfico de las pérdidas de retorno medidas de la LPDV	56
Referencia Bibliográfica	58

Introducción

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. En los sistemas de radiocomunicaciones las antenas ocupan un lugar muy trascendental, pues sin ellas las estaciones radioeléctricas no podrían funcionar.

Las antenas se caracterizan por una serie de parámetros y figuras de mérito como son:el patrón de radiación, la potencia radiada, la intensidad de radiación, anchos de haz, resistencia de radiación, directividad, eficiencia, razón front to back, etc.

Una antena de tipo logarítmica periódica es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación. Tiene una construcción parecida a la de la antena Uda-Yagui. Las diferencias de longitudes entre los elementos y sus espaciamientos siguen una variación logarítmica en vez de lineal con una estructura equiangular.

La región activa de la antena log-periódica cambia continuamente dependiendo de la frecuencia, donde en las frecuencias más bajas de operación, los elementos de mayores dimensiones físicas están cerca de resonancia y el resto de los elementos se comportan reactivamente y actúan aproximadamente como los elementos directores de una antena Uda-Yagi. En las frecuencias más altas, los elementos de dimensiones más pequeñas están cerca de resonancia en la región activa y los otros elementos (más largos) actúan aproximadamente como reflectores de una antena Uda-Yagi. En el centro de la banda de frecuencia los elementos que están cerca de resonancia están en el centro de la banda de setructura de la antena y los restantes elementos tienen energía reactiva para comportarse aproximadamente como directores los más pequeños y como reflectores los más grandes

Las antenas de banda ancha, entre ellas la antena log-periódica, se utilizan principalmente para transmitir y recibir señales de TV, FM y para comunicaciones militares.

En nuestro país se tiene poca bibliografía y conocimientos sobre las características de radiación e impedancia de la antena log-periódica en V, así como su método de diseño.

Por ello nos trazamos en nuestro trabajo como objetivo general realizar un estudio teórico-práctico de las características de impedancia y radiación de las antenas log – periódicas de dipolos en V.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Determinar las características de impedancia y radiación de la antena logarítmicoperiódica de dipolos en V para diferentes valores de sus parámetros constructivos y de diseño usando un software utilitario.
- 2.- Comparar los resultados obtenidos de la antena logarítmico-periódica en V con los obtenidos por una antena LPD clásica.
- 3.- Validar los resultados obtenidos por las mediciones experimentales en antenas prototipo LPD y en V.

Este trabajo da la posibilidad de utilizarlo como guía para la construcción de este tipo de antena por sus resultados teóricos y prácticos de gran importancia para todos los especialistas que se dedican a los sistemas de radiación, con aplicación a la docencia por los gráficos y fórmulas obtenidos para el diseño.

La estructura del informe consta de título, resumen, Índice, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos

En el primer capítulo se explica el estado de arte de las antenas log-periódicas en base a las referencias bibliográficas revisadas, describiendo la evolución de las antenas log-periódicas desde sus inicios hasta la obtención de las log-períodicas en V.

En el segundo capítulo se expone en forma extractada el método de diseño teórico y las características más importantes de la antena LPD clásica, así como los resultados de la simulación de las características de radiación e impedancia usando el paquete utilitario MMANA de diferentes prototipos con diferentes parámetros de esta antena y de una antena log-periódica en V en la banda de 300 a 500 MHz, probando en esta última diferentes valores del ángulo entre brazos de los elementos.

En el tercer capítulo se muestran los resultados obtenidos de las mediciones experimentales para la validación de dos prototipos, uno de la antena LPD clásica y otro de una antena log-periódica en V, así como una comparación de dichos valores con los obtenidos por la simulación.

Capítulo I: Características de impedancia y radiación de las antena log.periódicas de dipolos y sus diferentes formas geométricas.

1.1 Introducción.

Las antenas log periódicas surgieron posteriormente a las estructuras equiangulares basadas en el concepto de "antenas independientes de la frecuencia" cuyas características de impedancia y de radiación varían periódicamente con el logaritmo neperiano de la frecuencia de operación teniendo en cuenta en la estructura el concepto de equiangularidad, DuHamel¹ razonó que debía ser posible forzar la radiación con otras estructuras "angulares" por medio de las discontinuidades situadas apropiadamente para poder truncar la estructura en dimensiones de la antena donde ya las corrientes sean despreciables.

1.2 Características de impedancia y radiación

Las características de radiación dependen de las formas geométricas del conjunto logperiódico, definido por el factor de escala τ y el factor de forma σ . El valor de la impedancia de entrada depende principalmente de la impedancia característica Z₀ de la línea de trasmisión que alimenta los dipolos. La ganancia de un conjunto log-periódico bien diseñado varía desde 7.1 a 12 dBi con las ganancias mayores asociadas a un menor ángulo (α), o sea a un conjunto más largo. La impedancia de entrada puede variar típicamente entre los 50 y 200 ohm.²

Una de las cualidades básicas de las antenas es su habilidad para lograr máxima transferencia de potencia entre el medio radioeléctrico y los equipos terminales. Para lograr esto se necesita conocer la impedancia en el punto de alimentación de la antena.

La impedancia de una antena depende de muchos factores, entre los principales se encuentran:

- La frecuencia de operación.
- La estructura geométrica de la antena.

- El método de excitación.
- La proximidad a objetos cercanos, incluyendo otras antenas.

A causa de sus complejidades geométricas solamente un número limitado de antenas prácticas han sido investigadas analíticamente, para el resto la impedancia del punto de alimentación ha sido determinada experimentalmente.

1.2.1- Impedancia del punto de alimentación.

Desde el punto de vista circuital la antena puede representarse como una impedancia, cuya parte real es la resistencia de radiación de la misma, y una componente imaginaria reactiva, que depende del campo cercano que dicha antena genera. Si el sistema de radiación está bien diseñado, esta componente imaginaria debe ser despreciable, con respecto a la parte real.

Los circuitos equivalentes de las antenas como transmisora (anexo 1.1a) y como receptora (anexo #1.1b), para lograr máxima transferencia de potencia, debe cumplirse que $R_0 \approx R_{rad}$, en cualquiera de los dos casos. Si no existe adaptación de impedancia, entonces, suponiendo la antena como transmisora, la potencia radiada será:

 $P_{rad} = P (1 - |\Gamma|^2)$ donde "P" es la máxima potencia disponible en la resistencia de radiación para condiciones de adaptación de impedancia, y $|\Gamma|$ es el coeficiente de reflexión.

 El patrón de radiación y la impedancia del punto de alimentación cumplen con la propiedad de reciprocidad, es decir, dichos parámetros son los mismos para transmisión y para recepción.³

1.2.2 Diagrama de "Crank" y razón de onda estacionaria.

Los patrones de onda estacionaria en las líneas de bajas pérdidas se obtienen más fácilmente a través del diagrama circular de Crank. Como $\alpha d \ll 1$, los patrones de onda estacionaria no cambian apreciablemente en tamaño.

El diagrama de Crank es fasorial circular, se utiliza fundamentalmente para determinar, con relativa facilidad, los patrones de onda estacionaria de voltaje y corriente a lo largo de las líneas de transmisión de bajas pérdidas. Toma como fasor de referencia a **V**⁺ o a **I**⁺, los

cuales se mantienen fijos en magnitud y fase con respecto a V⁻ o a l⁻, que se sumarán fasorialmente a partir de la punta de V⁺ e I⁺, acorde a la relación V⁻ = Γ V⁺ e I⁺ = - Γ I⁺. Recordando que K = K_R cuando α l << 1 y por tanto Γ_R = K_R exp (j θ_R) y que Γ = K_R exp [j(θ_R - 2 β d)] (ver anexo 1.2 para una mejor compresión de estas expresiones).

Como $Z_0 \approx R_0$, V⁺ e I⁺ están prácticamente en fase, e I⁻ se desfasa 180⁰ a V⁻

Cuando $d = \lambda/2$ desde d = 0, el Crank da una vuelta completa.

En el caso cuando $|\Gamma_R| = K_R = 0$ y $K_R = 1$ en cuanto a los patrones de onda estacionaria así como con los valores de V_{min} e I_{min,L} la magnitud relativa de la onda reflejada en la línea de bajas pérdidas se expresa normalmente por *la razón de onda estacionaria* (ROE), definida por: ROE = $\rho = |V_{max}|/V_{min}| = |I_{max}|/I_{min}|$

Un patrón de onda estacionaria típico se muestra en la en la gráfica del anexo 2.5.

La ROE se utiliza mucho porque es una de las cantidades más fáciles de medir en una línea de transmisión.

- Con régimen de onda viajera, $|V_{max}| = |V_{min}|$ y $\rho = 1$. También $|I_{max}| = |I_{min}|$.
- Cuando hay reflexión total, $|V_{min}| = |I_{min}| = 0$ y $\rho \rightarrow \infty$, de modo que $1 \le \rho \le \infty$.

• Para transmisión de información " ρ " debe ser pequeña para evitar altos gradientes de potencial, tener buen manejo de potencia, aumentar la eficiencia de la línea, y hacer menos sensible la impedancia con relación a la frecuencia.

Para relacionar la ROE con el coeficiente de reflexión:

$$\begin{split} \rho &= |V_{max}|/|V_{min}| = (|V^+| + |V^-|)/(|V^+| - |V^-|) = (1 + |V^-| / |V^+|)/(1 - |V^-| / |V^+|) \\ \rho &= (1 + K)/(1 - K) \end{split}$$

En el diagrama de Crank (anexo 1.2), V_{max} y I_{min}, ocurren en la misma posición de la línea y están en fase en dicho punto: $Z_{max} = R_{max} = V_{max}/I_{min} = \rho Z_0$, de igual manera se obtiene $Z_{min} = R_{min} = V_{min}/I_{max} = Z_0/\rho$.⁴

1.2.3 Ganancia.

Antes de definir la ganancia de antena es bueno conocer algunos conceptos previos.

1.2.4 Angulo sólido.

 $|d\mathbf{a}| = r^2 \sin \theta d\theta d\phi$ (1) (ver anexo 1.3), por analogía a la relación $d\mathbf{s} = r d\theta$ en una circunferencia, donde "r" es el radio, "ds" es un diferencial de longitud de arco y "d θ " es un diferencial del ángulo central, entonces, todo lo que multiplica a "r² "en la primera expresión se denomina *ángulo sólido* y tiene como expresión diferencial: $d\Omega = \sin \theta$ d $\theta d\phi$ (2) y se mide en esterradian.

