

Conformación de la directividad de una formación de altavoces: posicionamiento físico contra el uso de retardo

José Brusi, Brusi Acoustical Consulting

En los últimos tiempos se ha popularizado la modificación de las características directivas de formaciones (*arrays*) de altavoces mediante el uso de retardo electrónico. Mientras que hace 20 años uno debía recurrir a costosas unidades de retardo, y unos años después el Omnidrive era un lujo solamente al alcance de unos pocos, hoy en día la utilización de formaciones con un número relativamente alto de canales de procesado, necesarios para modificar electrónicamente la direccionalidad de una formación, es algo económicamente accesible, y, por tanto, de uso relativamente extendido.

Sin embargo, la modificación virtual (electrónica) de la directividad de una formación no es siempre un buen sustituto para el angulado o recolocación física de toda la vida, ya que los dos métodos radian de forma radicalmente diferente fuera del eje (es decir, hacia los lados y hacia atrás). En este artículo mostraremos por qué los dos métodos de conformación de la directividad son diferentes, cómo varían en distintos tipos de formaciones, y sugeriremos aplicaciones adecuadas para cada tipo cuando se utilizan con cajas de sub-bajos.

¿Por qué son diferentes?

La razón por la que mover un altavoz hacia atrás es distinto a retardarlo electrónicamente puede que no sea algo obvio de forma intuitiva, pero puede observarse gráficamente con facilidad.

La **Figura 1a** muestra dos altavoces ("A" y "B"), situados a derecha e izquierda a la misma distancia de un oyente situado al frente y otro colocado detrás. Dejaremos a un lado sutilezas como el emplazamiento del origen de tiempos, ya que no afecta al concepto fundamental que estamos tratando. El sonido de los altavoces A y B llegará al mismo tiempo a ambos oyentes.

Si ahora movemos el altavoz B hacia atrás (**Figura 1b**), el altavoz A está ahora más cerca del oyente situado al frente, por lo que éste recibirá su sonido antes de la llegada del sonido del altavoz B. Sin embargo, detrás de los altavoces ocurre al contrario: B llega al oyente antes que A. Ahora volvamos a colocar los altavoces en sus posiciones originales y apliquemos retardo electrónico al altavoz B. Hemos expresado esto gráficamente en la **Figura 1c** en forma de trayectorias que se curvan. Ahora el altavoz A llega antes que el B en ambos casos (delante y detrás). De esta forma tan sencilla se puede evidenciar que mover el altavoz B hacia atrás produce un resultado muy diferente al de retardarlo.

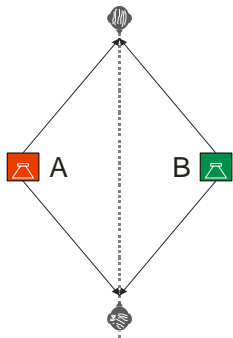


Fig. 1a.

Altavoces equidistantes de los oyentes

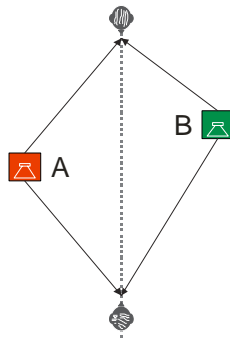


Fig. 1b.

Desplazamiento del altavoz B hacia atrás

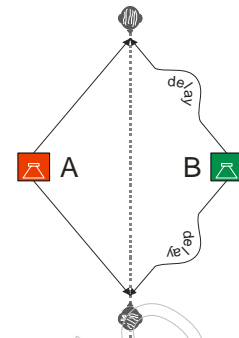


Fig. 1c.

El altavoz B se retarda electrónicamente

Orientación electrónica vs. giro físico de una formación

Como ya hemos visto, mover una fuente sonora hacia atrás con relación a una o más fuentes no es lo mismo que retardarlas por medios electrónicos.

