

CAPITULO 2

DIPOLOS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS.

2.1 El Dipolo

El tipo de antena escogido para implementar la configuración del módulo de transmisión en banda ancha correspondió a una antena del tipo Dipolo de $\lambda/2$. Se decidió utilizar este modelo de antena por su fácil diseño y construcción. Además, tiene la ventaja de que el campo irradiado que entrega, tanto en polarización vertical como en horizontal, es simple y resulta apropiado para la realización de las mediciones.

El diagrama de radiación teórico de una antena dipolo de $\lambda/2$ es el siguiente:

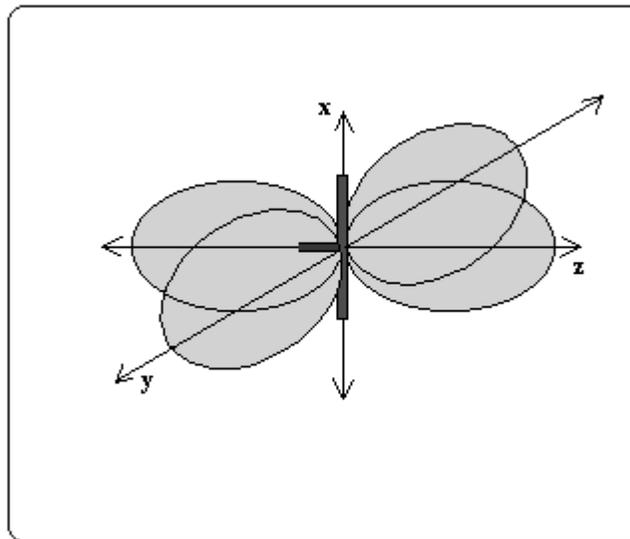


Figura 2.1: Diagrama de Radiación de un Dipolo de $\lambda/2$

El diagrama tiene simetría radial, y sólo se presenta un dibujo de éste en los planos X,Y y Z para mayor claridad.

La forma del campo de irradiado depende básicamente de la longitud de la antena medida en longitudes de onda y de las terminaciones que determinan el grado de adaptación que tiene la antena, lo que se traduce en una mayor o menor cantidad de pérdidas. Según esto último la forma del lóbulo puede cambiar, variando en su anchura o extensión.

El objetivo es que los diagramas de radiación de ambas antenas sean lo más parecido a la forma teórica para que las mediciones que se realicen con el equipo resulten lo más exactas posibles.

En el plano azimuth (polarización Vertical), el dipolo presenta un campo omnidireccional, y en el plano de elevación (polarización Horizontal) el campo es direccional y está compuesto por dos lóbulos. La figura siguiente muestra el campo de radiación teóricos para ambos casos de polarización.

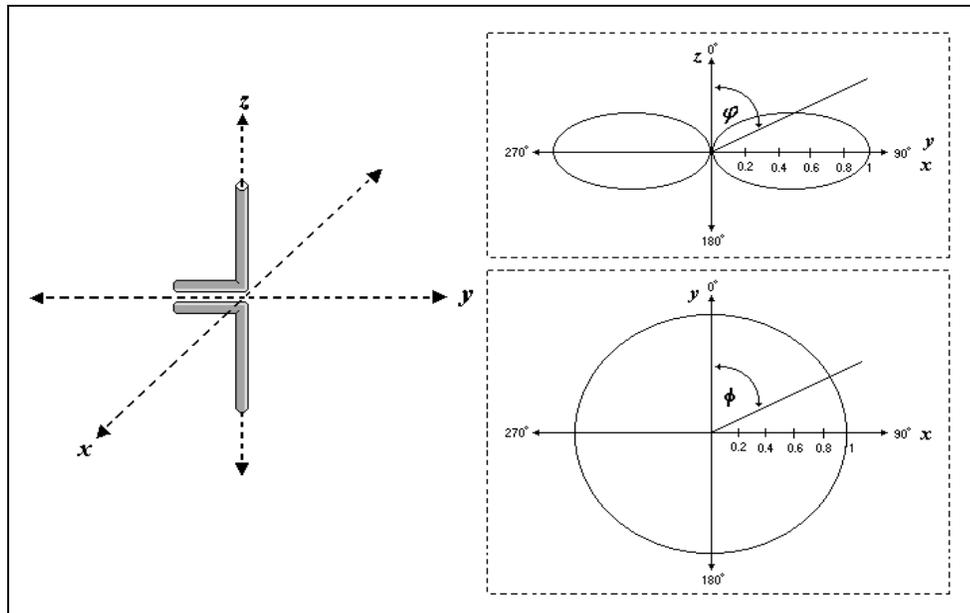


Figura 2.2: Campo de radiación de radiación del dipolo para polarización vertical y horizontal.

