DISEÑOS Y TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE LA ANTENA ADM-010 PARA LA RECEPCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

DESIGNS AND TECHNOLOGIES FOR THE MANUFACTURE OF THE ANTENNA ADM-010 FOR THE RECEPTION OF TERRESTRIAL DIGITAL TELEVISION

Tuan Ernesto Cordoví Rodríguez[1], Maikel Pérez Suarez[2]

[1]Antenas VC, Cuba, Carretera Central No. 536-A Esquina a Tirso Díaz, Santa Clara, Villa Clara, Cuba
[2]Antenas VC, Cuba, Carretera Central No. 536-A Esquina a Tirso Díaz, Santa Clara, Villa Clara, Cuba
[1]tuan@antenasvc.co.cu
[2]maikel@ antenasvc.co.cu

RESUMEN

El siguiente trabajo trata sobre el diseño, fabricación, modificaciones y la situación actual para su comercialización de la Antena Log-Periódica de 7 elementos ADM-010 propuesta especialmente para su uso con cable coaxial de 75Ω la cual se eligió después de un breve estudio y consideraciones técnicas de acuerdo a la utilidad, competencia con antenas extranjeras y precios. Se han desarrollado diversos prototipos en conjunto con las diversas tecnologías para su fabricación. Se han fabricado producciones cero para pruebas y validaciones en algunas localidades dentro del territorio nacional que están comprendidas en las zonas con dificultades en la recepción de la TDT. Hasta el momento se han comercializado en algunas entidades estatales junto con el servicio de instalación de las mismas por parte de la Empresa de Antenas de Villa Clara. Como resultado final se deja descrito un grupo de consideraciones tecnológicas, criterios y exigencias de mercado para llevar a cabo la fabricación una antena con grandes prestaciones y destinada a cubrir la Banda III de VHF, del 7 al 13, y UHF del canal 14 al 52 principalmente para propósitos de recepción de Televisión Digital Terrestre (TDT).

PALABRAS CLAVES: Antena, Log-Periódica, ganancia, ROE, *boom*, varilla, conector

ABSTRACT

The following work deals with the design, manufacture, modifications and the current situation for its commercialization of the 7-element Log-Periodic Antenna ADM-010, proposed especially for its use with 75Ω coaxial cable which was chosen after a brief study and technical considerations according to utility, competition with foreign antennas and prices. Various prototypes have been developed in conjunction with the various technologies for their manufacture. Zero productions have been manufactured for tests and validations in some localities within the national territory that are included in the areas with difficulties in receiving DTT. Up to now, they have been commercialized in some state entities together with the service of installing them by the Antenna Company of Villa Clara. As a final result, a group of technological considerations, criteria and market requirements are described to carry out the manufacturing of an antenna with high performance and intended to cover VHF Band III, from 7 to 13, and UHF from channel 14 to 52 mainly for the purposes of receiving Digital Terrestrial Television (DTT).

KEY WORDS: Antenna, Log-Periodic, gain, ROE, boom, rod, connector

1. INTRODUCCIÓN

Las antenas para televisión (tanto como digital como analógica) para exteriores son muy populares en el mercado debido a su gran importancia en el sistema de recepción que beneficia la calidad de la imagen. En la práctica se ha demostrado que, principalmente en la TDT, que a pesar de la robustez de la señal, se puede deteriorar por agentes ruidosos de cualquier naturaleza que afectan la recepción.

Desde que se introdujo la TDT en Cuba las antenas las Antenas Log-Periódica han sido valoradas. En las plataformas de mercado de las tiendas recaudadoras de divisas, en la página WEB de LACETEL y en la red de redes en general se pueden apreciar distintos tipos de antenas e incluso con algunas modificaciones para mejorar sus rendimientos (Fig.1).

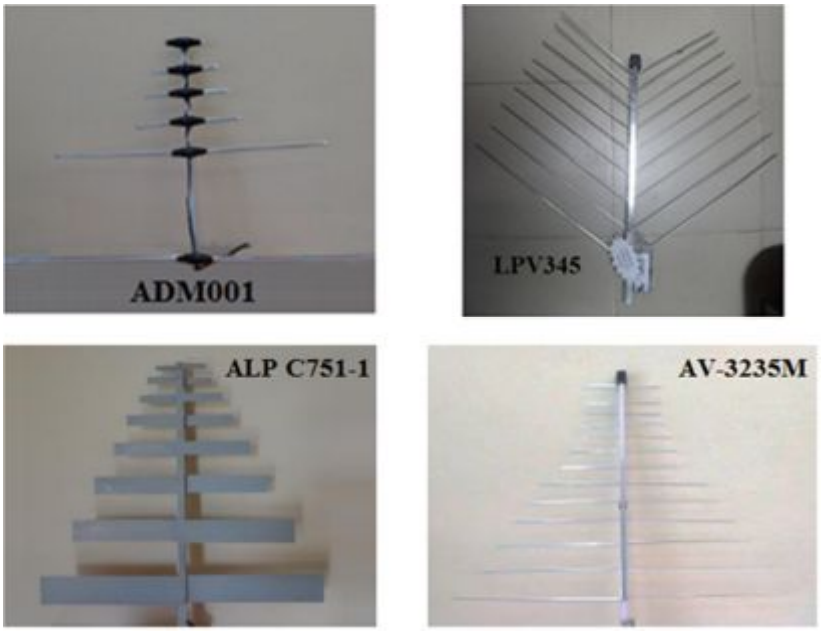


Figura 1: Algunos ejemplos típicos de antenas para la recepción de la TDT evaluadas por LACETEL

Teniendo en cuenta criterios de diseños y requisitos económicos se dio la tarea de realizar diversos tipos de antenas de este tipo con el objetivo de garantizar la recepción en el proceso de despliegue de la TDT en Cuba donde se destaca fundamentalmente la antena Log-Periódica ADM-010 como propuesta final emergente.