1.2.5 Fuente isotrópica.

Es un radiador hipotético que radia uniformemente en todas las direcciones.

Supongamos ahora que tenemos una antena con características direccionales en el centro de un sistema de coordenadas esféricas, entonces sobre la superficie de una esfera hipotética de radio "r" con centro en el origen de coordenadas, debemos admitir que la densidad de potencia [W/m²] será mayor en algunos lugares que en otros.

Para el campo de radiación donde "E" y "H" son ortogonales en un plano normal al radio vector se cumple que: $|E_{\theta}/H_{\phi}| = Z_m = 120\pi$ [Ω] en el vacío, y " E_{ϕ} " se considera nulo (Para polarización lineal). El vector de Poynting (Densidad de Potencia) en cualquier dirección será: $\Pi_{prom}(r,\theta,\phi)$ y viene dado por: $\Pi_{prom}(r,\theta,\phi) = E_{\theta}^2/Z_m r[W/m^2]$ (3) donde " E_{θ} " es la magnitud de la intensidad de campo eléctrico efectivo.

Si se quiere encontrar la potencia total radiada se integra alrededor de la superficie de la esfera, o sea:

$$P_{rad} = \iint_{S} \vec{\prod}_{prom}(r,\theta,\phi).d\vec{a}$$
(4)

Utilizando las expresiones (1), (2) y (3) en (4) obtenemos:

$$P_{rad} = \int_{0}^{2\pi\pi} \int_{0}^{2\pi\pi} (r^2 E_{\theta}^2 / Z_m) d\Omega$$
 (5)

El integrando de (5) se denomina intensidad de radiación y su unidad es el [W/esterradian] o sea representa la potencia por unidad de ángulo sólido.

Como la magnitud de la intensidad del campo eléctrico es inversamente proporcional a "r", entonces, la intensidad de radiación dependerá solamente de las coordenadas (θ , ϕ). Si

denominamos como "U (θ, ϕ) " a la intensidad de radiación, entonces (5) puede escribirse como:

$$P_{rad} = \int_{0}^{2\pi\pi} \int_{0}^{2\pi\pi} U(\theta, \phi) d\Omega$$

1.2.6 Ganancia directiva.

La ganancia directiva de una antena se define como el cociente entre la intensidad de radiación en una dirección " (θ,ϕ) "y la intensidad de radiación de una fuente isotrópica, para la misma potencia radiada.

Si en una esfera de radio "r" situamos en el centro una fuente isotrópica la magnitud de la densidad de potencia en cada punto de la superficie, se da por:

 $\Pi r(r, \theta, \phi) = Prad/(4\pi r^2)$ [W/m²] donde " $4\pi r^2$ " representa la superficie de la esfera. La intensidad de radiación será:

 $U_{iso} = r^2 \prod r(r,\theta,\phi) = Prad/(4\pi)$ [W/sr]. Si "U (θ,ϕ) " es la intensidad de radiación de la antena directiva en esa dirección, entonces la ganancia directiva "G_d" es:

 $G_d(\theta,\phi) = U(\theta,\phi)/U_{iso} = 4\pi U(\theta,\phi)/Prad$ que en [dBi] se expresa como:

Gd (θ,ϕ) dBi = 10 log₁₀ [Gd (θ,ϕ)] [dBi], donde el subíndice "i" indica que la ganancia directiva está referida a una fuente isotrópica.

También puede definirse la ganancia directiva como la razón de potencia requerida desde un radiador isotrópico para producir la misma intensidad de radiación dada en la dirección deseada a la potencia requerida desde la antena en cuestión.

La mayoría de las antenas directivas poseen un patrón de radiación como muestra el anexo 1.4, donde se destaca un lóbulo principal, que radia el mayor por ciento de la energía electromagnética, y un conjunto de lóbulos secundarios (laterales) de menor nivel que el principal, y un lóbulo trasero.

De acuerdo con lo anterior se acostumbra a especificar la ganancia directiva de la antena en la dirección de máxima intensidad de radiación (máximo del lóbulo principal), en este caso se eliminan las coordenadas (θ , ϕ) del argumento y se escribe simplemente "G_d".

1.2.7 Ganancia de potencia.

La ganancia directiva se define en términos de la potencia radiada. Muchas veces se necesita tener en cuenta las condiciones de adaptación de impedancia entre la antena y el alimentador así como las pérdidas en calor, debido a la conductividad finita en los conductores.

La ganancia de potencia " G_p " se expresa de la misma forma que la ganancia directiva excepto que, en lugar de la potencia radiada por la antena directiva, se toma la potencia total entregada a la antena " P_T ". Entonces:

Gp $(\theta,\phi) = 4\pi U (\theta,\phi)/P_T$, donde $P_T = P_{rad} + P_{perd}$, donde " P_{perd} " representa las pérdidas en calor en los conductores de la antena. Si " η " representa la eficiencia ohmica, esta será $\eta = P_{rad}/P_T$, y como se sabe, la potencia radiada queda en función de la potencia disponible "P" ($P_{rad} = P (1 - |\Gamma|^2)$), entonces:

 $G_p(\theta,\phi) = \eta (1 - |\Gamma|^2) G_d(\theta,\phi)$. Si esta ganancia se especifica en la dirección de máxima radiación entonces: $Gp = \eta (1 - |\Gamma|^2) Gd$. Se observa que en general siempre se cumple que $Gp \leq Gd$. En el caso bastante usual, que la antena esté trabajando en condiciones de adaptación de impedancia, y que las pérdidas en calor sean despreciables, $G_p \approx G_d = G$, y entonces se habla de la ganancia "G" de la antena, la cual por reciprocidad, es la misma para la antena transmisora, y para la antena receptora.

1.2.8 Área efectiva y longitud efectiva.

Al suponer que en un punto del espacio (para r $\geq \lambda$), se tiene una magnitud de la densidad de potencia " $\Pi_{prom}(r,\theta,\phi)$ " en [W/m²], debido a la presencia de una antena transmisora en el origen de las coordenadas esféricas. En el punto " (r,θ,ϕ) " se sitúa una antena receptora, asociada a una carga (receptor). Esta antena receptora entregará a los terminales de entrada una determinada potencia, pudiéndose ver esta como un transductor de área efectiva "A_e" que transforma los [W/m²] en [W]. El área efectiva "A_e" de una antena receptora en la dirección " (θ,ϕ) " se define entonces como:

Ae $(\theta,\phi) = \lambda^2/(4\pi)$ Gd (θ,ϕ) [m2]

Si se toma la ganancia directiva máxima⁵, entonces se tiene $A_e = \lambda^2/(4\pi)$ Gd [m²]

1.2.9 Patrón de radiación

Esa distribución espacial de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico o de la densidad de potencia con los ángulos de azimut y polar es el patrón de radiación de la antena. En antenas receptoras la distribución incluye una región de alta concentración (ganancia) para iluminar un objetivo. Las radiaciones fuera de la dirección del haz principal deben ser severamente restringidas para evitar interferencias con otros sistemas o recibir interferencias desde otros. El nivel de los lóbulos laterales constituye el parámetro más delicado del diseño de antenas, otros parámetros de interés de la antena, son la polarización y profundidad de los nulos.

El patrón de radiación de antena, el cual típicamente comprende un haz principal y una estructura de lóbulos laterales, es comúnmente representado como un trazo en dos dimensiones.

El ancho de haz marca su importancia en la medida de qué tan exacto debe apuntarse la antena y qué tan rápidamente la antena rechaza las señales fuera de la región deseada. El ancho angular del haz principal del patrón de radiación de la antena, es caracterizado por el ancho del haz entre los puntos de media potencia (HPBW), que se define como el ancho angular total entre los dos puntos que están 3dB por debajo del pico del haz principal.

1.3 Antenas Log-periódicas de dipolos (LPD).

- La alimentación de la antena Log-periódica de dipolo se realiza por el extremo de alta frecuencia o de menor dimensión física.
- Una radiación de retroceso, en caso de las antenas unidireccionales, de manera que proyecte su radiación por la parte de la menor dimensión, siendo la radiación

Capítulo I: Características de Impedancia y Radiación de Antena Log.-Periódicas de Dipolos y sus Diferentes. Formas Geométricas.

nula o muy pequeña en sentido de la parte de mayor dimensión física. En las antenas bidireccionales la retrorradiación se sustituye por una radiación lateral, en todo caso En general las corrientes de radiación en el sentido de avance a lo largo de la superficie de la antena teóricamente se extiende hasta el infinito.

Una región de transmisión formada por la porción inactiva de la antena, la cual estará situada entre los terminales de alimentación y la región activa, región de línea de transmisión.

Una región activa por la que se radia intensamente por la adecuada combinación de magnitudes y fases de las corrientes. que produce un campo de radiación muy pequeño a lo largo de la superficie de la antena o conjunto en el sentido de avance y un campo de radiación máximo de retroceso. Para lograr con éxito antenas con retrorradiación se necesita separaciones inferiores al cuarto de longitudes de onda y desfasaje en adelanto cerca de 90 grados entre elementos adyacentes en la región activa.

 Existe una región inactiva o reflectora más allá de la región activa en la parte de mayor dimensión física de la antena. Las características esenciales de toda buena antena "independiente de la frecuencia", es una rápida disminución de la magnitud de la corriente a partir de la región activa que continúe hacia la parte de mayores dimensiones físicas de manera que pueda cortarse o interrumpirse la estructura sin afectar su funcionamiento⁶.

Cabe esperar que la formulación de una teoría para los conjuntos de antenas log-periódicas sea más difícil, ya que todos los parámetros usuales, tales como el de longitud de los elementos medida en longitudes de onda, espaciamientos entre éstos también en longitudes de onda así como la magnitud y fase de las corrientes varían a lo largo del conjunto, y por tanto son también funciones de la frecuencia. Afortunadamente existe un método para lograr una primera aproximación del comportamiento del conjunto. Este método⁷ consiste en considerar a la estructura log-periódicas como una estructura localmente periódica, cuyo período varía lentamente, creciendo de un modo lineal con su distancia al vértice. Desde este punto de vista, el análisis de una estructura de período uniforme en función de la frecuencia corresponde aproximadamente al examen de la estructura log-periódica como función de su distancia al vértice.