2.2 Construcción

Los materiales necesarios para la construcción de cada uno de los dipolos fueron dos trozos de varillas de cobre de longitud $\lambda/4$ y 2[mm] de diámetro cada uno y un segmento de material semirígido con un conector SMA en un extremo.

El cálculo de λ , longitud de onda, se obtiene de la ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{Ec.2.1}]$$

donde c : velocidad de la luz (300 [Mt/s])
 f : frecuencia de trabajo

Como se diseñaron los dipolos para una frecuencia de trabajo igual a 890[Mhz] se obtiene que el valor de la longitud de onda, λ es igual a 0.33 mts y cada dipolo debe tener en consecuencia, un largo de **0.16** mts.

El procedimiento para construir ambos dipolos consistió en soldar un trozo de semiconductor al núcleo del semirígido y el otro a la cubierta o carcasa del cable semirígido, quedando armadas las antenas. Para proporcionar mayor rigidez a los dipolos se aplicó una capa de silicona sobre la soldadura.

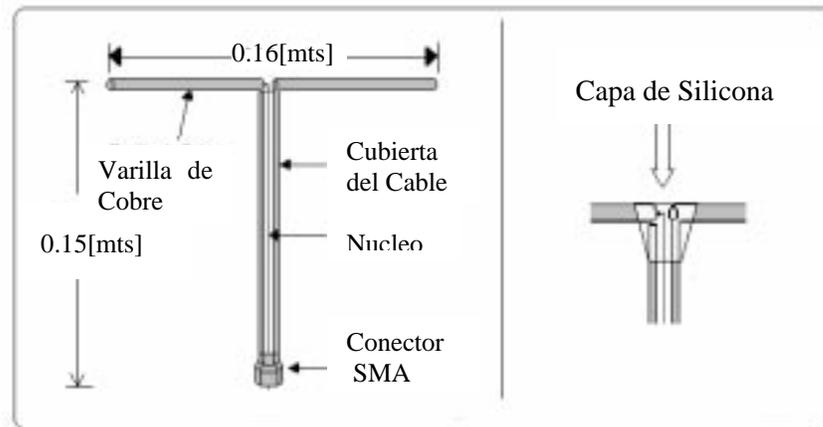


Figura 2.3: Dibujo del dipolo, componentes y dimensiones.

2.3 Evaluación de las características de las antenas

A continuación se detallan los parámetros teóricos básicos más importantes de la antena que fueron evaluados en forma experimental.

Con la obtención de estos parámetros se tiene un conocimiento más completo del funcionamiento del dipolo.

2.3.1 R.O.E (Razón de onda estacionaria)

La razón de onda estacionaria es una característica de la antena que indica el grado de adaptación de la antena con el resto del medio. Mientras mayor sea el grado de adaptación, menor potencia será reflejada y, por lo tanto mayor cantidad de ésta será irradiada por la antena al espacio libre. La ROE depende del coeficiente de reflexión de voltaje (Γ_v), y están relacionados por la siguiente ecuación<1>:

$$\text{ROE} = \frac{1 + |\tilde{A}_v|}{1 - |\tilde{A}_v|} \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Un valor de ROE igual a uno implica que la antena está completamente adaptada y un 100% de la potencia está siendo transmitida. Esto ocurre en un caso ideal.

En la práctica, un buen nivel de adaptación se logra con un ROE igual a 2, que equivale a que un 90% de la potencia transmitida está siendo irradiada por la antena. Por lo tanto se debe tener un valor para la ROE menor o igual a 2 para considerar a las antenas con un buen nivel de adaptación.