Antena Log-Periódica de Arreglo de Dipolos

La Antena Log-Periódica de Arreglo de Dipolos (LPDA) es una antena direccional que consiste en un conjunto de dipolos alimentados con una línea de trasmisión central con inversión de la fase entre estos, donde cada grupo de elementos resuena a una frecuencia distinta y en un rango determinado. La unión de todos los elementos resonantes a diferentes frecuencias en una disposición logarítmica, hace que se pueda conformar una antena con un ancho de banda seleccionado por el diseñador. Se compone de una sucesión de elementos dipolos semejantes, cuyas distancias mutuas y frecuencias de resonancia hacen que tome forma geométrica repetitiva, con tamaños diferentes [1][2]. La antena se alimenta con una línea de transmisión en el extremo del elemento más pequeño, mostrado en la Fig. 2.

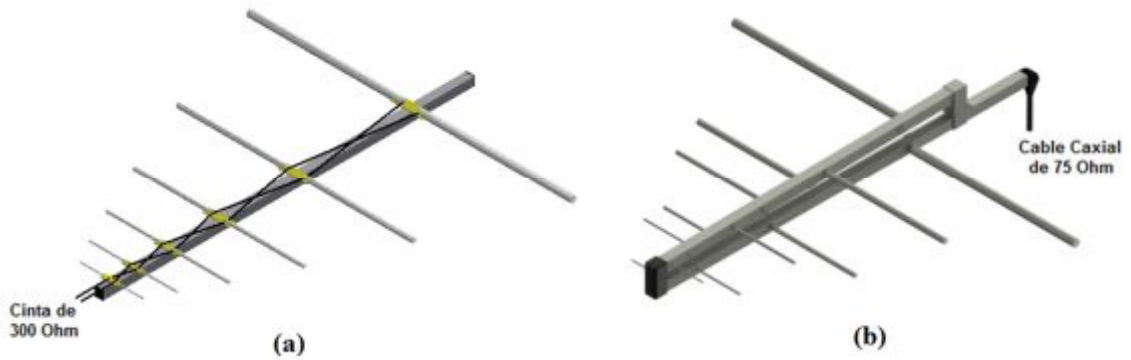


Figura 2: Métodos de alimentación de antenas LPDA, (a) con línea bifilar, (b) con cable coaxial

El valor de la impedancia de entrada depende en gran medida de la impedancia característica Z_0 de la línea de trasmisión que alimenta los dipolos. La alimentación de la antena se lleva a cabo por cinta bifilar de 300 Ω o cable coaxial de 75 Ω. Cada dipolo esta alimentado por una línea bifilar que se entrecruza, desfasándolos 180 grados, para garantizar la radiación "end fire" hacia los elementos más pequeños [3]. Pero en el caso de la Fig. 2 (b), los dipolos están soportados estructuralmente por su línea de alimentación que conforma el *boom* donde se encuentran ubicados de forma alternada para garantizar el desfasaje. Se logra mayor robustez mecánica en los dipolos al no estar sujetados sobre soportes plásticos con baja resistencia a los agentes medioambientales.

2. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA ANTENA ADM 010

La principal ventaja que poseen las antenas LPDA es su relativo gran ancho de banda (pueden mantener buen desempeño en todos los canales de TV) y como principal desventaja es que para lograr ganancia considerable deben ser extremadamente largas [2]. Limitantes como la anterior regulan su fabricación debido a que estas son fabricadas generalmente con elementos de aluminio que poseen de alto valor comercial que atenta con el precio final de la antena en general. Es por ello que se tomó la propuesta de una antena de 6 dBi como ganancia promedio y que cubran las bandas de VHF, canales del 7-14, y UHF del 14 al 52. En trabajos anteriores se expusieron antenas, bajo el mismo principio, pero de mayor ganancia donde el valor agregado por ficha de costo estaba muy elevado fuera de las posibilidades adquisitivas de la población.

La propuesta de este tipo de antena LPDA para 75Ω apareció debido a la incorporación del cable coaxial de 75Ω que se mantuvo en consideración por parte la Comisión de TV Digital como mejora para la recepción de la señal y que en la actualidad se comercializa en las tiendas recaudadoras de divisas.

