

CALCULO del AREA de CAPTURA

DISTANCIA ÓPTIMA de APILAMIENTO en ANTENAS YAGI

Frecuentemente recibo consultas en las que me preguntáis cuál debería ser la distancia de separación entre antenas yagi apiladas. Para empezar hemos de admitir que la ganancia teórica al enfasar dos antenas yagis nunca puede superar los 3 dB (a veces me han preguntado si la ganancia se duplica). De manera intuitiva podemos comprender que dos antenas nunca pueden recoger más del doble de potencia de radiofrecuencia que una sola. Efectivamente, esos 3 dB se obtienen de hallar el logaritmo de 2 y multiplicar por 10. A partir de ahí surge la pregunta habitual: ¿a qué distancia debo separar dos antenas Yagi para ser apiladas? Para poder responder a esta pregunta debemos introducir el concepto de área de captura de una antena. El área de captura es una medida de la capacidad de una antena para recoger energía del espacio libre. Aunque este área se mide en "longitudes de onda cuadradas", no es posible medirla con un metro pues no corresponde con nada físico y tangible. Para una intensidad de campo determinada, el total de potencia recogida se corresponde con dicha área. El área de captura puede calcularse con la sencilla fórmula:

$$A = G / (4 * \pi)$$

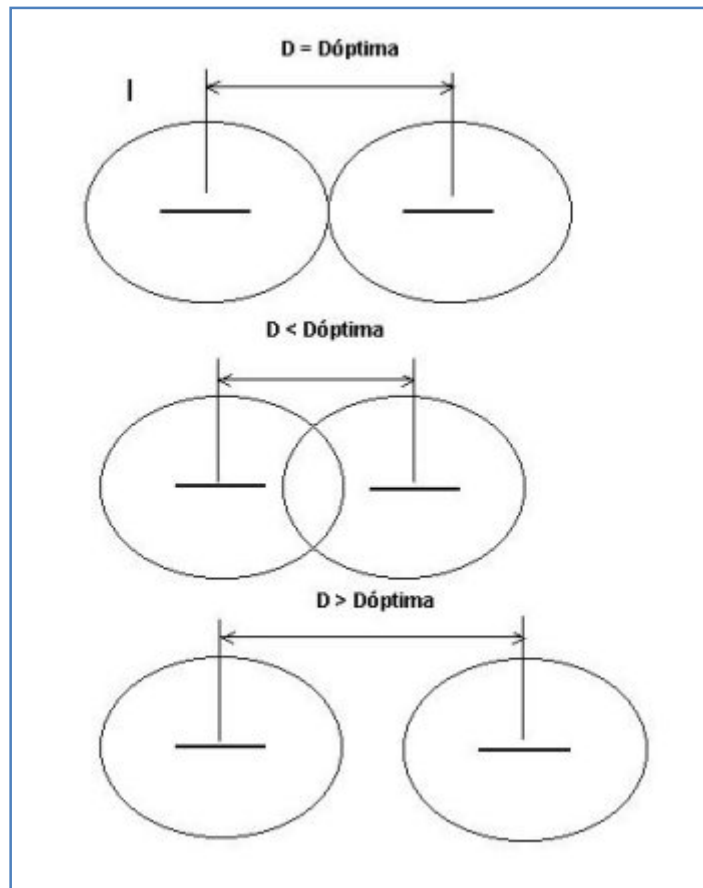
donde

A es el área de captura en longitudes de onda cuadradas y

G es la ganancia de antena sobre la antena isotrópica en veces, no en

dB (la antena isotrópica es aquella que irradia por igual en todas direcciones).