Medición de ROE y adaptación de antenas.

Para medir el valor de la ROE se utilizó el siguiente esquema:

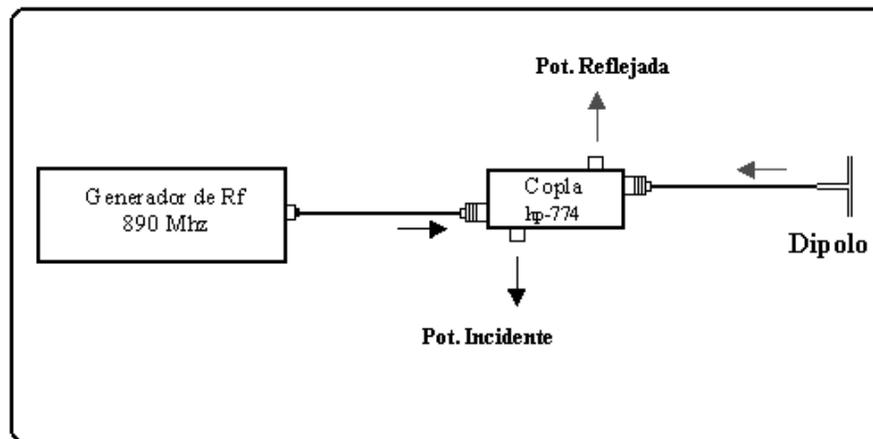


Figura 2.4: Esquema utilizado para obtener R.O.E.

Se ajustó en el generador de RF una potencia de salida igual a -10 [dBm] la cual se inyectó a la entrada de la coplea. A la salida de ésta estaba conectada la antena.

Con el Analizador de Espectros se midió la potencia reflejada y la potencia incidente de la antena en los terminales respectivos de la coplea. Con estos valores se calculó el coeficiente de reflexión con la siguiente ecuación:

$$\Gamma_v = \sqrt{\frac{P_{ref}}{P_{inc}}} \quad [Ec 2.3]$$

Con el valor de Γ_v se obtuvo el valor de la ROE por medio de la ecuación 2.2. Los primeros cálculos entregaron valores de ROE mayores que 2, por lo que fue necesario adaptar las antenas.

El proceso de adaptación consistió básicamente en disminuir levemente el largo del dipolo en ambos extremos con el fin de que la longitud de éste sea lo más cercano a $\lambda/2$, de manera que la distribución de corriente a través del dipolo sea lo más parecido a un caso ideal. Este procedimiento se realizó hasta que se obtuvo un valor de ROE aceptable.

Los valores finales obtenidos fueron los siguientes:

	Pot. Incidente [dBm]	Pot. Reflejada [dBm]	Coefficiente de Reflexión	ROE
Dipolo 1	-10.4	-22.8	0,23	1.63
Dipolo 2	-10.4	-23.0	0,23	1,61

2.3.2 Diagramas de radiación

Los diagramas de radiación son representaciones por medio de gráficas polares, u otras coordenadas, que indican la intensidad del campo irradiado en diversas direcciones por una antena.

Para obtener los diagramas de ambos dipolos se realizó el siguiente procedimiento:

Se conectaron los equipos tal como en el caso de la figura 2.6.

El lugar elegido para realizar las mediciones fue una cancha de fútbol, ya que allí se presentan las condiciones más adecuadas para tener un enlace sin obstáculos.

La antena receptora se giró en 360 grados a partir de la posición inicial. Cada 5 grados se tomó una muestra por medio del analizador de espectros de la potencia recibida. De esta manera se obtuvieron los puntos suficientes para poder graficar el diagrama de la antena.

Luego se repitió el procedimiento cambiando la antena transmisora por la receptora y viceversa, así se obtuvieron los valores para el diagrama de la segunda antena.

A continuación se presentan los diagramas obtenidos para ambos dipolos, con polarización paralela y perpendicular.

Además se muestran superpuestas las curvas teóricas para dichos diagramas, suponiendo una ganancia de 1.5[dBm] y una eficiencia del 100%.

Para poder graficar los diagramas experimentales junto con los teóricos y poder observar las diferencias entre ellos se optó por trabajar con valores positivos de potencia, para lo cual se tuvo que modificar la escala de los valores medidos en forma práctica.