Criterios de diseño y validaciones

En el diseño de las LPDA se tienen en cuenta los factores τ y σ que a su vez son las variables que regulan el diseño de la antena, la ganancia y el tamaño según la banda de frecuencia de trabajo [3]. A través del software LPCAD 34 se ajustan estas variables para lograr una antena más adecuada y luego se llevan los resultados al ambiente del software de alto nivel para el modelado y simulación de antenas *CST Microwave Studio* (CST-MS) para optimizar el diseño. En el software LPCAD 34 se realizan dos antenas básicas: del canal 7 al 13 y del canal 14 al 52 que luego se unen en CST-MS para lograr un solo tipo de antena bajo optimización mostrado en la Fig. 3. El modelado y simulación en CST MS dio como resultado una antena Log-Periódica de75 del canal 7-51 especialmente para la recepción de señales de TDT.

(a) (b)

Figura 3: Modelo de Antena LPDA de 5 elementos de 75 Ω para los canales del 7 al 52. (a) Modelo real y (b) modelo en CST MS

Como resultado del calculo y la simulación se obtuvo una antena que posee características de ROE por debajo de 2 en las Bandas de VHF Banda III (canal 7-13) y UHF (canal 14-52). Las demás bandas son rechazadas debido que la ROE se encuentra con valores muy superiores a 2. Utilizando MATLAB se compararon los valores de ROE simulados y los medidos en un primer prototipo con fijación de los elementos con insertos metálicos. La ROE medida se mantiene con valores aceptable en la banda de VHF y UHF para TDT. Según En a Fig. 4 se muestran los resultados de las simulaciones en comparación con las mediciones.

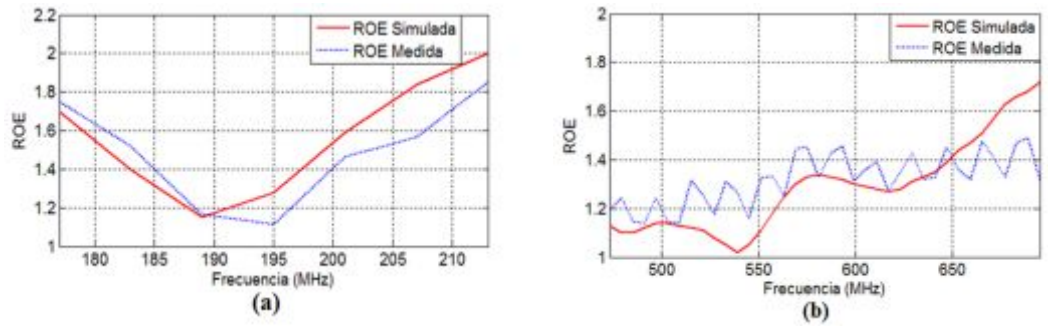


Figura 4: Comparación grafica entre la ROE medida y simulada de las antenas prototipos: (a) LPDA en VHF y (b) LPDA en UHF

Según en las mediciones de los parámetros radioeléctricos la antena LPDA propuesta, la ganancia de potencia posee como promedio 5.7 dBi en la banda de VHF y 7.2 dBi en la banda de UHF donde posee algunas fluctuaciones que pueden reducir a través de optimizaciones [4]. A modo de análisis y comparación con respecto a las simulaciones de las antenas propuestas se obtuvieron valores como resultado de las pruebas realizadas con los prototipos. En la Tabla 1 se muestran los resultados del comportamiento de los diferentes parámetros obtenidos.

Tabla 1: Comparación de las mediciones de ganancia y coeficiente de radiación trasera promedio con relación a los valores de las simulaciones realizadas

Antena bajo pruebas	Gan. Sim. (dBi)	Gan. Med. (dBi)	Variación de Gan. (dBi)	Error de Gan. (%)	F/B Sim. (dB)	F/B Med. (dB)	Variación de F/B (dB)	Error de F/B (%)
VHF (195MHz)	6.0	5.7	-0.3	5.0	13.6	13.1	-0.50	3.68
UHF (600MHz)	6.7	7.2	0.5	7.4	17.4	15.8	-1.60	9.20

Se considera que se trata de una antena con solo 4 elementos para el rango de UHF muy extenso donde quedan comprometidos diversos parámetros los cuales mejorarían si se colocaran mayores cantidades de elementos, pero comprometerían el precio final de la antena. Esta antena se encuentra en estado de validación en algunas viviendas e instituciones estatales en el territorio nacional con dificultades para la recepción de la TDT. En la provincia de Villa Clara garantiza la recepción de los canales 13 de definición estándar y 32 de alta definición. Las mediciones de ganancia fueron muy favorables porque no hubo variaciones en la ganancia de más de 1 dBi con la utilización del método de medición de ganancia por comparación [5].

Para la medición del patrón de radiación se tomó solo en consideración el correspondiente al plano horizontal. Estos valores fueron normalizados y colocados los ejes de coordenadas polares representados en la Fig. 5 junto al patrón de radiación de la antena ofrecido por la simulación.