Para hacernos una idea del tamaño del área de captura, pongamos un ejemplo típico. Un simple dipolo de media onda tiene un ganancia de 2.15 dBi, o sea, $10^{(2.15/10)} = 1.64$ veces. Aplicando la fórmula $1.64 / (4 * \pi) = 0.13$ longitudes de onda cuadradas. Una antena yagi de 10 m de boom se aproxima a los 17 dBi. $10^{(17/10)} = 50.11$ veces. $50.11 / (4 * \pi) = 3.99$ longitudes de onda cuadradas. Podemos apreciar como la antena de alta ganancia tiene un área de captura mucho mayor, y por tanto es capaz de capturar mucha más energía de radiofrecuencia. Para imaginarnos esa área podemos pensar en un círculo de 0.4 longitudes de onda de diámetro, o sea, 0.8 metros para 144 MHz en el caso del dipolo, y 2.25 longitudes de onda de diámetro, unos 4.5 m para la yagi larga. En realidad, es útil pensar en el área de captura como un área real, pero en realidad no es un área de bordes tan bien definidos. Una vez que hemos comprendido el concepto de área de captura, entenderemos bien el problema de la distancia de apilamiento. Para alcanzar el máximo teórico de 3dB al apilar dos antenas, es preciso que su separación sea suficientemente grande para que sus áreas de captura no se solapen, y para que nos entendamos, ambas no compitan por el mismo trozo de espacio radioeléctrico. Si ambas antenas se colocan demasiado juntas y la áreas de captura se solapan, la ganancia disminuye. Por el contrario, si se separan más de lo necesario, la ganancia no aumenta más de 3 dB y sin embargo aumentan los lóbulos laterales y surgen complicaciones mecánicas innecesarias. La figura nos da una idea sobre este importante hecho.



Por tanto, la distancia óptima de apilamiento es la mínima que proporciona la máxima ganancia. Experimentos y cálculos teóricos concluyen en una fórmula sencilla para calcular la distancia óptima de apilamiento.

$$DOA = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\phi/2)}$$

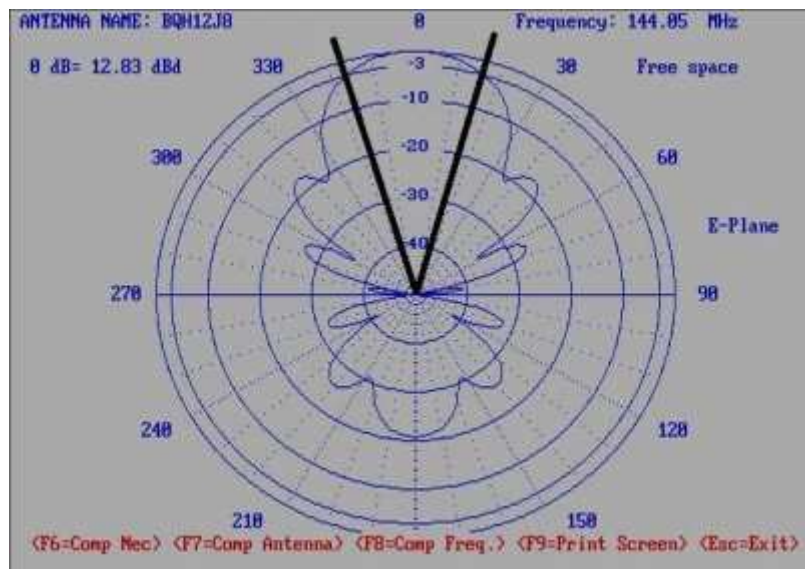
donde

DOA es la distancia de apilamiento en metros,

lambda es la longitud de onda en metros, y

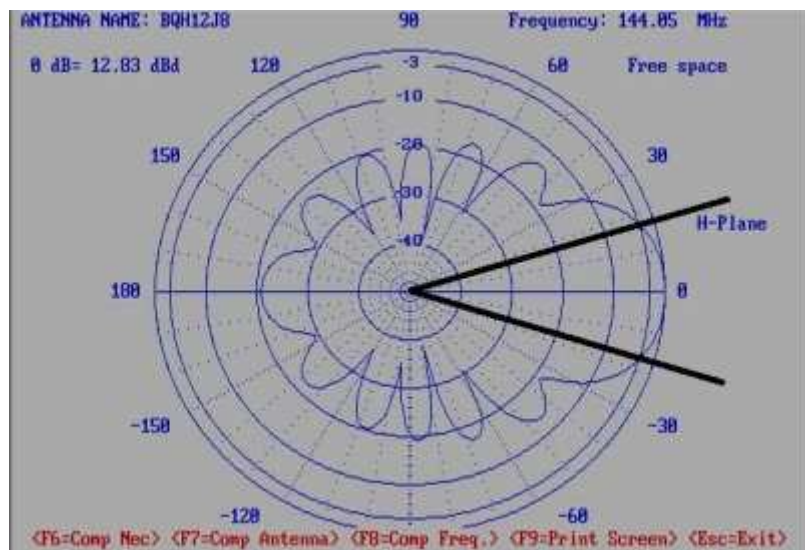
phi es el ancho del lóbulo horizontal o vertical a -3 dB medido en grados.