Las nociones elementales pueden aplicarse con alguna ligera modificación en el análisis de un conjunto log-periódico de dipolos, indicada en el anexo 1.5 (a). Es útil considerar separadamente tres regiones de importancia en el conjunto, y que se muestran en el anexo 1.5 (b) y la que explicaremos a continuación

1.- Región de transmisión: En esta región los elementos de la antena son cortos respecto a la longitud resonante (es decir, $l. << \frac{\lambda}{2}$), así que los elementos presentan una impedancia de carácter capacitivo relativamente elevada.

El elemento de corriente es pequeño, y va casi en cuadratura de adelanto al voltaje suministrado por la línea de transmisión. La separación entre elementos es pequeña en longitudes de onda, y la inversión de fase producida por la trasposición de la línea significa que los elementos adyacentes están desfasados casi 180°.

De un modo más preciso, cada corriente elemental adelanta a la del elemento precedente en un ángulo aproximadamente igual $\alpha = (\pi - \beta d)$ siendo *d* la separación entre elementos y $\beta = 2 \prod_{\lambda} = \omega_{\mu}$ es la constante de fase a lo largo de la línea.

En general, β , λ , y, v difieren de los valores que tendrían en el vacío, debido al efecto de carga producido por los elementos sobre la línea de transmisión. A causa del desfasaje y poca separación de los elementos, la radiación de esta región será muy pequeña en el sentido del retroceso

2.- Región activa: En esta región las longitudes de los elementos son del orden de la longitud de onda resonante (I ligeramente inferior a $\lambda/2$), así la impedancia del elemento tiene una componente resistiva apreciable. La corriente de un elemento es grande y, casi en fase con el voltaje básico, la corriente está ligeramente en adelanto un poco por debajo de la resonancia y ligeramente atrasada un poco por encima de dicha resonancia.

Capítulo I: Características de Impedancia y Radiación de Antena Log.-Periódicas de Dipolos y sus Diferentes. Formas Geométricas.

La separación entre elementos es ahora suficientemente grande y la fase de la corriente en un elemento dado está en adelanto sobre la del elemento precedente en un ángulo $\alpha = (\pi - \beta d)$ que se aproxima a $\pi/2$ radianes. Esta combinación de condiciones producirá una fuerte radiación en el sentido del retroceso.

3.- Región reflectora. En esta región la longitud de los elementos es mayor que la longitud resonante (I ≥ λ/2), así la impedancia de estos elementos se hace mayormente inductiva y cada corriente se retrasa respecto al voltaje básico.

El voltaje básico dado por la línea de transmisión es de esta forma bastante pequeño, ya que en un conjunto diseñada apropiadamente casi toda la energía transmitida a lo largo de la línea ha sido ya sustraída y radiada por la región activa.

La separación entre elementos puede ser aquí mayor que $\lambda/4$ pero el desfasaje por unidad de longitud de la línea en esta región es pequeño, de modo que éste entre elementos (incluyendo la inversión de fase debida a la trasposición) es tal que todo el resto de radiación tiene aún el sentido del retroceso. Además la impedancia característica de la línea de transmisión se hace reactiva en esta región, lo que significa que toda pequeña radiación procedente de la región activa no es aceptada en ésta sino que la refleja hacia atrás, o sea hacia el punto de alimentación.

1.3.1 Diseño de la antena LPD.

El procedimiento más completo para dar los criterios de diseño de la antena LPD fue desarrollado por el trabajo de tesis doctoral de R.L. Carrel⁸ desarrollado en 1961 en la Universidad de Illinois. La configuración general de una antena LPD se describe en términos de los parámetros de diseño τ , α y σ , relacionados por la expresiones que a continuación se mostrará y que puede verse reflejado en la curva mostrada en el anexo 1.6, se comenzará por los valores de las distintas curvas de ganancias directivas ya optimizadas para distintos valores de σ y τ .

1) Primero calcular alfa en grados, según la siguiente fórmula.

$$\propto = \arctan\left[\frac{(1-\tau)}{(4\sigma)}\right]$$

2) Buscar el ancho de banda de la región activa de la antena.

Bar = 1,1 + 7,7(1 - τ)² cot α

3) Calcular el ancho de banda deseado.

$$B = \frac{J_{max}}{f_{min}}$$

4) Hallar el ancho de banda de diseño.

$$B_s = B B_{ar}$$

5) A través de la velocidad de la luz y la frecuencia mínima obtener el valor de landa máxima.

$$\lambda_{max} = 2l_{max} = \frac{c}{f_{min}}$$

6) Obtener la longitud máxima aproximada de la antena.

$$L = \left(\frac{\lambda_{max}}{4}\right) \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha$$

7) Se halla aproximadamente la cantidad de elementos que se va a utilizar en la antena

$$N = 1 + \frac{\ln B_s}{\ln \frac{1}{\tau}}$$

8) Obtener la frecuencia media:

$$F_{media} = \sqrt{(f_{min} \cdot f_{max})}$$

9) Calcular landa media

$$\lambda_{media} = \frac{c}{F_{media}}$$

10) Se halla la longitud del brazo medio de la antena.

$$h = \frac{\lambda_{media}}{4}$$

11) Se calcula la impedancia característica promedio de la antena

$$Z_{a} = 120 \left[\ln \left(\frac{h}{a} \right) - 2,5 \right] \text{ siendo a} = \text{radio de los dipolos.}$$

12) $\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}$

13)
$$X = \frac{R_0}{\sigma Z_a 8}$$

14) Buscar la impedancia característica del alimentador de los dipolos/

$$Z_0 = \left(X + \sqrt{X^2 + 1}\right) R_0'$$

15) Calcular la resistencia media.

$$R_0 = Z_0 \left\{ 1 + \left[\frac{Z_0}{Z_a} \right] \left[\frac{\tau}{4\sigma} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

16)
$$|K_{prom}| = \frac{R_0 - R_0}{R_0 + R_0'}$$

17) Hallar la razón de onda estacionaria

$$ROE_{prom} = \frac{1+|K|}{1-|K|}$$

18) Calcular la separación centro a centro del alimentador de los dipolos.

$$b = D.\cosh\frac{Z_0}{120}$$

- 19) Para buscar el valor de S tenemos que tener en cuenta el valor de h/a y de Z₀
- Para buscar los valores de S con relación h/a y de Z₀ ver anexo 1.7
- 20) De acuerdo a esto encontramos el valor de la longitud del dipolo más grande.

$$l_1 = S \frac{\lambda_{\max}}{2}$$

21) Hallamos la longitud del brazo.

- 22) para las separaciones entre los dipolos utilizamos las siguientes expresiones
 - $\begin{array}{l} d_1 = 4\sigma. \, h_1 \\ d_2 = 4\sigma. \, h_2 \\ d_n = 4\sigma. \, h_n \end{array}$

1.3.2 El conjunto considerado como línea de transmisión.

Algunas de las notables propiedades de las antenas Log-periódicas, son atribuidas a las características de propagación de la línea de transmisión cargada equivalente que transporta la energía del generador a la porción activa o radiante del conjunto.

Pueden verse fácilmente estos efectos en el caso de un conjunto log-periódico de dipolos y se indican en el anexo 1.5 (b).

En la línea de alimentación, la región (0), la inductancia serie y la capacidad en derivación por unidad de longitud se indican como *L* y *C*, respectivamente.

En la región de transmisión la región (1) según anexo 1.5 (b) la línea de transmisión está ya cargada por una capacidad C_a por unidad de longitud, que representa el efecto de la carga de los dipolos cortos, que tienen una reactancia capacitiva. Puede notarse que en una primera aproximación C_a es casi constante a lo largo de esta región, porque al principio de la región la capacitancia por elemento es pequeña y los elementos están próximos entre sí, mientras que hacia el final de la región la capacitancia por elemento es mayor, pero también es mayor su separación.

El efecto de la capacitancia aumentada en derivación de la línea (C + C_a) es el de aumentar la longitud de onda λ y disminuir la velocidad de fase v a lo largo de la línea respecto a los valores que tienen en el vacío. Diremos así que es una región de "onda lenta" en la línea de transmisión. Nótese, sin embargo, que a causa de la trasposición de la línea entre elementos, los elementos consecutivos se alimentan con un desfasaje en adelanto de $\pi - \alpha$ por sección. Esta rápida variación de fase en el sentido del retroceso corresponde a una onda lenta, también en dirección de retroceso a lo largo de los elementos de la antena.

En la región activa (2) del anexo 1.5 (b), las longitudes de los elementos son aproximadamente iguales a la longitud resonante y la carga de la línea se hace resistiva, que se designará por una resistencia R_a en derivación en serie con la capacitancia Ca e inductancia L_a de la antena.

Capítulo I: Características de Impedancia y Radiación de Antena Log.-Periódicas de Dipolos y sus Diferentes. Formas Geométricas.

El desfasaje por unidad de longitud, la longitud de onda y la velocidad de fase se aproximan a los valores en vacío. A causa de la trasposición de los elementos, y teniendo en cuenta el hecho de que las corrientes de los elementos consecutivos van con adelantos cada vez menores respecto al voltaje básico, al irse aproximando a la longitud resonante, resulta que el desfasaje de las corrientes en los elementos corresponde al de una onda progresiva en sentido de retroceso, hacia el punto de alimentación, con una velocidad *v* algo menor que *c*, velocidad de la luz.

En la región reflectora o inactiva (3), del anexo 1.5 (b), la longitud de los elementos resulta mayor que la longitud resonante, predomina la reactancia inductiva de los dipolos y el efecto de carga sobre la línea se representa por la inductancia en derivación L_a . Cuando la combinación en paralelo de L_a y C es inductiva, tenemos la equivalencia de la región de atenuación de un filtro. El desfasaje por unidad de longitud es entonces cero (para el caso de que no haya pérdidas) y la velocidad de fase es infinita (es decir, no hay onda).

La propagación de la energía incidente a lo largo de la línea ya no es aceptada, sino reflejada hacia el punto de alimentación (estos resultados son estrictamente ciertos sólo en el caso de un filtro sin pérdidas, pero corresponden a una primera aproximación; en este caso de filtro con pérdidas).⁹

Los diagramas fasoriales para $\phi = 0^{\circ}$, 90° y 180° se indican en el anexo 1.8, y las directividades resultantes en el anexo 1.9. La directividad del plano *E* es la del plano *H* modificada por la directividad en este plano de los elementos individuales.