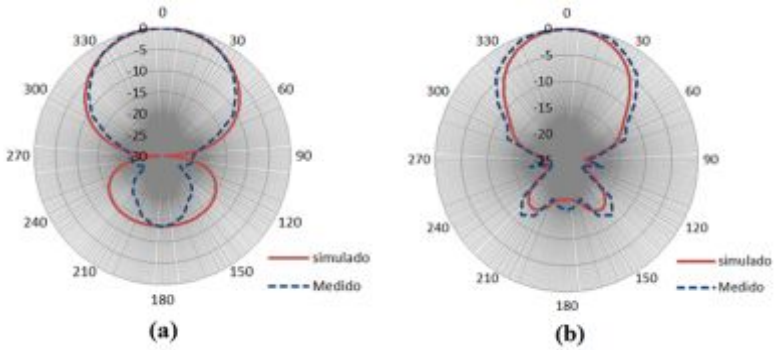


Figura 5: Comparación gráfica entre los Patrones de Radiación en el Plano Horizontal simulado y medido de la Antena LPDA: (a) en 195 MHz y (b) en 600 MHz

3. MODIFICACIONES ESTRUCTURALES

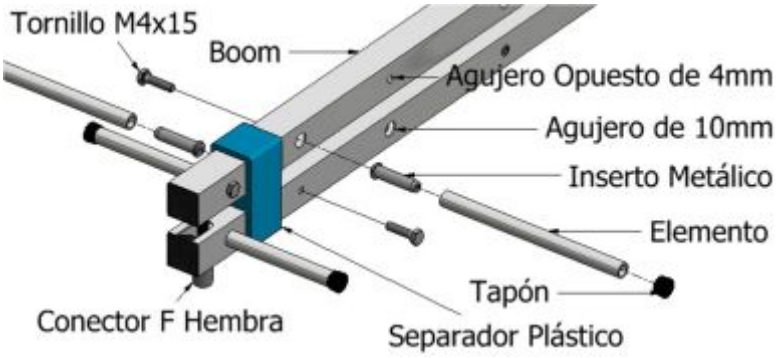
A raíz del primer diseño la antena ha sufrido diversas transformaciones en su estructura mecánica debido a la tecnología existente y productividad. Aun en los momentos actuales con una demanda urgente de las mismas existen pautas tecnológicas dificultan su producción. En su diseño radioeléctrico no ha sufrido transformaciones por lo que cada elemento, longitudes y separaciones se mantienen las de la antena original. Esta antena se realizó con el objetivo de eliminar los problemas de montaje de la antigua antena ADM 001 que generaba quejas y dificultades a los clientes. Por otro lado la adaptación al mercado nacional donde compiten antenas extranjeras como la antena italiana LPV 345HV con buenas características tanto radioeléctricas como mecánicas con buena resistencia al intemperie.

Primera propuesta

Como primera propuesta se realizó la separación de los dos perfiles de sujeción de dipolos o *booms* con chapas metálicas y plásticas cogidas con tornillos. Se utilizó el tubo de diámetro 8mm e insertos metálicos para la sujeción de las varillas al boom. Estos prototipos ya han sido validados por más de 2 años y todavía mantiene la recepción en los Set Top Box a los cuales se ha instalado. En la supervisión, cada 6 meses, solo se han oxidados los tornillos de fijación pero las varillas mantienen el contacto. Solamente los tapones plásticos se han deteriorado o caído y algunos conectores oxidados debido a que se ha deteriorado su cubierta protectora.

Propuesta actual con insertos metálicos

Actualmente se mantiene una propuesta similar la cual posee insertos metálicos para la sujeción de los dipolos, con cortocircuito de arandela de 10 mm de espesor en el extremo posterior y separador plástico insertado para mantener la separación de 10 mm entre *booms*. En este caso solo se cambió el tubo de 8 mm por el de 10 mm de diámetro dando posibilidad su utilización. Esta propuesta permite el empaquetado de la misma de manera pre-ensamblada con un manual a modo de información a los clientes que son los encargados de la colocación de los dipolos, el montaje en el mástil y finalmente la conexión del receptor digital a través del cable coaxial.



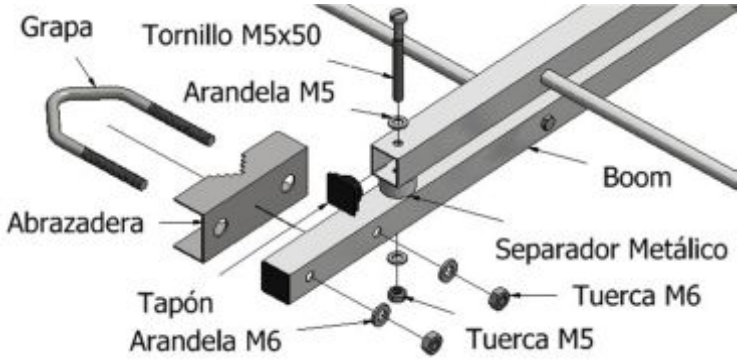


Figura 6: Modelo actual de Antena ADM 010 con insertos metálicos

Otras propuestas

Luego se verificaron otras propuestas y muchas de estas no fueron satisfactorias. Todas las posibles modificaciones han sido fundamentalmente para resolver el problema de la sujeción de las varillas al boom con la tecnología existente. Se han valorado las siguientes:

Punzonado con diámetro 10 mm: Solo se puede realizar para antenas completamente armadas y puede presentar abolladuras debido a la pérdida del filo del punzón que a su vez se pierde el ajuste de la varilla al insertarse en el *boom.*

Punzonado con diámetro 10 mm en una cara y 8 mm en la otra: Permite utilizar insertos metálico y el ensamble de los elementos dipolos de la antena por parte del cliente. La diferencia de diámetros trae consigo profunda abolladura en una cara del *boom* e incluso con el punzón bien afilado.