La máxima diferencia que se produjo para el caso de polarización vertical, entre el valor teórico y el medido fue de 2.1[dB] y 2.5[dB] para los dipolos 1 y 2 respectivamente. Sin embargo, como se explicará más adelante esta diferencia de potencia no influirá en los resultados de las mediciones.

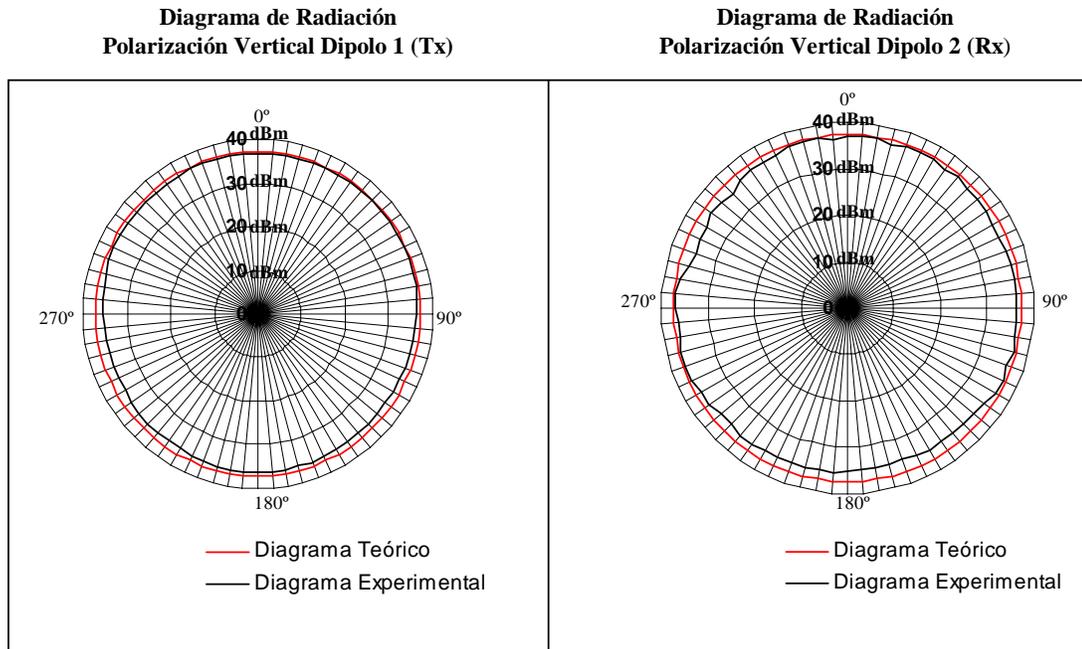


Figura 2.5-A: Diagramas de Radiación para polarización vertical

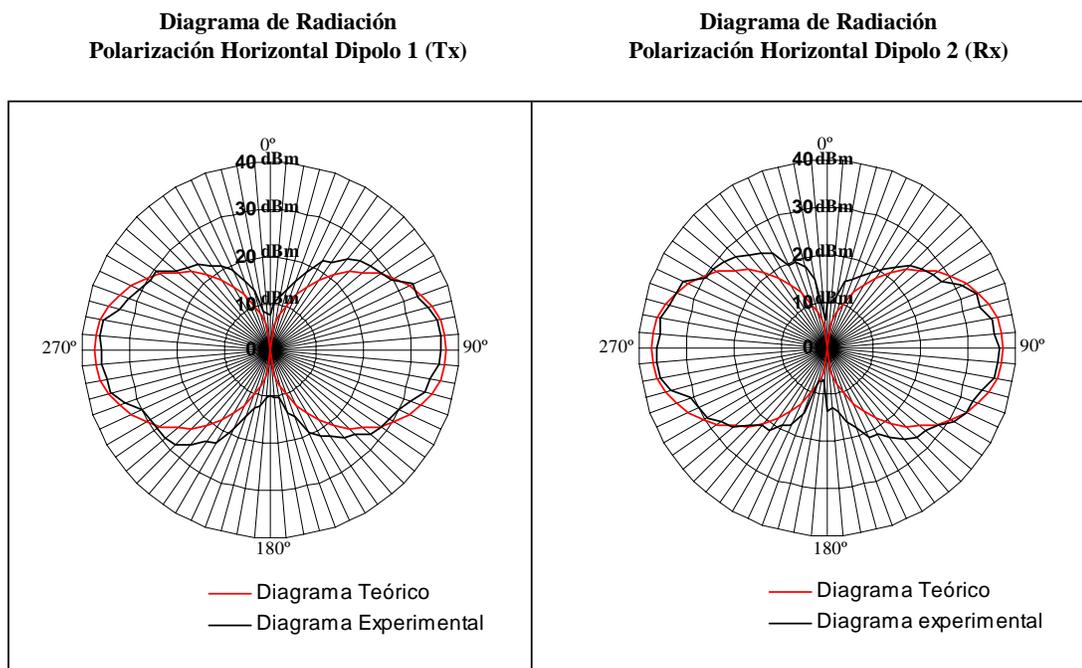


Figura 2.5-B: Diagramas de radicación para polarización Horizontal

2.3.3 Directividad, Ganancia y Eficiencia

Directividad.

Primeramente, antes de definir ganancia, es conveniente mencionar el concepto Directividad.

Al contrario de lo que sucede con una antena isotrópica que irradia igual cantidad de energía en todas direcciones, en la práctica una antena irradia más energía hacia algunas direcciones y se dice entonces que dicha antena es "*directiva*" o que tiene cierta "**Directividad**".

Ganancia directiva:

La *ganancia directiva* de una antena es definida para una determinada dirección como la razón de potencia irradiada por dicha antena, a cierta distancia con respecto a la potencia irradiada en la misma dirección por una antena isotrópica. Para la definición se considera sólo la potencia radiada efectivamente, o sea se excluyen las pérdidas debido a, por ejemplo, a valores de ROE diferentes de uno. Esta ganancia como depende de cada dirección puede tener distintos valores para cada una de ellas. Comúnmente se habla de *Directividad* refiriéndose a la *máxima ganancia directiva* de la antena

El valor teórico de la *Directividad* para las antenas dipolo es de **1.64** <1>.