Al disminuir o aumentar la frecuencia de trabajo, la región activa se desplaza a lo largo del conjunto pero la directividad e impedancia de entrada siguen casi constantes.¹⁰

1.4 Otros tipos de antenas Log-periódicas.

Aunque el número y tipos de antenas log-periódicas que pueden concebirse son ilimitados, pocas de ellas logran diseños que tengan directividades apreciables, pequeñas variaciones de impedancia e insensibilidad a pequeños cambios de sus parámetros. A continuación se describirán brevemente varios casos típicos para indicar la extensión y variedad de diseños disponibles.

1.4.1 Antena en zig-zag log-periódica.

Los principios que se dedujeron del análisis de la estructura del anexo 1.10 (a) han sido aplicados a la antena en zig-zag log-periódica doblada, esquematizada en el anexo 1.10(b). En esta antena la parte vertical de la estructura de los elementos radiantes y la parte horizontal, no radiante, da el desfasaje adicional requerido para el funcionamiento apropiado.¹¹

Esta estructura tan simple alimentada respecto a tierra, constituye una antena efectiva log-periódicas de polarización vertical.

1.4.2 Antena Log-periódica trapezoidal.

El trapezoide de conductor log- periódico¹² del anexo 1.11, fue la primera antena logperiódica de conductores. Aunque desarrollada directamente de la estructura trapezoidal plana, su funcionamiento es análogo a la antena de simple zig-zag.

1.5 Conjunto log-periódica de V resonante.

El mayor inconveniente de una antena log-periódica de dipolos es su gran tamaño puesto que son destinadas a cubrir una amplia banda de frecuencias.

La antena log-periódica de dipolos en V¹³ indicada en *anexo 1.12*, el objeto de nuestro estudio, salva esta dificultad de un modo ingenioso, permitiendo un mejor desempeño en alguno de sus diversos modos de funcionar.

En el primer elemento $(\lambda/2)$ el funcionamiento es similar a la antena log-periódica de dipolos, ya que la pequeña inclinación de avance de los elementos tiene muy poca influencia en este modo. Sin embargo, al crecer la frecuencia más allá de aquella en que resuenan los elementos más pequeños, es decir cuando la región activa va más allá del extremo menor, o extremo frontal, los elementos mayores posteriores se hacen activos en el modo $(3\lambda/2)$.

De este modo, la inclinación de avance de los elementos asegura una buena unidireccionalidad de su radiación. Un ulterior aumento de frecuencia hace que la región

Capítulo I: Características de Impedancia y Radiación de Antena Log.-Periódicas de Dipolos y sus Diferentes. Formas Geométricas.

activa se desplace en el modo $(3\lambda/2)$, avanzando a lo largo del conjunto hasta que de nuevo sobrepase el extremo frontal para volver al extremo posterior en el modo $5\lambda/2$. Este esquema hace posible obtener anchuras de banda de relación de frecuencias de unos 20/l con una construcción relativamente compacta. Las características direccionales y de impedancia se conservan buenas en todo el espectro de frecuencias, salvo en intervalos próximos a las frecuencias de transición. Con estos principios se han diseñado conjuntos para cubrir toda la banda norteamericana de televisión (canales 2 a 83), que corresponde a un margen de frecuencias de 54 a 890 MHz.

1.6 Breve descripción del software utilizado para la simulación virtual.

El MMANA¹⁴ es un software libre de diseño de antena, utilizado para radioaficionados. Inicialmente su autor fue el radio aficionado japonés Macoto Mori JE3HHT. Después de poner su programa en el dominio fue retomado por dos radioaficionados de Alemania, Alex Schewelew DL1PBD e Igor Gontcharenko, DL2KQ.

Rebautizado como MMANA – GAL y traducido en varios idiomas (búlgaro, ruso, japonés, ingles, alemán, serbio, checo y español: este ultimo traducido por Valentín Alonso García EA4GG y Dimitri Agüero F4DYT, Otros idiomas están en preparación como el Francés).

Existen varias herramientas de simulación con menor o mayor grado de exactitud, muchas de las cuales constituyen programas que se ejecutan sobre MSDOS y de propósitos muy específicos, como la simulación de una antena logarítmico- periódica o un conjunto de dipolo.

Para esta investigación se utiliza el MMANA, por sus ventajas y características. Este programa se ejecuta perfectamente sobre Windows, no requiere de máquinas sumamente potentes, ofrece una ambiente de trabajo amigable al diseñador, se ocupa principalmente del diseño y simulación de la antenas de elementos lineales, brinda, además, las posibilidades de ver la apariencia física de las antenas en cada paso del programa de diseño y con gran rapidez.

El diseño en cuestión se calcula para la frecuencia determinada por el diseñador, la que estará dentro del ancho de banda de las antenas para la obtención de los resultados.

En la ventana del diálogo aparecen los parámetros de las antenas correspondientes a esta frecuencia de simulación entre lo que se encuentran:

La impedancia de entrada; la razón de onda estacionaria (ROE); la ganancia directiva; el coeficiente de radiación trasera (Razón front to back (F/B)); el ángulo de elevación; la polarización.

El MMANA además ofrece la posibilidad de evaluar el comportamiento de varios de los parámetros de las antenas en un rango de frecuencia determinada. Se realizó un análisis como este para este trabajo.

La posibilidad de utilizar el diseño es una de las características del MMANA que lo hacen una herramienta de uso profesional. La optimización se puede realizar atendiendo a varios de los parámetros de la antena. Co¹⁵nsiste en variar los ángulos, las dimensiones físicas de las antenas y los radios de los dipolos, con los que se busca lograr que ofrezca mejores resultados en alguno de sus parámetros como la impedancia de entrada y por ende la razón de onda estacionaria, la ganancia o la razón front to back. En este proceso se tiene grandes beneficios para él diseñador debido a su eficacia y rapidez.

1.6.1 Limitaciones

- Sólo puede utilizar antenas de conductores rectilíneos.
- Sólo puede renovar conductores desnudos, pues con el conductor revestido será necesario mayores dimensiones que las necesarias para la resonancia.
- Ha mejorado en cuanto a tierra, pero no funciona bien cuando un conductor está a pocos milímetros de tierra.

Capítulo II. Diseño y Simulación

En este capitulo se describe el diseño, construcción y optimización de las antenas LPD y LPDV determinando sus características de radiación e impedancia.

En nuestra investigación se diseñará y simulará una antena logarítmica periódica de dipolos para después inclinarle los ángulos de los brazos de los dipolos y llevarla a una log-periódica de dipolos en V, determinar características de la antena, tales como son el patrón de radiación (tanto en el plano horizontal como en el vertical), su impedancia de entrada, la ganancia directiva de la antena, la ganancia en cada uno de los puntos que conforman el plano principal, y otros parámetros de interés para el análisis de las características reales de antenas logarítmicas-periódica de dipolo en V.

2.1 Condiciones de trabajo

Dentro de las condiciones de trabajo tenemos:

- La antena debe recibir o transmitir desde la frecuencia inicial 300MHz hasta 500MHz para la banda de UHF.
- El alimentador de la línea de transmisión será un cable coaxial de 50 o 75 Ohm.
- El diámetro de los dipolos debe ser de 8 o 10 mm, que son los que utiliza la Empresa de Antenas de Villa Clara para facilitar su posterior fabricación para realizar las mediciones.
- La longitud máxima no debe sobrepasar los 1,5 metros.

2.3 Diseño de la antena LPDV a partir de la antena LPD.

A continuación se muestra el diseño de la antena LPDV, a partir de lo expuesto por R.Carrel, comenzando por la tabla que aparece en el anexo 1.6, introduciendo en la hoja de cálculo los valores de ganancias isotrópicas en dB ya optimizados, para obtener los valores del factor de escala tao, así como el factor de espaciamiento Sigma.

Primeramente se introducen los valores de la frecuencia máxima, frecuencia mínima de trabajo, impedancia de la línea de transmisión, el valor del radio y el diámetro de los dipolos (mostrado en la tabla siguiente con fondo verde en sus celdas), dando como resultado diferentes parámetros de cada

una de las antenas LPD, a esta hoja de cálculo la llamaremos *Datos* para su posterior utilización, lo cual queda mostrado en la siguiente tabla 2.1

7	7.5	8	8.5	9	Ganancia	9.5	10	10.5	11
0.138	0.149	0.159	0.167	0.171	Sigma	0.174	0.178	0.181	0.185
0.778	0.822	0.865	0.895	0.917	Тао	0.93	0.944	0.955	0.968
50000000	50000000	50000000	50000000	50000000	Fmax	50000000	50000000	50000000	50000000
30000000	30000000	30000000	30000000	30000000	Fmin	30000000	30000000	30000000	30000000
50	50	50	50	50	R ₀ '	50	50	50	50
0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	а	0.005	0.005	0.005	0.005
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	D. elemento	0.01	0.01	0.01	0.01
0.382379	0.290225	0.20916	0.15591	0.120755	Alfa (radianes)	0.1002376	0.07849	0.062075	0.043216
21.9087	16.62866	11.98397	8.932982	6.918732	Alfa (grados)	5.7431939	4.497152	3.556626	2.476113
2.043589	1.916878	1.761122	1.640078	1.537144	Bar	1.475144	1.407014	1.350866	1.282336
1.666667	1.666667	1.666667	1.666667	1.666667	В	1.6666667	1.666667	1.666667	1.666667
3.405981	3.194796	2.935203	2.733463	2.561907	Bs	2.4585733	2.345024	2.251443	2.137227
1	1	1	1	1	Landa max	1	1	1	1
0.439113	0.575065	0.776518	1.008622	1.256058	L Longitud max	1.474675	1.823118	2.235714	3.076226
6	7	8	10	12	N Número elem	13	16	19	24
3.87E+08	3.87E+08	3.87E+08	3.87E+08	3.87E+08	F media	387298335	3.87E+08	3.87E+08	3.87E+08
0.774597	0.774597	0.774597	0.774597	0.774597	Landa media	0.7745967	0.774597	0.774597	0.774597
0.193649	0.193649	0.193649	0.193649	0.193649	h	0.1936492	0.193649	0.193649	0.193649
168.7932	168.7932	168.7932	168.7932	168.7932	Za	168.79322	168.7932	168.7932	168.7932
0.156455	0.164343	0.170958	0.176524	0.178571	σ	0.1804296	0.183204	0.185215	0.188033
0.236666	0.225307	0.216589	0.209759	0.207355	Х	0.2052188	0.202111	0.199916	0.196921
63.21449	62.51872	61.98877	61.57606	61.43131	Z cero	61.302954	61.11658	60.98519	60.80625
78.13678	76.84553	75.90723	75.13211	74.9341	R cero	74.711392	74.35305	74.10587	73.7546
0.219584	0.21164	0.205764	0.200845	0.199578	K prom	0.1981486	0.195838	0.194236	0.191949
1.562736	1.536911	1.518145	1.502642	1.498682	ROE prom	1.4942278	1.487061	1.482117	1.475092
0.02284	0.022776	0.022728	0.022691	0.022678	b	0.022667	0.02265	0.022639	0.022623
38.72983	38.72983	38.72983	38.72983	38.72983	h/a	38.729833	38.72983	38.72983	38.72983
63.21449	62.51872	61.98877	61.57606	61.43131	Zo	61.302954	61.11658	60.98519	60.80625
0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	S	0.98	0.98	0.98	0.98
0.2475	0.2450	0.2450	0.2450	0.2450	1	0.2450	0.2450	0.2450	0.2450
0.1926	0.2014	0.2119	0.2193	0.2247	2	0.2279	0.2313	0.2340	0.2372
0.1498	0.1655	0.1833	0.1963	0.2060	3	0.2119	0.2183	0.2234	0.2296
0.1166	0.1361	0.1586	0.1756	0.1889	4	0.1971	0.2061	0.2134	0.2222
0.0907	0.1119	0.1372	0.1572	0.1732	5	0.1833	0.1946	0.2038	0.2151
0.0705	0.0919	0.1186	0.1407	0.1589	6	0.1704	0.1837	0.1946	0.2082

Tabla 2.1

Capítulo II: Diseño y Simulación.