Variante del remache con rosca: Posee muchos procesos tecnológicos que dificultan el proceso productivo y requiere la colocación de un nuevo inserto metálico para varillas con otras características que pueden poseer dificultades tecnológicas. A esta variante se le da seguimiento y valoraciones para futuras producciones de Antenas Log-periódicas profesionales.

Sujeción de varillas con soldadura: Posee muchos procesos tecnológicos que dificultan el proceso productivo. También constituye una variante ideal para realizar prototipos de antenas de prueba o pequeñas cantidades para empresas que la soliciten. Hasta el momento solo se ha utilizado para la fabricación de pequeñas cantidades de antenas

Sujeción de varillas con remaches ciegos o *Cherry*: Posee muchos procesos tecnológicos que dificultan el proceso productivo. Es una variante ideal para realizar prototipos de antenas de prueba o pequeñas cantidades que la soliciten. Hasta el momento se ha tenido en consideración para la fabricación de 288 antenas.

Variante con porta elementos metálicos: Esta variante es la más económica y más productiva. Se encuentra todavía en estudio y esta siendo valorada. Esta pendiente a futuras modificaciones y validaciones. Se está trabajando en lograr mayor robustez eléctrica y mecánica.

Variantes de conexión del cable coaxial de 75Ω

La mayoría de las Antenas LPDA para TV se alimentan en el extremo frontal, es decir donde están los elementos o dipolos más cortos. Casi siempre se coloca el cable coaxial a través del interior del *boom* desde la parte trasera donde va sujetada al mástil hasta el extremo frontal donde se conecta el conductor exterior al *boom* inferior y el conductor externo al *boom* superior. Este tipo de conexión permite al cable coaxial insertado realizar la función de Balun junto con el *boom* porque se logra disminuir la corriente que circula por el conductor exterior del cable coaxial [2]. La antena ADM 010 posee la conexión en el extremo delantero a través de un conector F Hembra al cual va conectado el cable coaxial de 75Ω con un conector F macho para cable coaxial. El cable soportado a través de bridas plásticas recorre la cara inferior del *boom* inferior por fuera hasta el mástil donde hace su bajada. El cable coaxial más utilizado es el RG-6 de 75 Ω.

Esta antena no presenta Balun por lo que posee una pequeña distorsión en el patrón de radiación en el Plano Horizontal. Esta distorsión tiene poca influencia en el desempeño de la antena según las mediciones realizadas. La antena debe conectarse exclusivamente de esta forma debido a un problema mecánico. El perfil cuadrado 18x18 mm que se utiliza como *boom* posee paredes de 1mm de espesor una apertura interior de 16 mm. La varilla que se utiliza es la de 10 mm de diámetro. Con la variante de las varillas en el centro del *boom* sujeta a la pared interior solo posee un espacio de 3 mm entre la pared de la varilla y la pared interior del *boom*. Por otro lado la variante más utilizada y adecuada de sujetar la varilla es desplazada hacia la pared interior del *boom* donde hacen contacto. Las tolerancias son muy críticas en el perforado por lo que es muy difícil mantener los 6 mm entre la pared exterior del tubo de 10mm y la otra pared interior del *boom*. Aun así el cable coaxial es el RG-6 que posee aproximadamente 7 mm de diámetro y no se puede introducir por el boom porque no cabe entre las paredes. Las diferentes variantes de posiciones de las varillas se muestran en la Fig. 7.

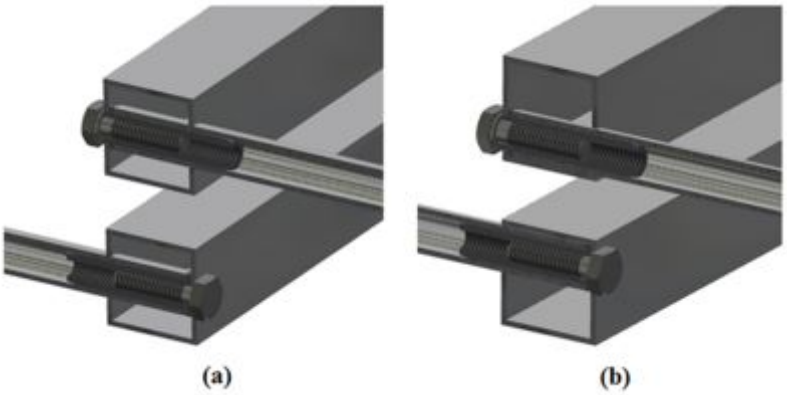


Figura 7: Variantes de posición de varillas en el interior del *boom*: (a) centrada y (b) desplazada

Elementos plásticos

Para lograr mantener la separación entre los *booms* se han valorados varios tipos de accesorios separadores en forma de tapas y cajas. Estas propuestas no fueron valoradas debido a la complejidad del molde de inyección de plástico, entre otros aspectos. La primera propuesta fue tomada al principio cuando no se tenía en cuenta el conector. El cable coaxial iba directamente conectado a los tornillos de la sujeción al primer par de brazos de dipolo del extremo delantero de la antena y posteriormente se colocaba las dos cajas separadoras idénticas la cual mantenía la separación del *boom* y protegía las conexiones del cable como se muestra en la Fig. 8.