Debido a que las formas de los diagramas de radiación obtenidos para los dipolos resultaron ser similares a las teóricas, es posible asumir y utilizar dicho valor (1.64) como valor de la directividad. Este valor nos es útil para la obtención de la ganancia y eficiencia de los dipolos.

Ganancia y Eficiencia

Para una cantidad dada de potencia de entrada a una antena, la intensidad de potencia recibida en un punto en el espacio depende de la **Ganancia de la antena**, que es igual al producto de la Directividad por la Eficiencia de la antena <1>.

Entonces tenemos la siguiente ecuación para el cálculo de la ganancia:

$$G_{\text{antena}} = E_{\text{antena}} * D_o \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Donde E = Eficiencia de la antena

D_o = Directividad de la antena (1.64)

Además, de acuerdo a la ecuación de Friis tenemos <2>:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad [\text{Ec 2.5}]$$

Donde $P_r(d)$ = Potencia recibida por la antena Rx

$P_t(d)$ = Potencia transmitida por Antena Tx

G_t = Ganancia antena Tx

G_r = Ganancia antena Rx

d = distancia entre ambas antenas

Para simplificar los cálculos se asume que ambas antenas tienen la misma ganancia, lo cual es lógico suponer, pues ambas antenas fueron construidas de igual manera y son prácticamente similares. De lo contrario resultaría bastante más complicado obtener el cálculo.

De esta manera tenemos la siguiente relación:

$$P_r = \frac{P_{IN} * E_t * E_r * D_o^2 * \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad [\text{Ec 2.6}]$$

Donde $P_r(d)$ = Potencia recibida por la antena Rx

$P_t(d)$ = Potencia transmitida por Antena Tx

E_t = Eficiencia de la antena Tx

E_r = Eficiencia de la antena Rx

d = distancia usada para el cálculo de la ganancia.

De esta última relación es posible despejar la Ganancia que es el parámetro que nos interesa conocer.