NO	0.0756	0.1026	0.1259	0.1457	7	0.1585	0.1734	0.1859	0.2016
NO	NO	0.0888	0.1127	0.1336	8	0.1474	0.1637	0.1775	0.1951
NO	NO	NO	0.1009	0.1225	9	0.1371	0.1545	0.1695	0.1889
NO	NO	NO	0.0903	0.1123	10	0.1275	0.1459	0.1619	0.1828
NO	NO	NO	NO	0.1030	11	0.1186	0.1377	0.1546	0.1770
NO	NO	NO	NO	0.0945	12	0.1103	0.1300	0.1476	0.1713
NO	NO	NO	NO	NO	13	0.1026	0.1227	0.1410	0.1658
NO	NO	NO	NO	NO	14	NO	0.1158	0.1347	0.1605
NO	NO	NO	NO	NO	15	NO	0.1093	0.1286	0.1554
NO	NO	NO	NO	NO	16	NO	0.1032	0.1228	0.1504
NO	NO	NO	NO	NO	17	NO	NO	0.1173	0.1456
NO	NO	NO	NO	NO	18	NO	NO	0.1120	0.1409
NO	NO	NO	NO	NO	19	NO	NO	0.1070	0.1364
NO	NO	NO	NO	NO	20	NO	NO	NO	0.1321
NO	NO	NO	NO	NO	21	NO	NO	NO	0.1278
NO	NO	NO	NO	NO	22	NO	NO	NO	0.1238
NO	NO	NO	NO	NO	23	NO	NO	NO	0.1198
NO	NO	NO	NO	NO	24	NO	NO	NO	0.1160

Leyenda:

Rojo

Esta columna que tiene todo el contenido en rojo es la antena seleccionada para las mediciones experimentales.



valores introducidos



Resultados la hoja de cálculo después de introducido los datos preliminares para diferentes tipos de antenas (las columnas).

De los resultados obtenidos

Naranja - Valores de h/a y de Z_0 para obtener S según anexo 1.3



Después de haber realizado estos cálculos, se selecciona la antena cuyo resultado de la impedancia de entrada del alimentador de los dipolos se acerque más a la línea de transmisión que se utilizará.

Capítulo II: Diseño y Simulación.

La longitud máxima y el número de elementos de esta antena se seleccionan de acuerdo a la necesidad y posibilidad que tengan, siendo la ROE uno de los parámetros que más precisión debe tener para una mejor eficiencia de nuestra antena LPDV.

Para estar seguro de estos resultados y a modo de comprobación, con estos criterios de selección y con los datos de esta antena seleccionada se realiza los cálculos siguiendo el diseño de R.Carrel.

1) Primero calcular alfa en grados, según la siguiente fórmula.

$$\alpha = \arctan\left[\frac{(1-\tau)}{(4\sigma)}\right]$$
$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-0.93}{4x1,174}\right)$$
$$\alpha = 5,743193$$

2) Se busca el ancho de banda de la región activa de la antena.

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot \alpha$$

Bar =
$$1,1 + 7,7(1 - 0,93)2\cot 5,743$$

$$B_{ar} = 1,475$$

3) Calcular el ancho de banda deseado.

$$B = \frac{f_{max}}{f_{min}}$$

$$B = \frac{500MHz}{300MHz}$$

B=1,666

4) Hallar el ancho de banda de diseño.

$$\mathbf{B}_{s} = \mathbf{B} \mathbf{B}_{ar}$$

B_s =1,666x1, 475

 $B_s = 2,459$

5) A través de la velocidad de la luz y la frecuencia mínima obtener el valor de landa máxima.

$$\lambda_{max} = 2l_{max} = \frac{c}{f_{min}}$$

$$\lambda_{max} = \frac{3x \, 10^8 \, m/s}{30 \, 0x \, 10^6 \, Hz}$$

$$\lambda_{max} = 1m$$

6) Obtener la longitud máxima aproximada de la antena.

$$L = \left(\frac{\lambda_{max}}{4}\right) \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha$$
$$L = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{2,459}\right) \cot 5,743$$
$$L = 1.475$$

7) Se hallan la cantidad de elementos que se van a utilizar en la antena

$$N = 1 + \frac{\ln B_s}{\ln \frac{1}{\tau}}$$
$$N = 1 + \frac{\ln 2,459}{\ln 1.075}$$
$$N = 13$$

8) Obtener la fuerza media:

$$F_{media} = \sqrt{(f_{min} \cdot f_{max})}$$

$$F_{med} = \sqrt{300x500} = 387,2MHz$$

9) Calcular landa media

Capítulo II: Diseño y Simulación.

$$\lambda_{media} = \frac{c}{F_{media}}$$
$$\lambda_{med} = \frac{3x \, 10^8 \frac{m}{s}}{387.2x \, 10^6 \, Hz}$$
$$\lambda_{med} = 0.775$$

10) Se halla la longitud del elemento medio de la antena.

$$h = \frac{\lambda_{media}}{4}$$
$$h = \frac{0.775}{4} = 0.194m$$

11) Se calcula la impedancia característica promedio de la antena/

$$Z_{a} = 120 \left[\ln \left(\frac{h}{a} \right) - 2,5 \right]$$
Siendo a = radio de los dipolos.

$$Z_{a} = 120 \left[\ln \left(\frac{0.194}{0.005} \right) - 2.5 \right]$$

$$Z_{a} = 168,79$$

12) $\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}$
 $\sigma' = \frac{0.174}{\sqrt{0.93}}$
13) $X = \frac{\dot{R_{0}}}{\sigma' Z_{a} 8}$
 $X = \frac{50}{8(0.18)(168,79)} = 0,205$

14) Buscar la impedancia característica del alimentador de los dipolos/

$$Z_{0} = (X + \sqrt{X^{2} + 1})R_{0}'$$
$$Z_{0} = (0.25 + \sqrt{(0.25)^{2} + 1})50$$
$$Z_{0} = 61.3$$

15) Calcular la resistencia media.

$$R_0 = Z_0 \left\{ 1 + \left[\frac{Z_0}{Z_a} \right] \left[\frac{\tau}{4\sigma} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{0} = 61.3 \left\{ 1 + \left[\frac{61.3}{168,79} \right] \left[\frac{0,93}{4x0,174} \right] \right\}^{\frac{1}{5}}$$

$$R_{0} = 74.71$$

$$16) \quad \left| K_{prom} \right| = \frac{R_{0} - R_{0}'}{R_{0} + R_{0}'}$$

$$\left| K_{prom} \right| = \frac{74,71 - 50}{74,71 + 50}$$

$$|K_{prom}| = 0,198$$

17) Hallar la razón de onda estacionaria

$$ROE_{prom} = \frac{1+|K|}{1-|K|}$$
$$ROE_{prom} = \frac{1+0,198}{1-0,198}$$
$$ROE_{prom} = 1,49$$

18) Calcular la separación centro a centro del alimentador de los dipolos.

 $b = D. \cosh \frac{Z_0}{120}$ Donde D=Diámetro del alimentador de los dipolos D=20x10⁻³ m $b = 20x10^{-3} m \cosh\left(\frac{61,3}{120}\right)$ b = 0,02266

19) Para buscar el valor de S tenemos que tener en cuenta el valor de h/a y de Z_0

$$Z_0 = 61,3$$
 h/a = 38,7

Para buscar los valores de S con relación h/a y de Z_0 ver anexo 1.3

S=0.98

20) De acuerdo a esto encontramos el valor del dipolo.

$$l_1 = S \frac{\lambda_{\max}}{2}$$
$$l_1 = 0.98 \frac{1}{2} = 0.49$$

21) Se halla la longitud del los monopolos.

$$h_1 = S \frac{\lambda_{\max}}{4}$$

$$h_{1} = 0.98 \frac{1}{4} = 0.245$$

$$h_{2} = \tau \cdot h_{1}$$

$$h_{2} = 0.93 \times 0.245 = 0.2279$$

$$h_{3} = \tau \cdot h_{2}$$

$$h_{3} = 0.93 \times 0.2279 = 0.2119$$

$$h_{4} = \tau \cdot h_{3}$$

$$h_{4} = 0.93 \times 0.2119 = 0.1971$$

$$h_{5} = \tau \cdot h_{4}$$

$$h_{5} = 0.93 \times 0.1971 = 0.1833$$

$$h_{6} = \tau \cdot h_{5}$$

$$h_{6} = 0.93 \times 0.1833 = 0.1704$$

$$h_{7} = \tau \cdot h_{6}$$

$$h_{7} = 0.93 \times 0.1704 = 0.1585$$

$$h_{8} = \tau \cdot h_{7}$$

$$h_{8} = 0.93 \times 0.1585 = 0.1474$$

$$h_{9} = \tau \cdot h_{8}$$

$$h_{9} = 0.93 \times 0.1371 = 0.1275$$

$$h_{10} = \tau \cdot h_{9}$$

$$h_{10} = 0.93 \times 0.1275 = 0.1186$$

$$h_{12} = \tau \cdot h_{11}$$

 $h_{12} = 0,93x0,1186 = 0,1103$ $h_{13} = \tau . h_{12}$ $h_{13} = 0,93x0,1103 = 0,1026$