El dato del ángulo del lóbulo de radiación nos lo da el fabricante de la antena o podemos obtenerlo nosotros de cualquier programa de cálculo. Para ver como se calcula todo esto vamos a verlo con un ejemplo concreto. Supongamos que deseamos apilar cuatro antenas de construcción casera DL6WU de 12 elementos para 144 MHz con un ganancia calculada de 12.83 dBd cada una, como es el caso de mi instalación para rebote lunar. La ganancia teórica del conjunto se sitúa entorno a los $12.83 + 3 + 3 = 18.83$ dBd, aunque más adelante veremos que es algo menos. Comencemos por la distancia de apilamiento horizontal mientras observamos la siguiente figura, obtenida mediante el programa Yagi Analysis 3.54



Para el cálculo de la distancia de apilamiento horizontal necesitamos el diagrama horizontal o E-plane (campo eléctrico) mientras que para la distancia vertical necesitamos el H-plane (campo magnético). Aclaro esto porque es fácil confundirse y asignar el H-plane al diagrama horizontal por aquello de la "H". En la figura están marcados con líneas gruesas los puntos de -3dB, es decir, aquellas direcciones en las cuales la potencia radiada cae -3dB respecto de la potencia en la dirección hacia donde apunta la antena (-3dB es dividir por dos la potencia). En este caso, el propio software hace la medición del ángulo en el diagrama E-plane y entrega el valor de 32.96 grados. Aplicando la fórmula tenemos:

$$\text{Apilamiento horizontal} = (300/144.05) / (2 * \sin(32.96/2)) = 3.67 \text{ metros.}$$

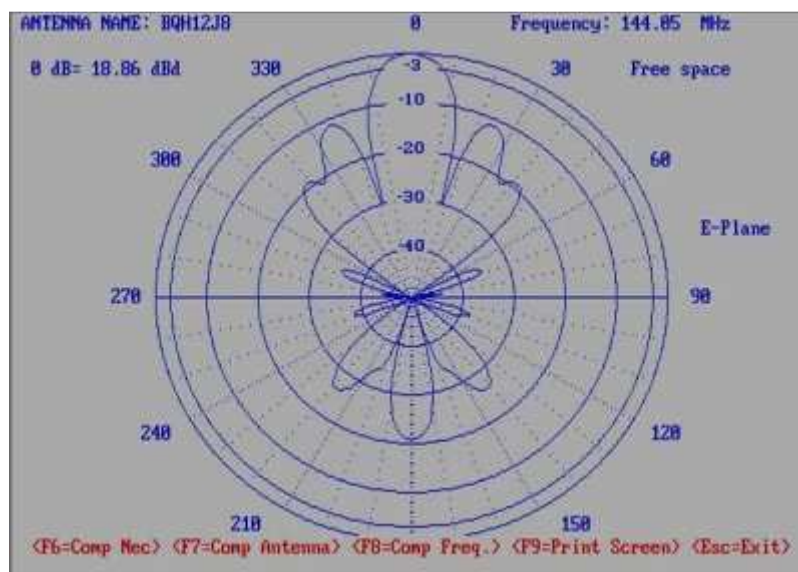


Análogamente haríamos para la distancia vertical de apilamiento, pero en este caso usando los datos de la siguiente figura, correspondientes al diagrama H-plane. El programa nos dice que el ángulo es de 35.54 grados.

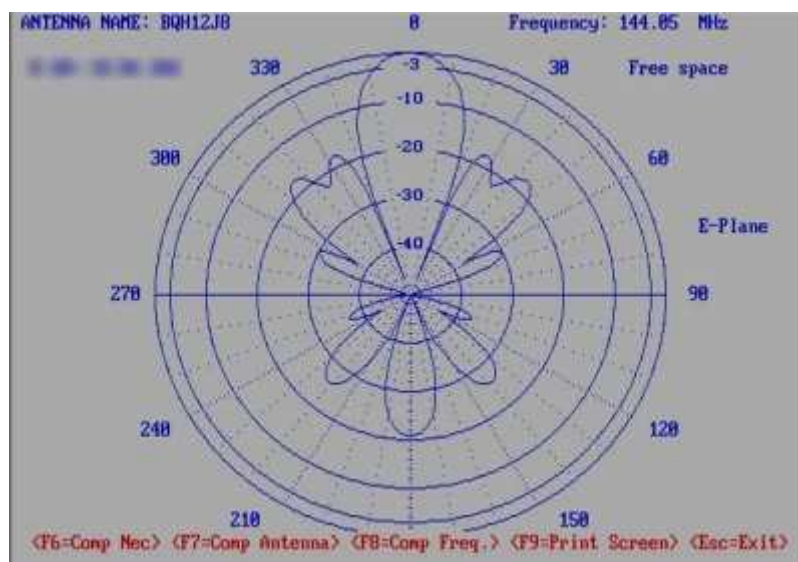
Introduciendo los nuevos datos en la fórmula:

