

Procesadores de Audio para FM / AM/ HD

Tutorial

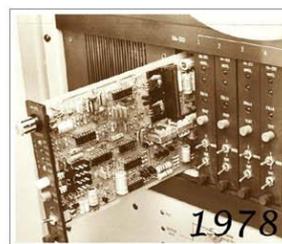
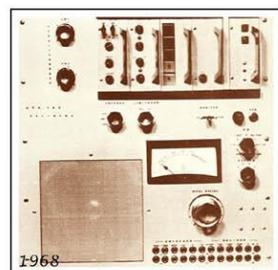
- Una nueva tecnología, creada durante 50 años de investigación, que ha cambiado el sonido de la Radio en 65 países
- Use las teclas de flecha
- → ← para mover las diapositivas

Desde 1968 estamos fabricando procesadores de audio para Radio...

Otros fabricantes, en 1968, eran CBS Labs, RCA, Gates y Telefunken....

...Todas esas firmas fueron desapareciendo del mercado a lo largo de estos 50 años en que Solidyne siguió innovando.

Hoy somos la empresa más antigua del mundo en este campo





Nuestra experiencia es una garantía de calidad para su Radio

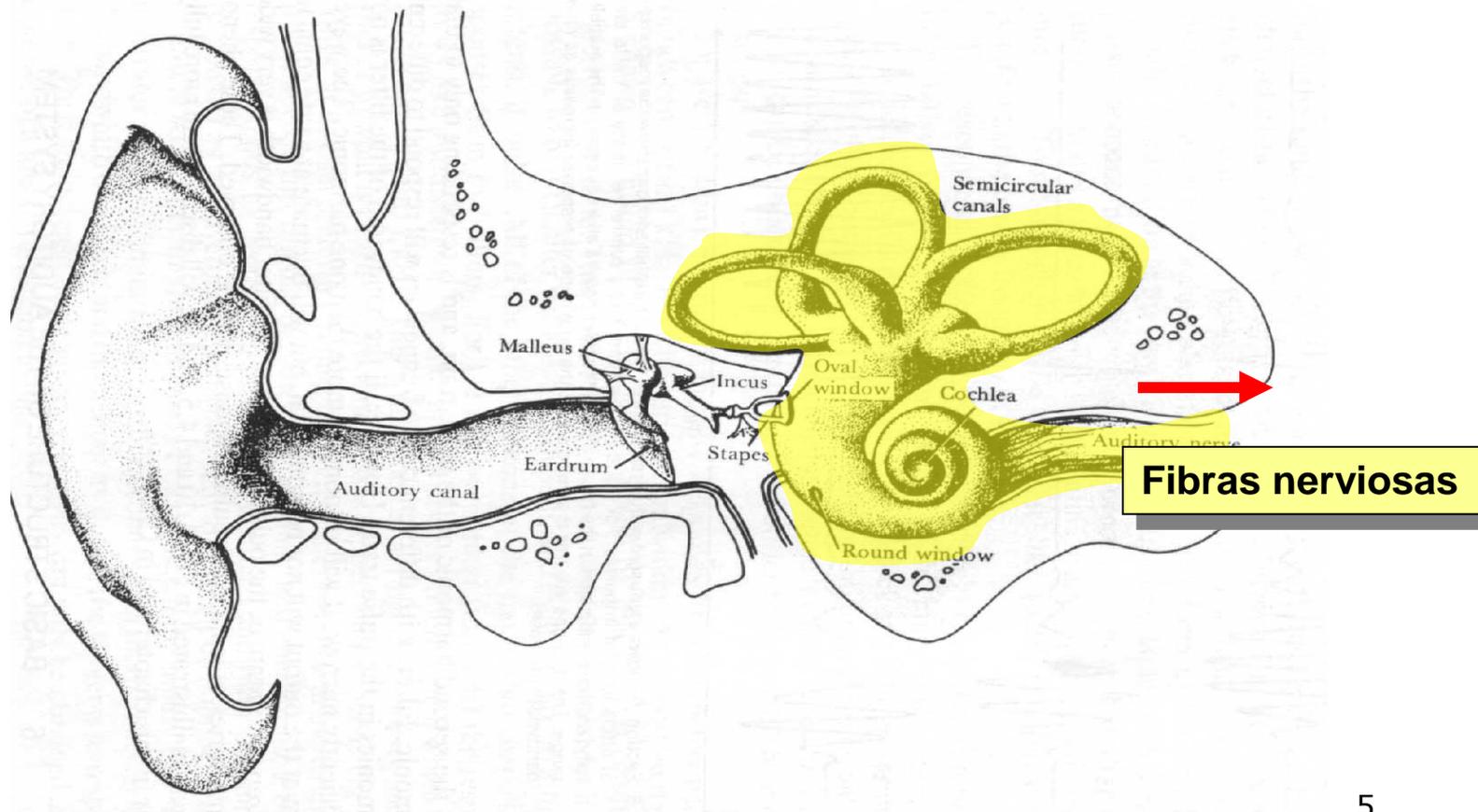
- Diseñar y fabricar procesadores es como fabricar violines. La calidad de audio no es un simple problema técnico sino función de la forma en que el cerebro humano interpreta los sonidos.
- Hemos pasado muchos años investigando en este campo y publicando trabajos científicos. Nuestros 50 años de investigación ayudarán a su radio a ser más competitiva y destacarse de las demás.
- Tratemos de entender, sumariamente, el proceso de la audición, que es la base de los modernos procesadores de audio digitales.