22) para las separaciones entre los dipolos utilizamos las siguientes formulas

$$d_{1} = 4\sigma. h_{1}$$

$$d_{1} = 4x0,174x0,245 = 0,1705$$

$$d_{2} = 4\sigma. h_{2}$$

$$d_{2} = 4x0,174x0,2279 = 0,1586$$

$$d_{3} = 4\sigma. h_{3}$$

$$d_{3} = 4x0,174x0,0,2119 = 0,1475$$

$$d_{4} = 4\sigma. h_{4}$$

$$d_{4} = 4x0,174x0,1971 = 0.1372$$

$$d_{5} = 4\sigma. h_{5}$$

$$d_{5} = 4x0,174x0,1833 = 0,1276$$

$$d_{6} = 4\sigma. h_{6}$$

$$d_{6} = 4x0,174x0,1704 = 0,1186$$

$$d_{7} = 4\sigma. h_{7}$$

$$d_{7} = 4x0,174x0,1585 = 0,1103$$

$$d_{8} = 4\sigma. h_{8}$$

$$d_{8} = 4x0,174x0,1474 = 0,1026$$

$$d_{9} = 4\sigma. h_{9}$$

$$d_{9} = 4x0,174x0,1371 = 0,0954$$

$$d_{10} = 4\sigma. h_{10}$$

$$d_{10} = 4x0,174x0,1275 = 0,0887$$

$$d_{11} = 4\sigma. h_{11}$$

$$d_{11} = 4x0,174x0,1186 = 0,0825$$

$$d_{12} = 4\sigma. h_{12}$$

$$d_{12} = 4x0,174x0,1103 = 0,0768$$

Capítulo II: Diseño y Simulación.

2.4 Diseño a través de una hoja de cálculos en Excel.

Utilizando la aplicación Microsoft Office Excel de la versión del 2003, se preparó una hoja donde se realizaron los cálculos preliminares de la antena log-periódica de dipolo En esta hoja de cálculo podemos apreciar diferentes cualidades de las antenas de acuerdo a los recursos que tengamos para su diseño, podemos obtener varias longitudes de antenas, diferentes rangos de ganancia obtenidos de acuerdo a una tabla con valores de ganancias ya optimizados por R. Carrel en 1961 en la Universidad de Illinois, Estados Unidos, en la cual aparecen valores de σ y λ para ganancias de 6.5; 7; 7.5; 8; 8.5; 9; 9.5; 10; 10.5 y 11. Se procede a introducir los valores de la impedancia de entrada de la antena, se colocan los valores de la frecuencia máxima y frecuencia mínima, luego el valor del radio y el diámetro de los dipolos.

A partir de estos datos iniciales esta hoja hace cálculos donde se puede observar la variación en los parámetros de las diferentes antenas calculadas, como es la variación en grados, ancho de banda de la región activa, ancho de banda de operación, longitud máxima de la antena, número de elementos de la antenas, ROE promedio, impedancia característica del alimentador de los dipolos y demás parámetros incluyendo al final la ¿longitud? (o el brazo definir bien esto) de cada dipolo.

Luego se elaboró otra hoja de cálculo en la misma versión de Microsoft Excel la cual luego de introducir los datos dará las coordenadas, diámetro y espaciamientos de estas antenas para imprimir e introducirlos en el programa MMANA.

Una vez comprobado los resultados, se utiliza una segunda hoja de cálculo llamada **Coordenadas XYZ** a partir de la hoja de cálculo para obtener los valores de las coordenadas de cada punto de la antena que se muestra en la tabla 2.2.

						_											
4	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
1	sigma	0.174		L=	1.475		D=	10									
2	b=	0.0227		a=	0.005												
3	U=	0.02		V=	0.02												
4	-																
5		x1	y1	z1	x2	y2	z2	R(mm)			x1	y1	z1	x2	y2	z2	R(mm)
6	1	0.0200	0	0.0227	0.0200	0.2450	0.0227	5		2	0.0200	0	0.0227	0.1905	0	0.0227	10
7	3	0.1905	0	0.0227	0.1905	0.2279	0.0227	5		4	0.1905	0	0.0227	0.3491	0	0.0227	10
8	5	0.3491	0	0.0227	0.3491	0.2119	0.0227	5		6	0.3491	0	0.0227	0.4966	0	0.0227	10
9	7	0.4966	0	0.0227	0.4966	0.1971	0.0227	5		8	0.4966	0	0.0227	0.6337	0	0.0227	10
10	9	0.6337	0	0.0227	0.6337	0.1833	0.0227	5		10	0.6337	0	0.0227	0.7613	0	0.0227	10
11	11	0.7613	0	0.0227	0.7613	0.1704	0.0227	5		12	0.7613	0	0.0227	0.8799	0	0.0227	10
12	13	0.8799	0	0.0227	0.8799	0.1585	0.0227	5		14	0.8799	0	0.0227	0.9903	0	0.0227	10
13	15	0.9903	0	0.0227	0.9903	0.1474	0.0227	5		16	0.9903	0	0.0227	1.0929	0	0.0227	10
14	17	1.0929	0	0.0227	1.0929	0.1371	0.0227	5		18	1.0929	0	0.0227	1.1883	0	0.0227	10
15	19	1.1883	0	0.0227	1.1883	0.1275	0.0227	5		20	1.1883	0	0.0227	1.2770	0	0.0227	10
16	21	1.2770	0	0.0227	1.2770	0.1186	0.0227	5		22	1.2770	0	0.0227	1.3595	0	0.0227	10
17	23	1.3595	0	0.0227	1.3595	0.1103	0.0227	5		24	1.3595	0	0.0227	1.4363	0	0.0227	10
18	25	1 / 262	0	0.0227	1.1262	0 1026	0 0227	5		26	1 1363	n	0 0227	1 5077	0	0.0227	10
4 4	P PI	Datos /	Ante	na B-F-J 🏑	Ante-Al	I-AJ A	Intena 1	3-75-te	si-Al	M / A	ntena 🛛	(Ш

Tabla 2.2

En las filas del 1 al 3 y columnas U, X y AA, se referencian los valores correspondientes a la antena seleccionada en la hoja de cálculo llamada **Datos**. Una vez hecho esto, referenciamos la columna Z fila 6 (coloreada de amarillo) correspondiente a los largos de los brazos de los dipolos. La columna AH desde la fila 6 (de color azul) se calcula el espaciamiento entre los dipolos. Para un mejor funcionamiento decidimos dividir las coordenadas en números pares e impares (marcada en color verde).

De esta manera se obtienen todos los demás resultados y estos valores se introducen en el programa utilitario MMANA para realizar la simulación de la antena LPDV.

2.5 Resultados de la simulación. Antena LPDV

Dentro de los parámetros más importantes de diseño de las antenas tenemos:

- Impedancia de entrada
- Razón de onda estacionaria
- Ganancia

- Razón "Front to back"
- Patrón de radiación

2.6 Análisis de los resultados de la impedancia.

Al concluir esta investigación las mejores características de impedancia que se obtuvieron en las corridas de frecuencias con el software MMANA para una antena LPD en la banda de 300 a 500 MHz fue la antena de trece elementos con cable coaxial de 50 ohm, diámetro en los dipolos de cuatro a diez milímetros, siendo el diámetro del alimentador de los dipolos de 20 mm.

En las siguientes tablas (tabla 2.3 y 2.4) se observan los datos obtenidos por el programa MMANA, donde los mejores resultados se tienen para dipolos de 10 mm y se encuentran marcados con color rojo.

Tabla 2.3. Comparación de las impedancias de entrada con diámetro de 4mm en la LPD y la LPDV con diferentes ángulos, en las corridas de frecuencias de 300 – 500 MHz.

		R(ohm) 4n	nm			jX(ohm) 4mm				
	300	350	400	450	500		300	350	400	450	500
LPD	97.02	97.61	84.30	93.27	92.39	LPD	1.22	10.08	-8.32	15.26	-11.21
LPDV30	81.33	72.38	99.64	76.39	85.20	LPDV30	70.95	-4.91	-11.67	-23.73	-12.28
LPDV45	126.40	91.66	94.70	82.63	78.22	LPDV45	-5.84	18.77	3.10	-16.06	-9.09
LPDV50	81.94	86.29	71.69	67.42	23.32	LPDV50	-5.43	-11.10	8.08	-15.99	3.39
LPDV60	88.34	84.43	79.96	92.64	27.93	LPDV60	-3.17	4.69	-10.73	10.37	-10.77
LPDV70	98.24	94.35	86.31	86.03	87.36	LPDV70	-1.87	7.48	-10.91	13.64	-10.83

Tabla 2.4. Comparación de la impedancia de entrada de las antenas LPD y la LPDV de diferentes ángulos con diámetro de los dipolos 10 mm en la banda de frecuencias de 300 – 500 MHz

	R(ohm) 10mm						jX(ohm) 10mm				
	300	350	400	450	500		300	350	400	450	500
LPD	87.40	92.58	65.34	88.90	57.98	LPD	0.28	0.76	2.75	0.70	-23.42
LPDV30	125.10	85.81	73.87	56.24	63.20	LPDV30	-58.28	-5.97	-19.35	-7.84	-12.66
LPDV45	87.56	82.74	74.09	71.67	66.46	LPDV45	-16.49	-4.07	-14.49	6.17	-18.13
LPDV50	86.62	85.44	71.74	76.62	66.23	LPDV50	-12.68	-2.39	-14.59	7.83	-18.46
LPDV60	85.18	89.28	67.80	85.77	65.91	LPDV60	-6.65	-0.64	-10.73	4.67	-21.86
LPDV70	85.7	91.07	65.28	88.31	61.58	LPDV70	-2.7	-1.03	-5.155	0.114	-24.62

En la LPDV se puede observar que para este mismo cable coaxial de 50 ohm y el mismo diámetro de los dipolos (10mm) la impedancia de entrada mejora en la parte real, pero no es significativa en la parte imaginaria, esto indica que las características no son buenas en esta antena.(Ver la tabla 2.4).