Procedimiento para la Medición de Ganancia

Para calcular la relación entre potencia recibida v/s potencia. inyectada se realizó el siguiente procedimiento:

Se conectaron los equipos como lo ilustra la figura:

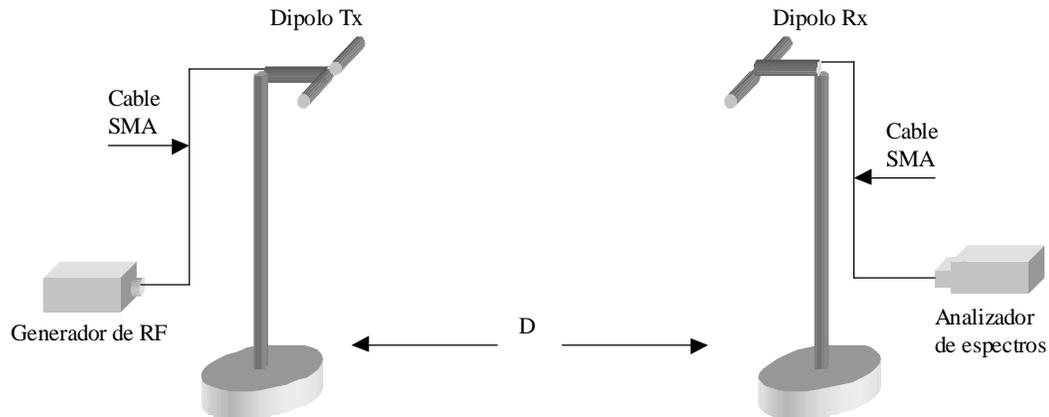


Figura 2.6: Esquema utilizado para obtener la Ganancia

Se transmitió una potencia determinada. La antena receptora se giró a partir de la posición inicial 20 grados para la derecha, tomando una muestra de la potencia recibida cada 5 grados. Luego se repitió la misma operación, pero rotando la antena hacia la izquierda.

La figura presenta una vista superior de lo mencionado anteriormente:

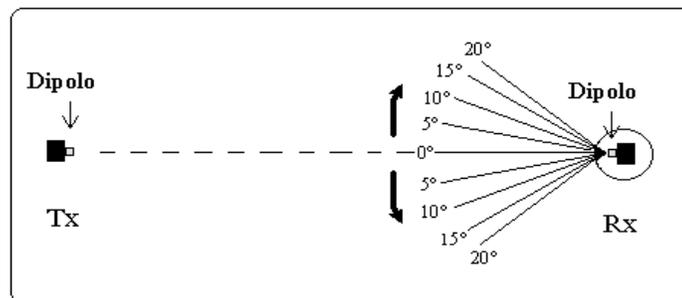


Figura 2.7: Vista superior del esquema utilizado para obtener ganancia de los dipolos.

Una vez obtenidos los datos, se obtuvo un promedio de la potencia recibida y dicho valor se introdujo en las fórmulas para calcular la ganancia de la antena.

De los datos podemos obtener, por medio de la ecuación 2.6 y de la ecuación 2.5, la Eficiencia y la Ganancia respectivamente para ambas antenas.

Los valores obtenidos son los siguientes:

EFICIENCIA	92.20%
GANANCIA	1,55818

El valor de eficiencia obtenido es bastante cercano al valor que se puede obtener teóricamente por medio del valor de la R.O.E, los cuales son 93.7% y 93.9% para los dipolos 1 y 2 respectivamente. Cabe recordar, que este valor de eficiencia se obtuvo con las antenas apuntándose entre sí, con una variación de sólo $\pm 20^\circ$ de la dirección entre ellas, ya que con variaciones mayores la eficiencia podría ser menor.

2.3.4 Ancho de Banda

Todas las antenas están limitadas a un rango de frecuencias dentro del cual pueden operar “satisfactoriamente”. Este rango de frecuencias es determinado por ciertas características de la antena las cuales conforman un “standard específico”. Dicho rango es llamado *Ancho de banda de la antena*.

Las características involucradas en la descripción del ancho de banda son principalmente la impedancia de la antena, eficiencia de radiación, ganancia, ancho del haz y su dirección. El “standard específico” abarca a todas estas características en conjunto, e implica valores aceptables de cada una para un funcionamiento satisfactorio de la antena.