Psicoacústica: la base científica

- Desde hace muchos años que los investigadores de Solidyne estudian el campo de la Psicoacústica. Esta ciencia analiza la forma en que el cerebro humano interpreta los impulsos nerviosos provenientes del oído

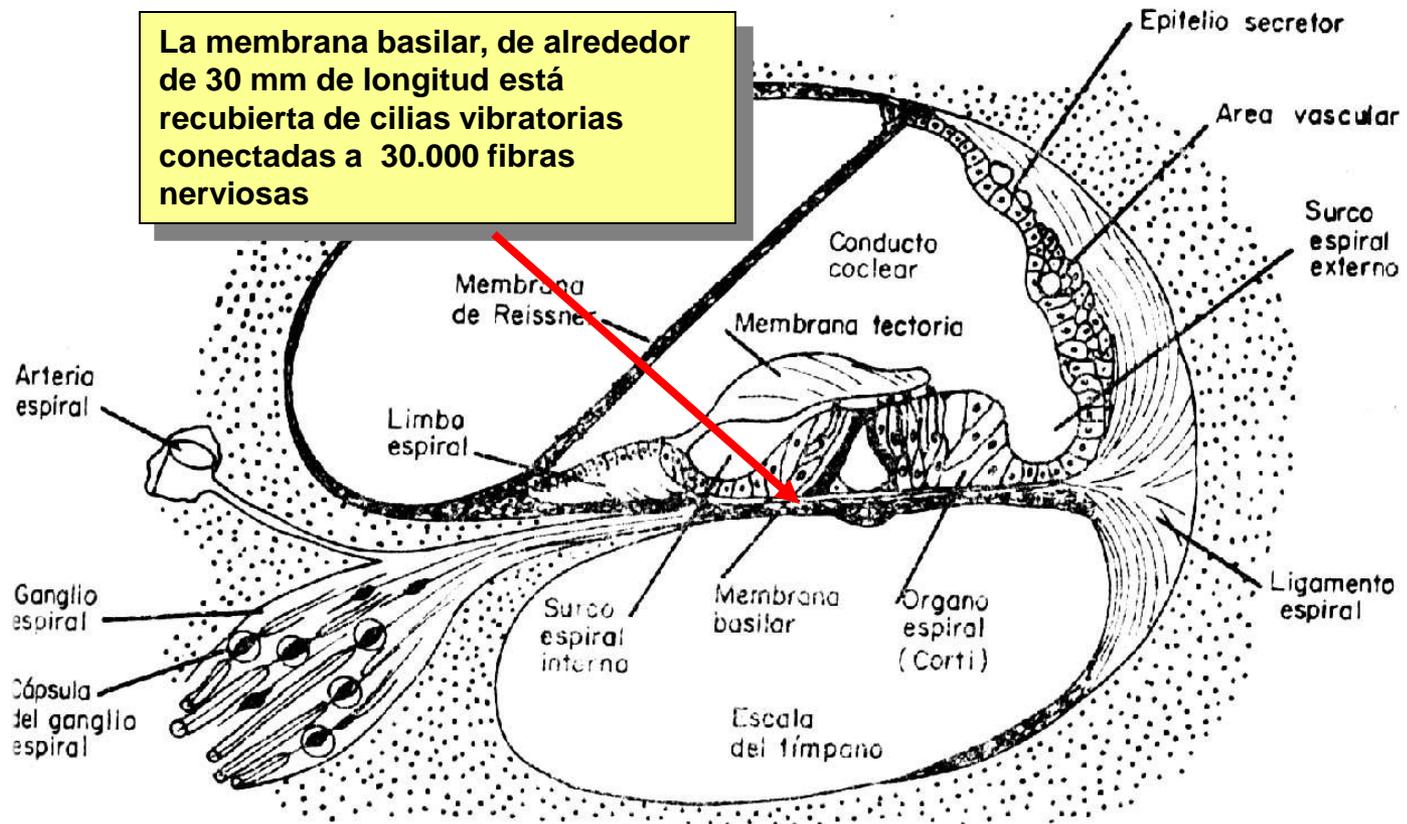


Los procesos psicoacústicos se inician en el oído interno, en particular en la membrana basilar