Figura 8: Primera variante del separador sin conector en dos tapas idénticas

La propuesta anterior resultaba tentadora debido a que solo se necesitaba realizar una tapa para conformar la caja en el extremo pero usaba tornillos para poder fijarlas. Luego se valoró la idea de eliminar esos tornillos colocando una caja entera que diera la posibilidad de inserción a presión en el extremo delantero de la antena a través del primer par de brazos de dipolo como se muestra en la Fig. 9.

Figura 9: Segunda variante de caja separadora insertada a presión

Esta propuesta a pesar que permite la inserción del conector F hembra tampoco fue una buena opción debido a la complejidad del molde de inyección de plástico para el conformado y la exigencia con el material a usar que bebe ser flexible por lo cual no debe deformarse.

Al final se valoraron dos propuestas con separadores plásticos sencillos para su comercialización en grandes cantidades como la que se muestra en la Fig. 10. Y por último en las variantes con remache se elimina los tornillos pero trae consigo que la antena tiene que salir armada por lo que dificulta su empaquetado y demoras en el proceso productivo. Este tipo de separador es sencillo y se puede fabricar a través de un troquel.

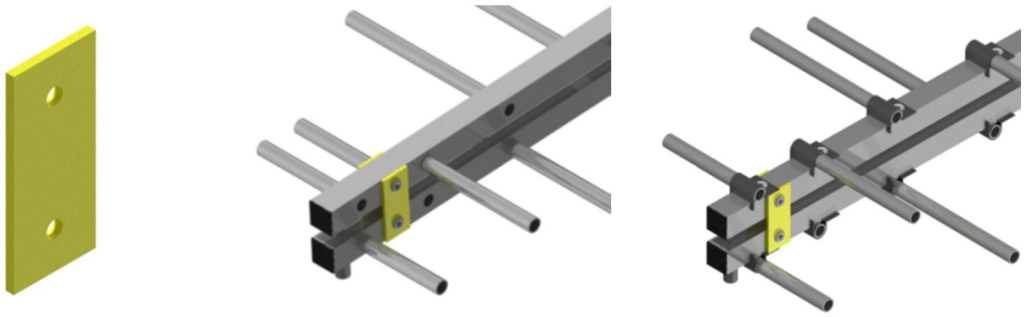


Figura 10: Última variante con separadores plásticos para las propuestas de las antenas con fijación de varillas insertadas, soldada o con porta elementos metálicos con remaches

Conectores para la alimentación de la antena

Los conectores originales a utilizar son los conectores F hembra con tuerca para panel. Estos poseen rosta en ambos extremos que permiten el roscado del conector del cable, la inserción y posterior sujeción con tuerca en el *boom* inferior de la antena como se muestra en la Fig. 11. También posee un tramo saliente del conductor interior que permite la soldadura un conductor para que haga contacto con la parte superior del boom a través de su pared interior fijado con el mismo atornillado del primer elemento. Este alambre está cubierto de un material aislante que no permite el contacto entre el boom inferior y el superior en ese extremo de la antena.

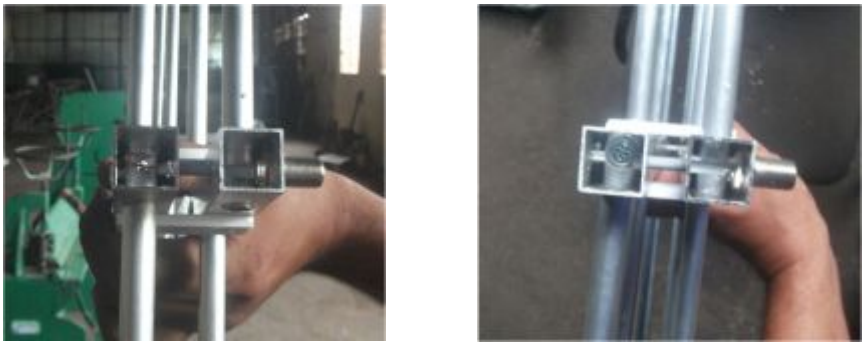


Figura 11: Colocación del conector F Hembra en el *boom* inferior

Luego se introdujo otro tipo de conector en la cual se tuvo que adaptar a la antena como solución emergente. Este conector es el conector F Hembra para *Patch Panel* que permite la fijación en un panel y posteriormente el roscado de conectores en ambos extremos. Este no permite la soldadura por lo que se debió colocar un alambre de diámetro específico que se pueda introducir en el conector para que haga contacto y posteriormente agregar silicona en la unión. En la Fig. 11 se puede observar la diferencia entre conectores y la forma en que se coloca el alambre.