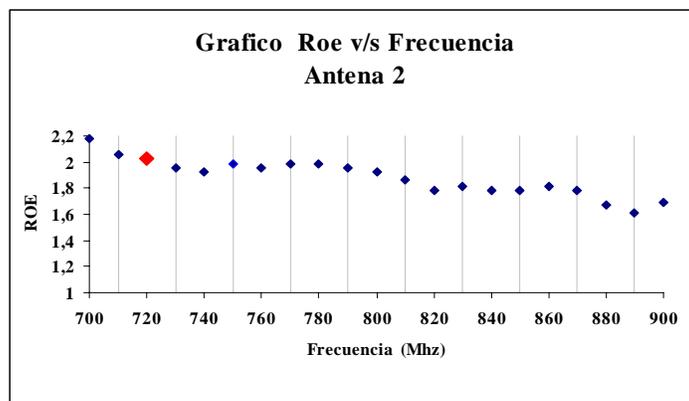
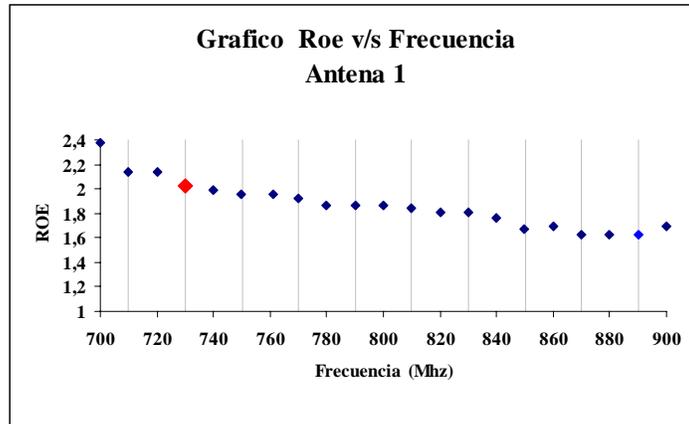
Obtención del Ancho de banda

Para el cálculo del ancho de banda se utilizó el esquema utilizado para medir la ROE (fig. 2.4)

El generador de señales se ajustó una potencia de 10[dBm] a 890[MHz]. Luego se procedió a variar la frecuencia, aumentándola primero y luego disminuyéndola, hasta obtener en cada caso, por medio de la copla, un valor de ROE igual a 2, lo que significa que un 90% de la potencia está siendo irradiada por la antena, (valor aceptable para un buen funcionamiento de la antena). Con esto encontramos las frecuencias que limitan el ancho de banda.

Debido a que el generador de señales de RF alcanza una frecuencia máxima de 990[MHz], se calculó el ancho de banda asumiendo simetría para ambos rangos de frecuencia.

A continuación se presentan los gráficos que representan el valor de ROE con respecto a la variación de la frecuencia, donde se destaca la frecuencia límite para la determinación del ancho de banda. Nótese que por las limitaciones del generador de señales empleado no fue posible determinar la frecuencia de corte superior.



El ancho de banda (BandWidth, BW) se obtiene entonces mediante la siguiente aproximación:

$$Bw = (frec_{\max} - fc) * 2 \quad [Ec. 2.7]$$

Donde:

- frec_{max} : frecuencia encontrada de la antena, con ROE igual a 2.
- fc : frecuencia de trabajo (890 [MHz]).

Los valores obtenidos para cada antena se presentan a continuación:

	FREC. MÁX (ROE=2).[MHz]	ANCHO DE BANDA
Dipolo 1	730	320[MHz]
Dipolo 2	720	340[MHz]

2.3.5 Polarización

El tipo de polarización que presenta una antena, o de la onda electromagnética que ésta irradia está determinado por la posición del vector \mathbf{E} (vector del campo eléctrico) con respecto a una superficie reflectora, la que generalmente es la superficie terrestre.

En el caso del Dipolo, para conseguir polarización vertical se debe ubicar el dipolo en posición vertical con respecto a la tierra y para conseguir polarización horizontal se debe ubicar en posición vertical con respecto al plano tierra.