Al revisar con atención la impedancia de entrada de una de las antenas LPDV-45 se observó que la parte real está cerca de 75 ohm (tabla 2.4), por lo cual fue simulada con el software MMANA con alimentador de la antena de línea coaxial de 50 y 75 ohm respectivamente, y en las tablas 2.5 y 2.6 se pueden ver las principales características de dicha antena.

Tabla 2.5. Antena Log-Periódica de dipolo en V con ángulo de inclinación de los dipolos de 45 grados y alimentador de 50 ohm.

No.	F (MHz)	R (Ohm)	jX (Ohm)	ROE 50	Gh dBd	Ga dBi	F/B dB	Elev.	Tierra	Add H.	Polar.
13	400.0	74.09	-14.48	1.58	6.17	8.32	25.61	622	Libre	1222	hor.
12	500.0	66.48	-18.12	1.52	5.66	7.81	23.46	022	Libre	1222	hor.
11	450.0	71.64	6.152	1.45	5.58	7.73	22.95		Libre	3775	hor.
10	350.0	82.76	-4.085	1.66	5.92	8.07	25.94	2775	Libre	1	hor.
9	300.0	87.57	-16.49	1.84	5.29	7.44	16.67	3000	Libre	s 	hor.

Tabla 2.6. Antena Log-Periódica de dipolo en V con ángulo de inclinación de los dipolos de 45 grados y alimentador de 75 ohm

No.	F (MHz)	R (Ohm)	jX (Ohm)	ROE 75	Gh dBd	Ga dBi	F/B dB	Elev.	Tierra	Add H.	Polar.
13	400.0	74.09	-14.48	1.21	6.17	8.32	25.61	012	Libre		hor.
12	500.0	66.48	-18.12	1.33	5.66	7.81	23.46	075	Libre	3220	hor.
11	450.0	71.64	6.152	1.1	5.58	7.73	22.95	2775	Libre	1	hor.
10	350.0	82.76	-4.085	1.12	5.92	8.07	25.94		Libre	1	hor.
9	300.0	87.57	-16.49	1.29	5.29	7.44	16.67		Libre	(hor.

Después de realizar los cálculos y generar los gráficos correspondientes con 75 ohm las

Capítulo II: Diseño y Simulación.

características mejoran pero no son relevantes hasta el momento (Anexo 2.1 y 2.2).

2.7.2 Análisis de los resultados del comportamiento de la ROE

En el comportamiento de la razón de onda estacionaria de estas antenas podemos apreciar en la tabla 2.6, que esta promediándose en el rango de 1,52 a 1,75 con los dipolos de 10 mm, pero si se observa en las antenas que tienen los dipolos de 4 mm, la ROE, en algunos casos de la corrida de frecuencia sube un poco más de 2, ahora bien, al observar las tablas 2.5 y 2.6 generadas por el programa MMANA, se observa que, con un cable coaxial de 75 Ohm, la ROE está cerca de 1,2 desde la frecuencia de 325 – 470 MHz.

	ROE (50) 4mm						ROE (50) 10mm				
	300	350	400	450	500		300	350	400	450	500
LPD	1.94	1.98	1.71	1.93	1.89	LPD	1.75	1.85	1.31	1.78	1.58
LPDV30	3.16	1.46	2.03	1.76	1.76	LPDV30	3.13	1.73	1.65	1.21	1.38
LPDV45	2.53	1.94	1.90	1.75	1.60	LPDV45	1.84	1.66	1.58	1.45	1.52
LPDV50	1.65	1.77	1.47	1.50	2.16	LPDV50	1.79	1.71	1.54	1.56	1.53
LPDV60	2.03	1.86	1.80	1.64	1.73	LPDV60	1.72	1.79	1.43	1.72	1.59
LPDV70	1.97	1.90	1.77	1.78	1.79	LPDV70	1.72	1.82	1.32	1.77	1.63

Tabla 2.7. Razón de onda estacionaria con dipolos de 4 y 10mm.

.2.8. Análisis de los Resultados de la Ganancia.

De acuerdo a los fundamentos teóricos anteriormente expuestos y aplicando estos en la estructura de nuestra antena LPD se pudo comprobar que posee mayor ganancia que la LPDV.

En la variación de los ángulos se nota claramente que mientras mayor sea su valor más se acercan sus ganancias a la de la LPD (Ver la tabla 2.7).

		Gh	dBd 10m	m			Ga dBi 10mm				
	300	350	400	450	500		300	350	400	450	500
LPD	8.55	8.50	8.05	8.17	7.47	LPD	10.70	10.65	10.20	10.32	9.62
LPDV30	1.95	3.88	4.06	4.01	3.58	LPDV30	4.10	6.03	6.21	6.16	5.73
LPDV45	5.29	5.92	6.17	5.58	5.66	LPDV45	7.44	8.07	8.32	7.73	7.81
LPDV50	6.04	6.40	6.55	5.95	6.09	LPDV50	8.19	8.55	8.70	8.10	8.24
LPDV60	7.10	7.15	7.10	6.68	6.76	LPDV60	9.05	9.08	8.34	8.78	7.65
LPDV70	7.78	7.70	7.47	7.30	7.08	LPDV70	9.93	9.85	9.62	9.45	9.23

Tabla #2.8 Tabla de los resultados de las ganancias de todas las antenas en lasfrecuencia de 300 – 500 MHz, con dipolos de 10mm de diámetro.

En varias de las modificaciones hechas para un mismo ángulo de los dipolos se pudo comprobar que cambiando la línea de transmisión de 50 para 75 Ohm la ganancia es idéntica, tal como se vio en las tablas 2.5 y 2.6 generadas por los cálculos del programa MMANA y se obtuvo un mejor resultado en la corrida de frecuencia para 75 Ohm de la antena LPDV en 45 grados, mostrado en el gráfico de ganancia generado por el mismo programa (Ver el anexo 2.3).

2.9 Comportamiento de la relación front to back (f/b)

Al realizar una corrida de frecuencia de 300 a 500MHz se pudo constatar que la antena LPD mantiene un mayor F/B con relación a las antenas LPDV que se llevaron hasta 70 grados, además se pudo comprobar que al darle mayor inclinación en el ángulo de los dipolos, el resultado de F/B tiene una mejor efectividad lo que se puede apreciar en la tabla 2.9.

Tabla #2. 9. Tabla correspondiente a la relación Front to Back (F/B) de todas las antenas en la banda de frecuencias de 300 – 500 MHz, con dipolos de 10mm de diámetro.

	F/B dB 10mm									
	300	350	400	450	500					
LPD	23.24	27.93	25.07	27.72	20.70					
LPDV30	7.32	18.71	18.52	19.90	17.32					
LPDV45	16.67	25.94	25.61	22.96	23.47					
LPDV50	18.96	26.90	25.77	23.60	22.90					
LPDV60	21.23	27.15	25.23	22.45	25.56					
LPDV70	22.28	27.72	25.23	26.57	21.65					

Las antenas seleccionadas para su construcción fueron diseñadas con cable coaxial de 50 Ohm. Al simular la antenas LPDV de 45 grados con el software MMANA, la relación Front to back (F/B), se mantiene idéntica (podemos corroborarlo observando las tablas 2.5 y 2.6).

2.9 Patrón de radiación

Esa distribución espacial de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico o de la densidad de potencia con los ángulos de azimut y polar es el patrón de radiación de la antena. En antenas receptoras la distribución incluye una región de alta concentración (ganancia) para iluminar un objetivo. Las radiaciones fuera de la dirección del haz principal deben ser severamente restringidas para evitar interferencias con otros sistemas o recibir interferencias desde otros. El nivel de los lóbulos laterales constituye el parámetro más delicado del diseño de antenas, otros parámetros de interés de la antena, son la polarización y profundidad de los nulos.

El patrón de radiación de antena, el cual típicamente comprende un haz principal y una estructura de lóbulos laterales, es comúnmente representado como un trazo en dos dimensiones.

El ancho de haz marca su importancia en la medida de qué tan exacto debe apuntarse la antena y qué tan rápidamente la antena rechaza las señales fuera de la región deseada. El ancho angular del haz principal del patrón de radiación de la antena, es caracterizado por el ancho del haz entre los puntos de media potencia (HPBW), que se define como el ancho angular total entre los dos puntos que están 3dB por debajo del pico del haz principal.

El patrón de radiación de la antena LPDV con 45 grados que se presenta en el anexo 2.5, puede mostrar la directividad de esta.

2.11 Conclusiones parciales

Los resultados obtenidos en este trabajo en cuanto a la impedancia de las LPD comparadas con las LPDV son los siguientes: las mejores características que se obtuvieron en la banda de frecuencias de 300 a 500 MHz fueronl las de la antena de trece elementos con cable coaxial de 50 Ohm, diámetro en los dipolos de cuatro a diez milímetros, siendo el diámetro del alimentador de los dipolos de 20 mm. Al revisar con atención la impedancia de entrada de la antena LPDV-45 se observó que la parte real está cerca de 75 ohm (Ver tabla 2.6), siendo esta la de mejores resultados.

En cuanto a la razón de onda estacionaria (ROE), el comportamiento de estas antenas, que se aprecia en la tabla 2.9, toma valores promedios de 1,52 a 1,75 con los dipolos de 10mm, pero en las antenas que tienen los dipolos de 4 mm, en algunos casos de la corrida de frecuencia, sube un poco más de 2. Al observar las tablas 2.7 y 2.8 generadas por el programa MMANA se observará que, con un cable coaxial de 750hm, las ROE están cerca de 1,2 en casi toda la banda de frecuencias de 325 a 470 MHz.

Sobre el comportamiento de la ganancia de acuerdo a los fundamentos teóricos anteriormente expuestos y aplicados en la estructura de nuestra antena LPD, se pudo comprobar que éstas poseen mayor ganancia que la LPDV y en la variación de los ángulos entre brazos de los dipolos se nota claramente que mientras mayor sean éstos más se acerca la ganancia a la de la LPD (Ver la tabla 2.8). En varias de las modificaciones hechas para un mismo ángulo entre los dipolos se pudo comprobar que cambiando la línea de transmisión de 50 a 75 Ohm la ganancia es idéntica, tal como se vio en las tablas 2.5 y 2.6 y se obtuvo un mejor resultado en la corrida de frecuencia para

Capítulo II: Diseño y Simulación.

un alimentador de 75 Ohm para la antena LPDV de 45 grados, mostrado en el gráfico de ganancia generado por el mismo programa (anexo 2.3).