Ahora veamos las implicaciones de ese hecho en el contexto de una formación vertical de altavoces, y modelicemos la cobertura de una columna de fuentes omnidireccionales. Con frecuencia, personalmente prefiero mostrar los resultados en forma de curvas polares, ya que con los mapas de planos con colores a menudo se hace difícil evidenciar el comportamiento a distancias lejanas. Asimismo, en este artículo usaré principalmente fuentes omnidireccionales en vez de fuentes reales (con una cierta atenuación hacia atrás, es decir, no perfectamente omnidireccionales) para concentrarnos en el efecto que la forma del agrupamiento tiene comparado con la respuesta direccional de una sola fuente.

En el ejemplo que se muestra en las **Figuras 2a y 2b**, hemos girado una columna físicamente de forma que apunte 30 grados hacia abajo, mientras que en las **Figuras 3a y 3b** las fuentes sonoras están retardadas electrónicamente (usando cantidades de retardo progresivamente mayores de arriba a abajo) de forma que el eje principal de radiación apunta 30 grados hacia abajo.

En la columna orientada mecánicamente la parte frontal de su radiación apunta 30 grados hacia abajo, mientras que la parte trasera apunta 30 grados hacia arriba, al tiempo que a derecha y a izquierda (o sea, 90 grados hacia los lados) se apunta recto, como si la columna no se hubiese girado en absoluto. La **Figura 2a** muestra un globo direccional en tres dimensiones que se asemeja a un platillo volante en ángulo, mientras que en 2b podemos ver curvas polares para las bandas de tercio de octava entre 80 y 160 Hz (el lóbulo principal de radiación se estrecha a medida que la frecuencia sube). Para la predicción hemos utilizado una columna de 7 metros (23 pies) con 12 fuentes.

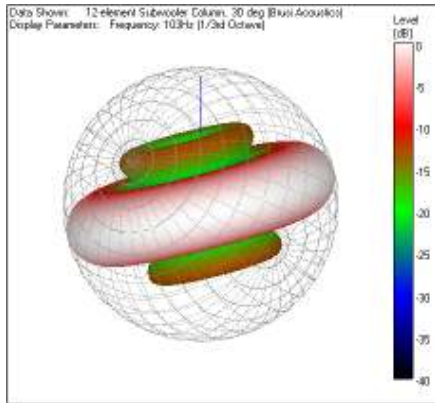


Fig. 2a. Globo tridimensional a 100 Hz para una formación girada mecánicamente

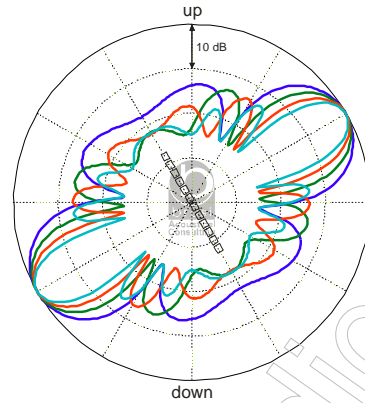


Fig. 2b. Polares verticales a 80, 100, 125 y 160Hz para una formación girada mecánicamente

La **Figuras 3a y 3b** ilustran lo que sucede cuando orientamos la formación utilizando retardo: el globo de directividad tiene forma de cono muy grueso que evidencia que el ángulo de 30 grados hacia abajo tiene lugar a todos los ángulos horizontales alrededor de la formación, y no sólo enfrente como ocurría con la orientación física. Los fabricantes de columnas acústicas con direccionalidad controlable digitalmente enfatizan el hecho de que la cobertura de sus productos produce una mejor cobertura que una sola caja acústica convencional apuntando hacia abajo.