En la figura se ilustra un caso de polarización vertical, con el vector de campo eléctrico (\mathbf{E}) paralelo al dipolo:

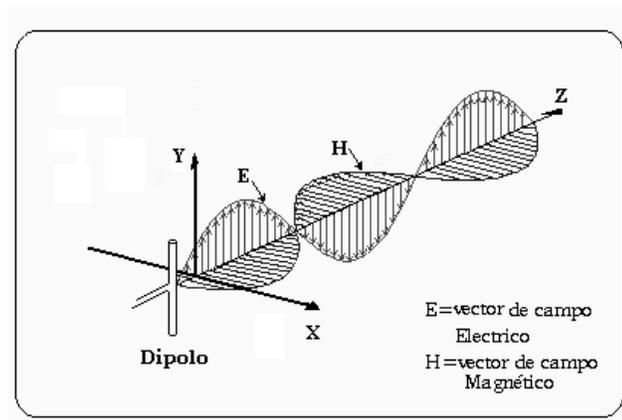


Figura 2.8: Ejemplo de un dipolo con polarización vertical.

Conforme a esto, las antenas fueron montadas en estructuras que fueron diseñadas especialmente para obtener el tipo de polarización deseado.

El material de estas estructuras es acrílico, pues este material presenta características de reflexión bastante favorables.

Para obtener polarización vertical la antena se dispuso de la siguiente manera:

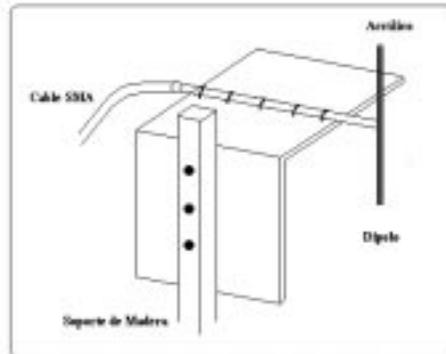


Figura 2.9: Diagrama del Dipolo dispuesto para polarización vertical.

Para la polarización horizontal, el dipolo se utilizó de la siguiente manera:

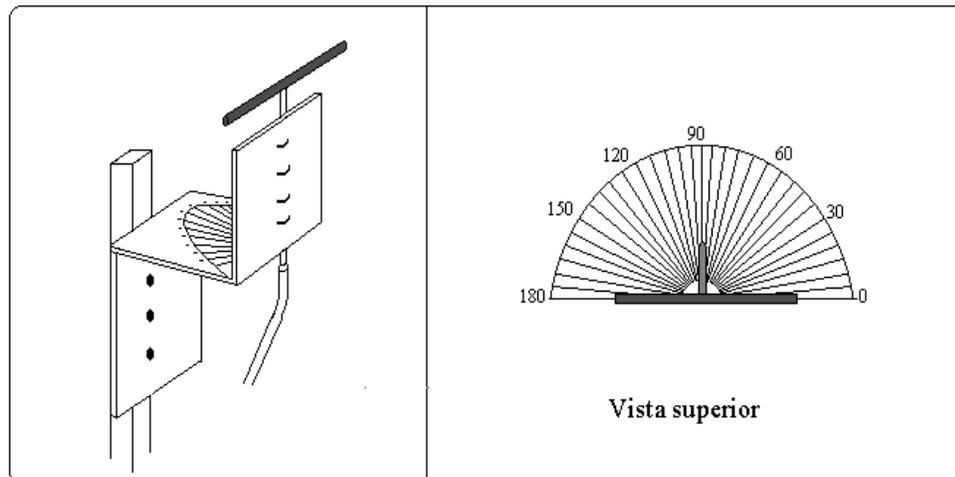


Figura 2.10. Dipolo con polarización horizontal, y vista superior de la superficie graduada.

Para el caso de polarización horizontal, el dipolo se ubicó sobre una base que contenía un área con los ángulos marcados, de manera que en las mediciones se pudiera ir girando la antena gradualmente a medida que se varíe el ángulo de incidencia, con el fin de que siempre se encuentren las dos antenas frente a frente para que ambos lóbulos coincidan en el punto de máxima amplitud.