Figura. 11: Diferencias entre conectores F hembra

El conector nuevo colocado en la antena puede poseer exposición a los agentes medioambientales que pueden entorpecer la correcta conexión de la antena. Por tanto se requirió la fabricación de varios prototipos para validar la conexión eléctrica de la antena en diferentes lugares debido a que estas pueden traer dificultades en el futuro cercano cuando se comercialicen. Es de gran importancia seguir el tema acerca de a conexión de la antena al cable coaxial de 75 Ω por razones de debilidad en el contacto eléctrico. El objetivo actual está en tratar de eliminar el conector para reducir el costo, buscar otra variante de conexión más apropiada siempre y cuando se pueda desplazar el cable coaxial RG-6 dentro del *boom*.

4. Comparaciones entre las últimas propuestas

En la actualidad existen tres variantes de fabricación de antenas multibandas la cuales están siendo valoradas y comercializadas. Las mismas son: la antena con fijación de los elementos a través de insertos metálicos, remaches y porta elementos metálicos. En la Fig. 6 y la Fig. 12 se muestran los tres modelos reales de las antenas multibandas que representan las últimas propuestas para validar.

(a) (b)

Figura 12: Últimas antenas ADM 010 propuestas bajo pruebas. (a) Antena con elementos remachados y (b) antena con elementos fijados con porta elementos metálicos

A continuación se muestran los resultados de las mediciones realizadas con el analizador de TDT S7000 en diferentes localidades del territorio dentro de la provincia de Villa Clara, tomando como referencia los transmisores de la TDT de mayor importancia ubicados en el Centro Transmisor de TV “Dos Hermanas”. En la Fig. 13 se muestran algunos ejemplos del escenario de las mediciones realizadas en el terreno.

(a)

(b)

Figura 13: Escenario para las mediciones de parámetros de calidad de la recepción de la TDT de las antenas ADM 010. (a) Cifuentes y (b) Sagua La Grande

A continuación se muestran los resultados de las mediciones de parámetros de calidad de la TDT en la Tabla 1 en el poblado de Cifuentes y en la Tabla 2 en Sagua La Grande. Se realizaron en esas localidades con el fin de analizar el comportamiento de las antenas a diferentes distancias del transmisor. Los parámetros señalados en rojo indican que existen problemas de recepción donde no se logra mantener una correcta recepción y se producen errores en la decodificación. Por lo tanto, bajo estas condiciones, es inútil la instalación de la antena en esas localidades. El objetivo fue mantener al menos los niveles a un margen permisible por encima de -70 dBm la potencia recibida y 20 dB la Razón de Error en La modulación (MER) considerado como el umbral de recepción señalado en el Analizador de TV en el cual se mantiene la Razón de Error de Bit con valores permisibles para que el receptor realice la decodificación correctamente.

En las mediciones también se toma como referencia la antena italiana LPV 345HV por su buena aceptación en la población cubana. La misma fue llevada a los lugares donde se efectuaron las mediciones para comparar su desempeño con los prototipos seleccionados.

Tabla 1: Mediciones de parámetros de calidad realizadas con las antenas multibandas ADM 010 prototipos en los poblados de Cifuentes, en la provincia de Villa Clara

	LPDA en el Canal 13			**LPDA en el Canal 32**		
	Pot. (dBm)	**MER (dB)**	**BER***	**Pot. (dBm)**	**MER (dB)**	**BER***
con insertos metálicos	-49.7	>30	$< 10^{-5}$	-60.6	27.2	$< 10^{-5}$
con remaches	-48.7	>30	$< 10^{-5}$	-61.5	26.8	$< 10^{-5}$
con porta elementos	-48.2	>30	$< 10^{-5}$	-59.9	26.9	$< 10^{-5}$
Italiana LPV 345HV	-49.0	>30	$< 10^{-5}$	-58.5	28.9	$< 10^{-5}$

Tabla 2: Mediciones de parámetros de calidad realizadas con las antenas multibandas ADM 010 prototipos en los poblados de Sagua La Grande, en la provincia de Villa Clara

	LPDA en el Canal 13			**LPDA en el Canal 32**		
	Pot. (dBm)	**MER (dB)**	**BER***	**Pot. (dBm)**	**MER (dB)**	**BER***
con insertos metálicos	-65.0	25.9	$< 10^{-5}$	-72.7	20.2	$< 10^{-5}$
con remaches	-65.9	25.5	$< 10^{-5}$	-73.5	19.7	$< 10^{-5}$
con porta elementos	-67.1	25.6	$< 10^{-5}$	-73.8	19.9	$< 10^{-5}$
Italiana LPV 345HV	-65.2	26.6	$< 10^{-5}$	-72.0	25.8	$< 10^{-5}$

Según los resultados queda demostrado que la antena ADM 010, en su versión de sujeción de varillas con insertos metálicos, presenta mejores resultados en la localidad más lejana. Las diferencias entre los valores medidos son insignificantes por lo que se considera que las tres antenas presentan las mismas características en la recepción. El MER que define la calidad de la señal tampoco tubo diferencia significativa pero sí estuvo deteriorado, cerca del umbral, en Sagua la Grande.