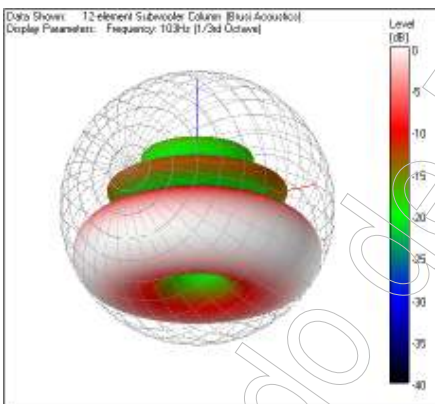


Fig. 3a. Globo tridimensional a 100 Hz para una formación con orientación por retardo

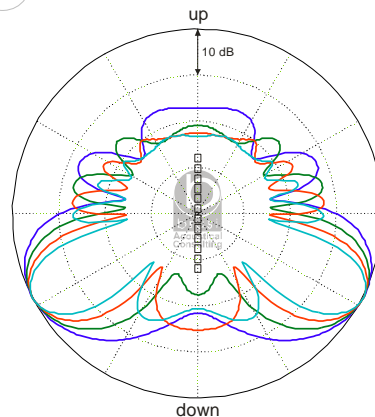


Fig. 3b. Las polares verticales a 80, 100, 125 y 160Hz para una formación con orientación por retardo

Nota: En ambos casos podríamos haber usado *frequency shading* para impedir que los lóbulos se estrechasen a medida que se sube de frecuencia con el fin de conseguir un ángulo constante de cobertura, pero creo que es mejor concentrarnos en el tema del artículo.

Para conseguir otra forma de ilustrar las diferencias entre orientar de forma mecánica o hacerlo con retardo, hemos modelizado un sistema de cada tipo en una sala (haciendo uso en esta ocasión de datos de altavoz con direccionalidad realista no perfectamente omni-direccional), y hemos mostrado la predicción en forma de mapas de presión para las paredes además de para el suelo. También hemos dibujado líneas, a diferentes ángulos horizontales, que representan la dirección en la que apunta el lóbulo principal.

En el caso de la columna orientada mecánicamente (**Figura 4a**), podemos ver que las líneas siguen la forma de un disco, lo que significa que algunas de las líneas apuntan a las paredes, y por ello el mapa muestra que se están radiando cantidades significativas de presión sonora hacia ellas. Cuando usamos retardo para orientar la radiación hacia abajo (**Figura 4b**), las líneas forman un cono, y la presión se concentra principalmente en el suelo. Las predicciones se han hecho para la banda de octava de 125 Hz ya que, aunque pueda ser, en cierta medida, poco realista como frecuencia para un sub-bajo típico de refuerzo sonoro, su cobertura más estrecha nos permite exagerar un tanto el efecto para mayor claridad. También puede observarse que el área cubierta se aproxima a un rectángulo en el caso mecánico mientras que en el caso electrónico se asemeja más a un arco.

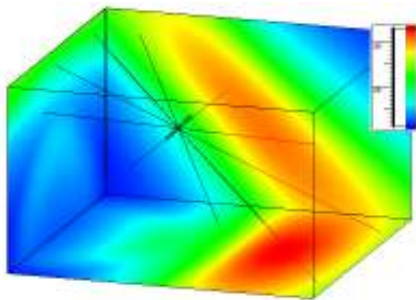


Fig. 4a. Mapa de cobertura a 125 Hz para una formación orientada mecánicamente

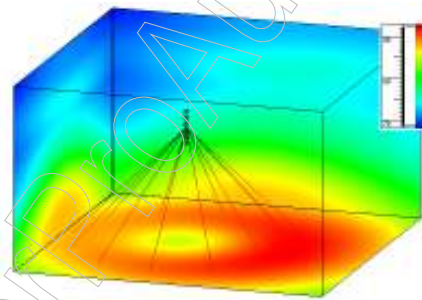


Fig. 4b. Mapa de cobertura a 125 Hz para una formación orientada electrónicamente