$$\text{Apilamiento vertical} = (300/144.05) / (2 * \sin(35.54/2)) = 3.41 \text{ metros.}$$

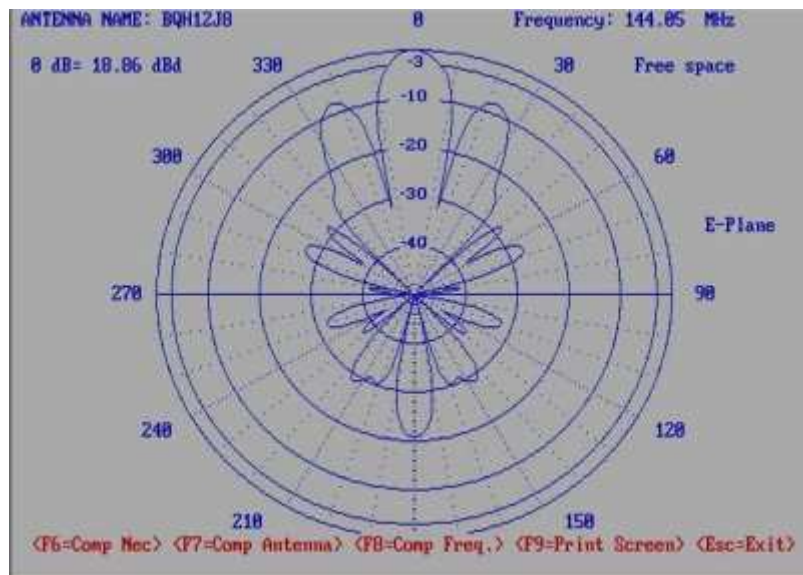
Obsérvese que la distancia de apilamiento horizontal es siempre superior a la vertical, debido a que el ángulo horizontal es menor que el vertical. Vayamos entonces a la siguiente figura y examinemos el diagrama de radiación resultante en el plano horizontal.



La ganancia calculada es de 18.86 dB y el ancho del lóbulo se ha reducido considerablemente, habiendo aparecido otros dos lóbulos laterales, a niveles inferiores a -12 dB (generalmente la aparición de estos lóbulos a ese nivel es una indicación de que estamos enfazando a la distancia óptima). En la práctica, es posible obtener como máximo unos 2.9 dB al apilar dos antenas. De este máximo hay que restar las pérdidas del enfazador y las líneas de alimentación, por lo que 2.5dB podría ser un número más realista. De este modo la ganancia estimada para el conjunto de 4 antenas sería de $12.83+2.5+2.5=17.83$ dBd. Veamos ahora el efecto de variar la distancia de apilamiento horizontal. Si utilizamos una distancia 80% de la óptima, la ganancia cae 0.5 dB pero los lóbulos laterales mejoran a -18 dB



pero si usamos una distancia 120% de la óptima, la ganancia es la máxima pero los lóbulos laterales empeoran a unos -8 dB:



Este programa solamente calcula los diagramas de antenas apiladas pero no las ganancias que las supone constantes y correspondientes siempre a un aumento de 3 dB cada vez que se duplica el número de antenas. Por este motivo y para evitar confusión, he eliminado de las fotografías el valor de ganancia indicado por el programa. Este método de cálculo se aplica de igual modo a apilamientos con mayor número de antenas, por ejemplo, 4x4, 2x4, etc... siempre y cuando se conozca el valor de los ángulos a -3dB. Suerte y ¡a apilar aluminio!

2006 Ramiro Aceves, EA4NZ.

<https://ea4nz.ure.es/apilamientos/apilamientos.html>