Según los resultados se recomienda la utilización de la antena ADM 010, en el poblado de Sagua La Grande para la recepción del canal 32 de HD, con una altura mayor de 10 m y con un bajante adecuado de cable coaxial. Se debe colocar la antena apuntando en línea de visión directa con el transmisor DTMB de Santa Clara sin obstáculo de ningún tipo cerca de la antena. Por otro lado se puede notar que la antena LPV 345HV posee mejor comportamiento la favorece su utilización en estas localidades. Debido a su relativa alta ganancia en la banda de UHF la antena italiana que comercializa TRD posee gran aceptación en la población cubana.

5. VALORACIÓN ECONÓMICA

Para lograr un nivel productividad acorde a la demanda de este tipo de antena se necesita mejorar la tecnología de producción actual, porque la mayoría de las operaciones son manuales y disminuye considerablemente la productividad en estos tipos de antenas y encarece su costo de producción. Por ello se está realizando un estudio de mercado de equipos necesarios para poder elevar la productividad y disminuir los costos de esta producción, con equipos como: maquina contadora y empacadora de tornillos y tuercas, taladradora CNC, torno CNC y estera para la línea de ensamblaje. De esta manera se automatizan los proceso productivos para que llegue a los usuarios lo más factible posible desde el punto de vista técnico y económico.

Hasta el 1 de julio de 2017 se han comercializado un total de 288 antenas ADM 010 en su versión remachada. La antena actual posee un valor de 13.90 CUC y 64.52 MN para un total de 78.42 MT. El aporte económico, hasta esa fecha, ha sido de 20624.00 MT. En la Fig. 14 se muestra una parte del proceso productivo de 170 antenas fabricadas para algunas entidades estatales de la provincia de Villa Clara.

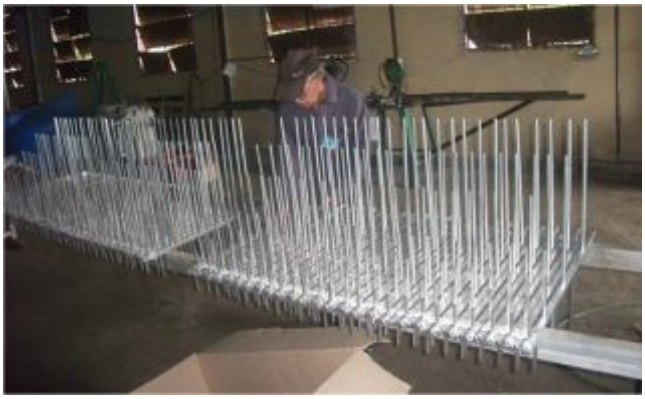


Figura 14: Antenas ADM 010 preparadas para su comercialización

La antena ADM 010 con todas sus variantes tecnológicas hasta el momento y las que pudieran aparecer requieren total atención y prioridad porque representa parte del plan de antenas para la TDT que se debe entregar para el desarrollo de la TV Digital en los próximos años. Los planes de antenas son constantemente supervisados porque representan un compromiso estatal con vista a mejorar la recepción de la TDT en todo el país.

6. CONCLUSIONES

A través de este trabajo se pudo lograr una antena de ganancia relativamente mediana que cubre todas las bandas de TV Digital en todo el país y para trabajar con cable coaxial de 75Ω. Dentro de este campo se ha trabajado anteriormente donde se han hecho diversas propuestas con la única diferencia que los precios por gastos materiales estaban muy elevados para ser comercializadas a la población. Se han realizado propuestas para la fijación de las varillas al *boom* las cuales vienen acompañadas con dificultades tecnológicas. Se deben seguir perfeccionando técnicas para la conformación de su estructura mecánica. Se recomendó que cualquier variación en la estructura deba ir acompañado por una posterior validación en el terreno para homologar su desempeño aunque el costo sea el tiempo de salida al mercado. Se recomendó realizar varios prototipos para validación con el objetivo de ir evaluando cada uno en diferentes condiciones y posiciones geográficas.

Aun con los problemas tecnológicos existentes que dificultan la producción masiva de antenas, queda demostrada la capacidad y fortaleza de la Empresa de Antenas de Villa Clara, única de su tipo en el país, para llevar a cabo la fabricación de antenas principalmente para la TV Digital la cual permite la sustitución de importaciones.

REFERENCIAS

1. BALANIS, Constantine. A. "Antenna, Theory, Analysis and Design". 2005, 3ra Edición, 515 pp. ISBN 0-471-66782-X.
2. CARREL, R. "Analysis and Design of Log-Periodic Dipole Antennas". Antenna Laboratory Report. N^{o} 52, Contract AF33(616)-6079. University of Illinois, April 1961.
3. JIMÉNEZ, Roberto. *Fundamentos de la Ingeniería Electromagnética*. Santa Clara: Editorial “Samuel Feijoo”, 2011. 302 pp. ISBN 978-959-250-749-4.
4. Laboratorio de TVD, " Caracterización de Antena LPD ADM 009 Villa Clara", LACETEL, Edición Junio 30, 2014, 16 pp.
5. KRAUS, John D. *Antennas*, New Delphi: 2da Edición, McGraw-Hill, 1988. 805 pp. ISBN 0-07-035422-7.