Arcos

Tras la explicación del inicio del artículo, podemos adivinar que un arco electrónico (aquel en el que la entrada de cada caja se retarda progresivamente desde el centro hacia los extremos de la formación) producirá la misma radiación hacia atrás que hacia delante para fuentes omnidireccionales. Un arco físico también genera un comportamiento simétrico hacia delante y hacia detrás en el campo lejano, pero, a corta distancia, los niveles traseros serán superiores. Esto ocurre porque con un arco circular todas las fuentes llegan al mismo tiempo al centro del círculo, que es el origen "virtual" de la formación. Por lo tanto se recomienda evitar arcos cuyo centro se encuentre en un lugar poco apropiado, como pueda ser el centro del escenario. Obviamente, este problema puede minimizarse con el uso de bajos direccionales, bien utilizando un modelo de caja cardioide, o bien desplegando varias cajas en configuración cardioide o *end-fire* (con dos o más arcos concéntricos)

Las **Figuras 5a y 5b** muestran las curvas polares para un arco físico con una apertura de 120 grados que se compone de 8 cajas de sub-bajos repartidas a lo largo de 5 m (16,5 pies), con un radio de 3 m (10 pies). En el campo cercano (**Fig. 5a**) puede verse el incremento de presión en la parte trasera cuando se usan fuentes omni-direccionales en la predicción, con unos 6 dB menos de presión delante (aunque este número varía significativamente con la frecuencia como puede verse en las curvas polares). En la vida real, puesto que el bajo tiene cierta direccionalidad, esto quiere decir que una caja típica radiará similares niveles hacia

delante que hacia detrás. Además, en el campo próximo el patrón trasero es más estrecho que el delantero.

Sin embargo, a medida que nos alejamos de la formación, las polares se vuelven simétricas, radiando el mismo nivel hacia atrás y hacia delante. Esto puede verse en la **Figura 5b**, que muestra unas polares casi perfectamente simétricas calculadas para una distancia de 30 m (98 pies) desde el centro de la formación. (50 Hz=azul oscuro, 63 Hz=verde, 80Hz=rojo, 100Hz=azul claro, 125 Hz =morado, 160Hz=mostaza; para las Figuras 5a, 5b y 5c).

La **Figura 5c** muestra los resultados en campo lejano para un arco electrónico, constituido por cajas equidistantes que seguirían "virtualmente" el mismo arco que hemos usado anteriormente. A diferencia del arco físico, la versión electrónica muestra los mismos niveles hacia atrás y hacia delante tanto cerca como lejos de la formación.

Un arco electrónico no sufre de acumulación de presión en la parte trasera y requiere menos espacio delante del escenario, que necesita el espacio para el arco y también puede que, a menos que usemos bajos direccionales, un espacio adicional para sacar el mencionado "centro virtual" del escenario. A diferencia del uso de retardo para orientar electrónicamente una formación, donde cada elemento de ésta necesita un tiempo diferente de retardo, aquí podemos usar el mismo tiempo de retardo para parejas de cajas colocadas en la misma posición a cada lado del arco, con lo que podemos usar el mismo canal de amplificador y de DSP. A los precios de hoy en día, una unidad de DSP para los subs es normalmente algo accesible. El cálculo de los tiempos de retardo para conseguir un arco electrónico con una formación de cajas equidistantes en línea recta es un poco complejo desde un punto de vista matemático. Sin embargo, con un trozo de cuerda podemos marcar en el suelo un arco circular como referencia física para medir las distancias "virtuales" de parejas de sub-bajos.

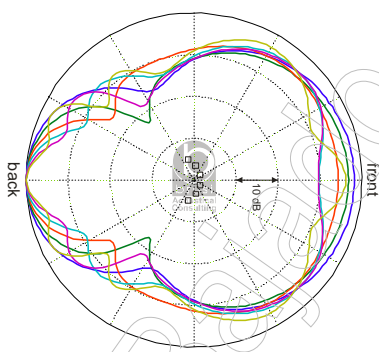


Fig. 5a. Polares horizontales para un arco físico de 6 elementos a 5 m (16.5 pies)