En cuanto al comportamiento de la razón Front to Back (F/B), el estudio realizado con cable coaxial de 50 Ohm en la antenas LPDV de 45 grados, la relación Front to back (F/B), se mantiene idéntica (se puede comprobar observando las tablas 2.5 y 2.6).

En el patrón de radiación de nuestra antena LPDV de 45 grados, que se presenta en el anexo 2.4, se puede apreciar la directividad de esta.

Por todo lo antes expuesto se concluye que la antena LPDV de 45 grados fue la que presentó mejores resultados y por tanto será la que se implementará.

Capitulo III. Validación de los resultados mediante mediciones experimentales.

Introducción.

En el presente capítulo se realiza la comparación de los resultados teóricos, por simulación del paquete utilitario MMANA, y de las mediciones experimentales de antenas LPD y LPDV,

El propósito es validar los diseños elegidos.

3.1 Análisis de los resultados experimentales de las antenas Log-Periódica en V

En esta tesis se introduce el diseño como una posible alternativa para retomar el uso de las antenas Log-periódica en V y abordar este tema mostrando resultados numéricos de la simulación y experimentales que lo confirman.

Los valores que se muestran de la ROE como resultado de las mediciones son calculados a partir de los valores medidos de las pérdidas de retorno que como se sabe son expresadas por:

Perdidas de Retorno = 20 log K, donde K es el módulo del coeficiente de reflexión.

Despejando K = $10^{(\text{Perd Ret/20})}$, por lo que ROE = (1 + K)/(1 - K)

En la Tabla 3.1 se muestra una comparación de los valores de la ROE calculada por la simulación y los valores de ROE medidos a diferentes frecuencias para la antena LPD.

Frec (MHz)	Perdida de retorno	ROE medida	ROE Calcul
373	7.14 (dBm)	2.22	1.78
400	-5.95 (dBm)	3.03	1.31
472	-13.66 (dBm)	1.52	1.77

Tabla	3.1
-------	-----

En la Tabla 3.2 se muestra una comparación de los valores de la ROE calculada por la simulación y los valores de ROE medidos a diferentes frecuencias para la antena LPDV.

Tabla 3.2

Frec (MHz)	Perdida de retorno	ROE medida	ROE Calcul
373.6	-8.26 (dBm)	2.26	1.69
400	-7.52 (dBm)	2.45	1.58
424	-18.79 (dBm)	1.26	1.26

En la tabla 3.3 se presenta la comparación de los valores normalizados del patrón de radiación de la antena LPD obtenidos por la simulación del software utilitario MMANA y por mediciones experimentales.

Tabla	3.3
-------	-----

Antena LPD	Simulación	Medido
Ángulo en grados	Valor normalizado	Valor normalizado
0	1	1
15	0.81	0.5
30	0.44	0.158
45	0.13	0.063
60	0.015	0.02
75	0.0003	0.005
90	0	0.004
105	0.0002	0.002
120	0.0004	0.0032
135	0.0012	0.005
150	0.001	0.02
165	0.0012	0.01
180	0.0019	0.0025

0.0012	0.008
0.001	0.001
0.0012	0.0063
0.0004	0.01
0.0002	0.025
0	0.0063
0.0003	0.008
0.15	0.05
0.135	0.63
0.45	0.13
0.13	0.63
1	1
	0.0012 0.001 0.0012 0.0004 0.0002 0 0.0003 0.15 0.135 0.45 0.13 1

En la tabla 3.4 se presenta la comparación de los valores normalizados del patrón de radiación de la antena LPDV obtenidos por la simulación del software utilitario MMANA y por las mediciones experimentales.

Antena LPDV	Simulación	Medido
Ángulo en grados	Valor normalizado	Valor normalizado
0	1	1
15	0.85	0.5
30	0.52	0.2
45	0.2	0.63
60	0.042	0.0125
75	0.0063	0.01
90	0.00148	0.016
105	0.00018	0.032
120	0.0003	0.02
135	0.0006	0.016
150	0.00092	0.0063

Tabla 3.4

165	0.00087	0.005
180	0.00089	0.02
195	0.00081	0.02
210	0.00081	0.0025
225	0.00052	0.016
240	0.000026	0.004
255	0.00018	0.0063
270	0.0015	0.005
285	0.0062	0.01
300	0.043	0.32
315	0.2	0.25
330	0.52	0.1
345	0.87	0.63
360	1	1

En la figura 3.1 se muestran los patrones de radiación horizontal simulado (en rojo) y medido (en negro) para la antena LPD.





Figura 3.1

En la figura 3.2 se muestran los patrones de radiación horizontal simulado (en rojo) y medido (en negro) para la antena LPDV.



Figura 3.2

Conclusiones

1.- La antena LPDV no arrojó resultados relevantes, aunque hubo mejoras significativas con alimentadores coaxiales de 75 Ohm, pero no fue este el cable seleccionado para la antena seleccionada en el trabajo. Se observó también que a medida que se aumentaba el diámetro de los dipolos, las características de impedancia y radiación mejoraban, pero no se acercaban a las características optimas esperadas para este tipo de antenas.

2.- Al analizar por la simulación se muestra que los valores obtenidos de la razón de onda estacionaria (ROE) estaban en 1.2 en casi toda la banda de frecuencia (desde 325 hasta 470 MHz), por lo que no fue un resultado favorable para todas las bandas de frecuencia calculada.

3.- En el caso de la ganancia, la antena LPDV no presenta mejoras con respecto a la antena LPD, al contrario, hay una disminución de la ganancia de la LPDV por lo que tampoco tuvo resultados favorables.

Por todo lo antes expuesto se concluye que la antena LPDV no dio los resultados esperados con los parámetros establecidos para el objeto de este trabajo.

Recomendaciones

1.-Recomendamos continuar el estudio de esta antena con parámetros que no se tuvieron en cuenta en el objeto de nuestro estudio.

2.- Lograr ecuaciones empíricas de diseño similares a las de Carrel para la antena LPDV

Anexos

Anexo 1.1 Circuitos equivalentes de las antenas como transmisora (a) y receptoras (b).



Anexo1.2 Diagrama fasorial circular de Crank.



Anexo 1.3 Angulo sólido.



Anexo 1.4 Patrón de radiación que poseen la mayoría de las antenas directivas.





Anexo 1.5 Conjunto de dipolos mostrando las diferentes regiones de funcionamiento (a) Vista lateral y (b) vista superior..





Anexo 1.7 Gráfico de los valores de S contra Z₀.



Anexo 1.8 Diagramas fasoriales para la suma de campos producidos por cuatro elementos de la región activa.



Anexo 1.9 Diagrama de radiación resultante (a) Plano H y (b) Plano E.



Anexo1.10 (a) Conjunto uniforme de monopolos alimentados por una estructura de onda lenta y (b) Antena Log-periódica de zigzag doblado.





Anexo 1.11 Antena trapezoidal Log-periódica de alambre (foto: Collings Radio Co.)



Anexo 1.12 Conjunto Log-Periódico de dipolo en V.



Anexo 2.1 Gráfico de campo distante generado por el programa MMANA a partir de los datos de la antena LPDV-45 corrida con alimentador de línea de trasmisión de 75 ohm, frecuencia de 300 a 500 MHz.



Anexo 2.2 Parte real y parte imaginaria de la impedancia del alimentador de los dipolos para 75 ohm generado por el programa MMANA a partir de los datos de la antena LPDV-45 grados corrida con alimentador de línea de trasmisión de 50 y 75 ohm.





Anexo2.3 Ganancia FB de la antena LPDV en 45 grados de lacorrida de frecuencia para 75 ohm.

Anexo 2.4 Patrón de radiación de la antena LPDV en 45 grados donde se puede apreciar su directividad.





Anexo 2.5 Gráfico de las pérdidas de retorno medidas de la LPD



Anexo 2.6 Gráfico de las pérdidas de retorno medidas de la LPDV





Referencia Bibliográfica

- ¹ DuHamel, R.H & Isbell, D. E., (1957). Broadband Logarithmically Periodic Antena Structure. Cap. I. (pp. 119-128). EUA: Nat'l Convention Record.
- ² Jordan, E. C.; Balmin; K. G. (1978). Ondas Electromagnéticas y sistemas radiantes. Cap. 15. (p. 691). Madrid: Paraninfo.

³ Jiménez Hernández R. Fundamentos de la Ingeniería Electromagnética. Tomo II. Cap 11 Pag. 140. Edit Samuel Feijoo Universidad Central de Las Villas. 2011

⁴ Jiménez Hernández R. Fundamentos de la Ingeniería Electromagnética. Tomo II. Cap 11 Pag. 140. Edit Samuel Feijoo Universidad Central de Las Villas. 2011

⁵ Jiménez Hernández R. Fundamentos de la Ingeniería Electromagnética. Tomo 1. Cap 7 Pag. 65. Edit Samuel Feijoo Universidad Central de Las Villas. 2011

- ⁶ Jordan, E. C.; Balmin; K. G. (1978). Ondas Electromagnéticas y sistemas radiantes. Cap. 15. (pp. 692-693). Madrid: Paraninfo.
- ⁷ Mayes, P. E., Deschampa, G,A & Patton, W. T. (1961). Backward-wave Radiation l'rom Periodic Structures and Application to the design of Frequency-Independent Antennas. (p 962). *EEUU: Proc. IRE,49*, n.º 5.
- ⁸ Carrel, R. L. (1961). Analysis and Design of the Log-Periodic Dipole Antenna. EUA: An- lenna Laboratory Report, n.º 52. Universilv of Illinois (Contract AF33(616) - 6079).
- ⁹ Carrel, R. L. (1961). Analysis and Design of the Log-Periodic Dipole Antenna. EUA: An- lenna Laboratory Report, n.º 52. Universilv of Illinois (Contract AF33(616) - 6079).
- ¹⁰ Jordan, E. C.; Balmin; K. G. (1978). Ondas Electromagnéticas y sistemas radiantes. Cap. 15. (pp. 687-688). Madrid: Paraninfo.
- ¹¹ Jordan, E. C.; Balmin; K. G. (1978). Ondas Electromagnéticas y sistemas radiantes. Cap. 15. (p. 695). Madrid: Paraninfo.
- ¹² Jordan, E. C.; Balmin; K. G. (1978). Ondas Electromagnéticas y sistemas radiantes. Cap. 15. (p. 695). Madrid: Paraninfo.

¹³ Mayes, P. E. & Carrel, R. L. (1961). Log-Periodic Resonant-V Arrays, *IRE Wescon Conv. Rec.*