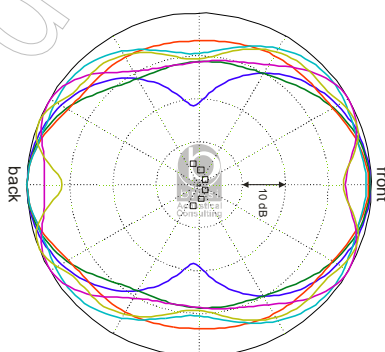


Fig. 5b. Polares horizontales para un arco físico de 6 elementos a 30 m (98 pies)

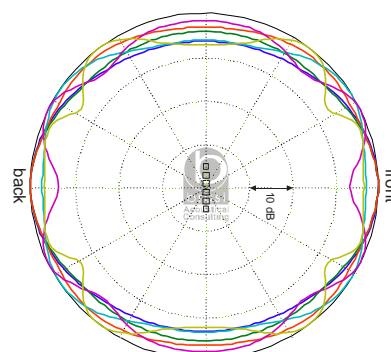


Fig. 5c. Polares horizontales para un arco electrónico de 6 elementos a 30 m (98 pies)

Casos prácticos

Caso A. Formación vertical colgada en concierto al aire libre

Si colgamos una formación de sub-bajos y necesitamos orientarla hacia la audiencia, podríamos sentir la tentación de optar por un colgado recto, más limpio y sencillo, e implementar la inclinación de forma electrónica. Al hacer esto la radiación delantera quedará orientada hacia abajo. Pero también la trasera, lo que podría generar problemas potenciales tales como molestias por ruido a las viviendas circundantes y quizá también problemas en el escenario, como puede verse en la **Figura 6a** (de nuevo, el uso de sub-bajos direccionales puede reducir la radiación trasera y evitarnos los problemas mencionados). Sin embargo, si la formación está físicamente angulada hacia abajo, el lóbulo de radiación trasera apuntará hacia arriba (**Figura 6b**) y evitaremos problemas.

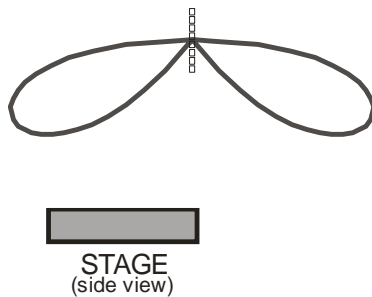


Fig. 6a. Vista lateral del escenario, formaciones orientadas electrónicamente

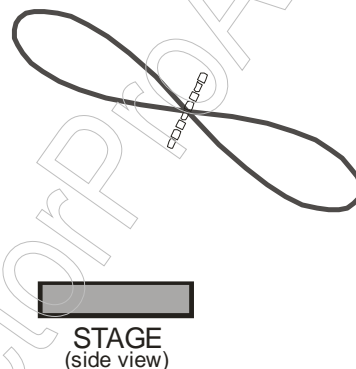


Fig. 6b. Vista lateral del escenario, formaciones orientadas mecánicamente

Caso B. Configuración más abierta de sub-bajos a derecha e izquierda

Irremediablemente, cuando se usan sub-bajos a derecha e izquierda, la interferencia entre ambos genera el conocido [callejón de potencia](#) en el que el nivel de bajos del sistema es claramente superior (algo fácilmente experimentable en exteriores).

Además, la cobertura de bajos no es uniforme porque los patrones de interferencia varían con la frecuencia. Una forma de minimizar la interferencia derecha-izquierda es apuntar las formaciones de sub-bajos hacia afuera para reducir el solapamiento de sus coberturas¹. Si hacemos esto físicamente (**Figura 7a**), la radiación trasera apuntará hacia el escenario, incrementándose el nivel de bajos de sistema principal en el escenario (de nuevo, el uso de sub-bajos direccionales reducirá esta contaminación). Sin embargo, si las formaciones son orientadas hacia afuera electrónicamente (**Figura 7b**), el lóbulo trasero se alejará del escenario. Este caso es el mismo que el caso A descrito anteriormente, excepto por el hecho de que estamos tratando con cobertura horizontal en vez de vertical.

¹ El callejón en sí seguirá prácticamente igual, pero en las zonas intermedias se obtendrá una cobertura algo más uniforme.

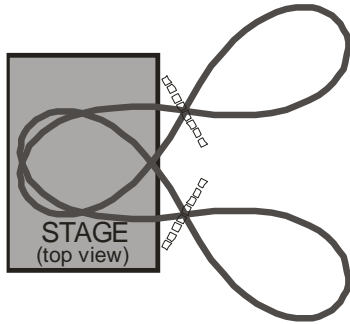


Fig. 7a. Vista superior del escenario, formaciones orientadas mecánicamente

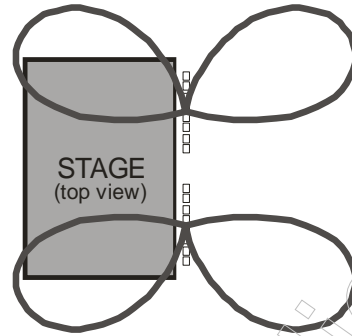


Fig. 7b. Vista superior del escenario, formaciones orientadas electrónicamente

Caso C. Formación de sub-bajos con cobertura de 360 grados para recinto deportivo interior

En las instalaciones de recintos deportivos con sistemas centrales, si se usan sub-bajos éstos deberán generar una cobertura e 360 grados que apunte hacia abajo (hacia las gradas) en mayor o menor medida. Conseguir esto con orientación física sería simplemente imposible, pero puede conseguirse con el uso de retardo. El diseño sugerido utiliza una configuración algo inusual. Puesto que los altavoces reales no son enteramente omnidireccionales (la típica caja de dos altavoces de 18" emitirá 4-6 dB menos hacia atrás que hacia adelante), para conseguir el mismo nivel detrás y delante utilizamos una disposición "cara-a-cara" que, aunque sea algo poco intuitivo, también proporciona alineamiento de fase entre las columnas si se colocan a la distancia correcta entre ellas.

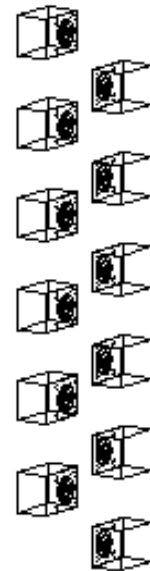


Fig. 8a. 3D view of 360-degree array

Para evitar colgar demasiado peso, podríamos alternar los elementos de las formaciones como se ve en la ilustración, una configuración que también minimiza obstáculos a la expansión del frente de onda. Esta disposición de dos columnas enfrentadas junto con el uso de orientación electrónica produce el globo de directividad que se ve en la **Figura 3a** (excepto porque los lados están un poco achatados) y las polares horizontales y verticales que pueden verse en la **Figura 8b**. Como cualquier formación de bajos, una formación más larga genera patrones más estrechos de radiación, por lo que diferentes recintos requerirán distintas longitudes de formación que se adapten a su geometría. Desde el punto de vista de la uniformidad de nivel, la configuración de la ilustración, con fuentes reales no perfectamente omnidireccionales, producirá una presión sonora algo menor a los lados (en nuestro caso, alrededor de 3 dB menos para una caja con un solo altavoz de 18" en radiación directa), lo

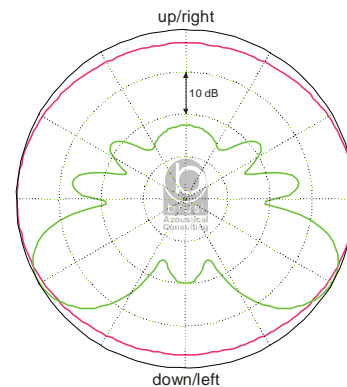


Fig. 8b. Polares horizontales y vertical de formación para 360 grados a 100 Hz

cual resulta beneficioso en una recinto rectangular para los diferentes tiros que hay hacia las gradas cortas y largas. Por otro lado, dado su perfil con el mismo ángulo de orientación hacia abajo en los 360 grados, desde el punto de vista de ese ángulo de orientación esta configuración sería ideal para un sistema central en recintos circulares como una plaza de toros o un palenque mejicano (cubierto). En ambas aplicaciones la variación de 3 dB entre los lados y las posiciones de escucha directamente delante o detrás parecen poco significativas aunque, opcionalmente, las variaciones en los niveles de la polar horizontal podrían reducirse al mínimo con una disposición de cuatro columnas.

Apéndice: Atención al espaciado

Como sabemos por las "leyes" de los sistemas de formación en línea, existe un espaciado máximo entre fuentes para una frecuencia dada. Si ese espaciado se excede, la formación pierde la capacidad de controlar la directividad, y las frecuencias más altas mostrarán lóbulos de radiación a los ángulos equivocados y finalmente perderán completamente el control de directividad. Estas leyes se quedan un tanto cortas para una formación orientada electrónicamente, ya que ésta requiere una mayor densidad de fuentes.

La **Figura 9a** muestra la representación tridimensional del globo de directividad de una columna con orientación electrónica con un espaciado excesivo (1,39 metros o 4.5 pies). Puede observarse un lóbulo superior muy significativo que con toda seguridad provocará problemas de reverberación en esa frecuencia en un recinto cerrado. La **Figura 9b** muestra las polares de tercio de octava de 80 a 250 Hz para la misma formación, pudiendo verse que las tres frecuencias más altas tienen un comportamiento poco recomendable (utilizando un término valenciano, yo hablo de "ferlamá direccional" porque salta por los aires el concepto de lóbulo central). Sin embargo, una columna de subs mecánicamente girada (**Figura 9c**) con el mismo espaciado sólo exhibe malos modales a 250 Hz (que corresponde a una longitud de onda cercana al espacio entre fuentes, como era de suponer).

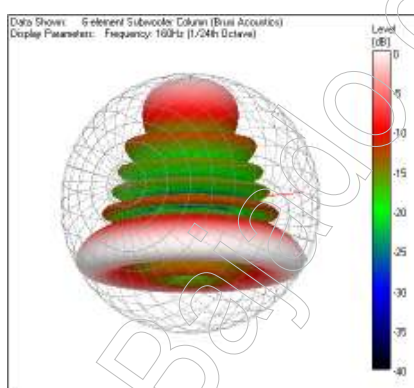


Fig. 9a. Globo de directividad a 160 Hz para una columna de 6 elementos orientada electrónicamente

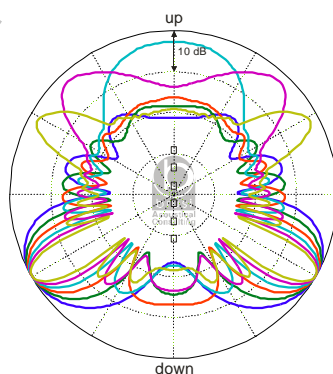


Fig. 9b. Polares verticales, columna de 6 elementos orientada electrónicamente a 80, 100, 125, 160, 200 y 250 Hz

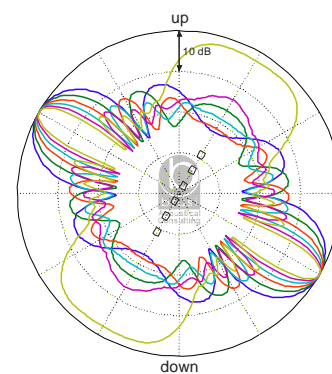


Fig. 9c. Polares verticales, columna de 6 elementos orientada mecánicamente a 80, 100, 125, 160, 200 y 250 Hz

NOTA: Agradezco a Joan La Roda las mediciones que confirmaron los resultados de la configuración cara-a-cara de sub-bajos.

José (Joe) Brusi es consultor electroacústico.