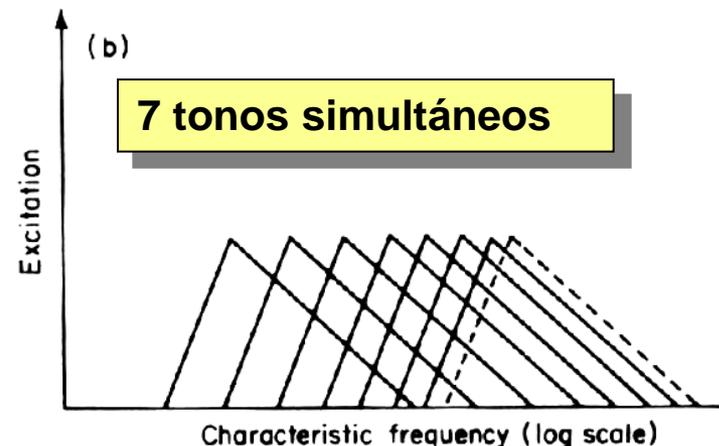
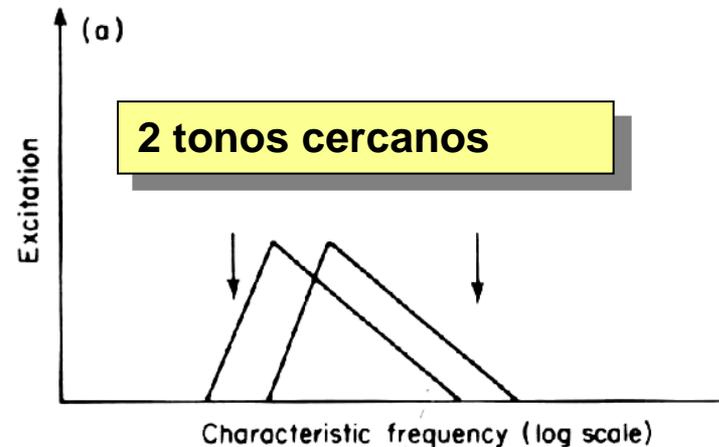
Dentro del oído interno se encuentra la Cóclea y la membrana basilar

La membrana basilar, de alrededor de 30 mm de longitud está recubierta de cilias vibratorias conectadas a 30.000 fibras nerviosas



Las ondas estacionarias dentro de la Cóclea excitan las cilias de la membrana basilar activando las fibras nerviosas de cada frecuencia

- La excitación tiene una forma trapezoidal y activa una zona específica de la membrana
- A cada frecuencia le corresponde una zona

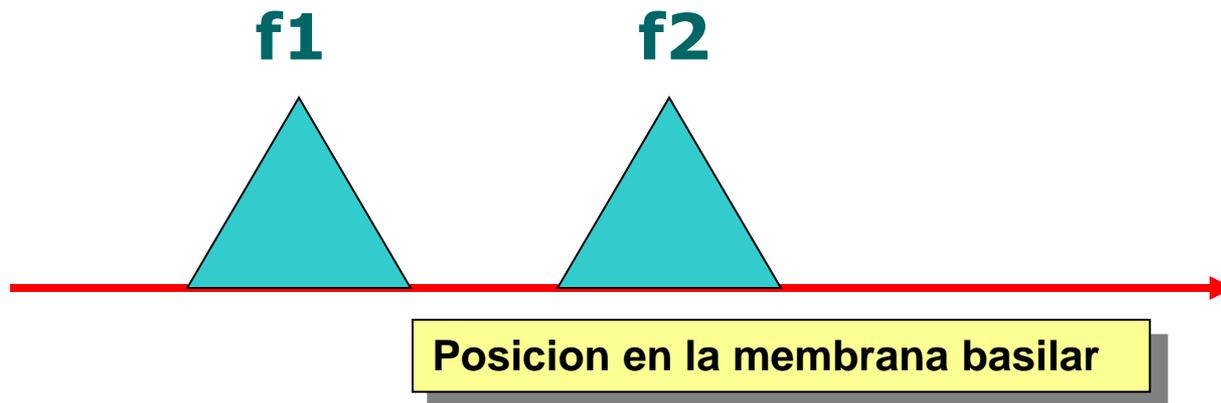




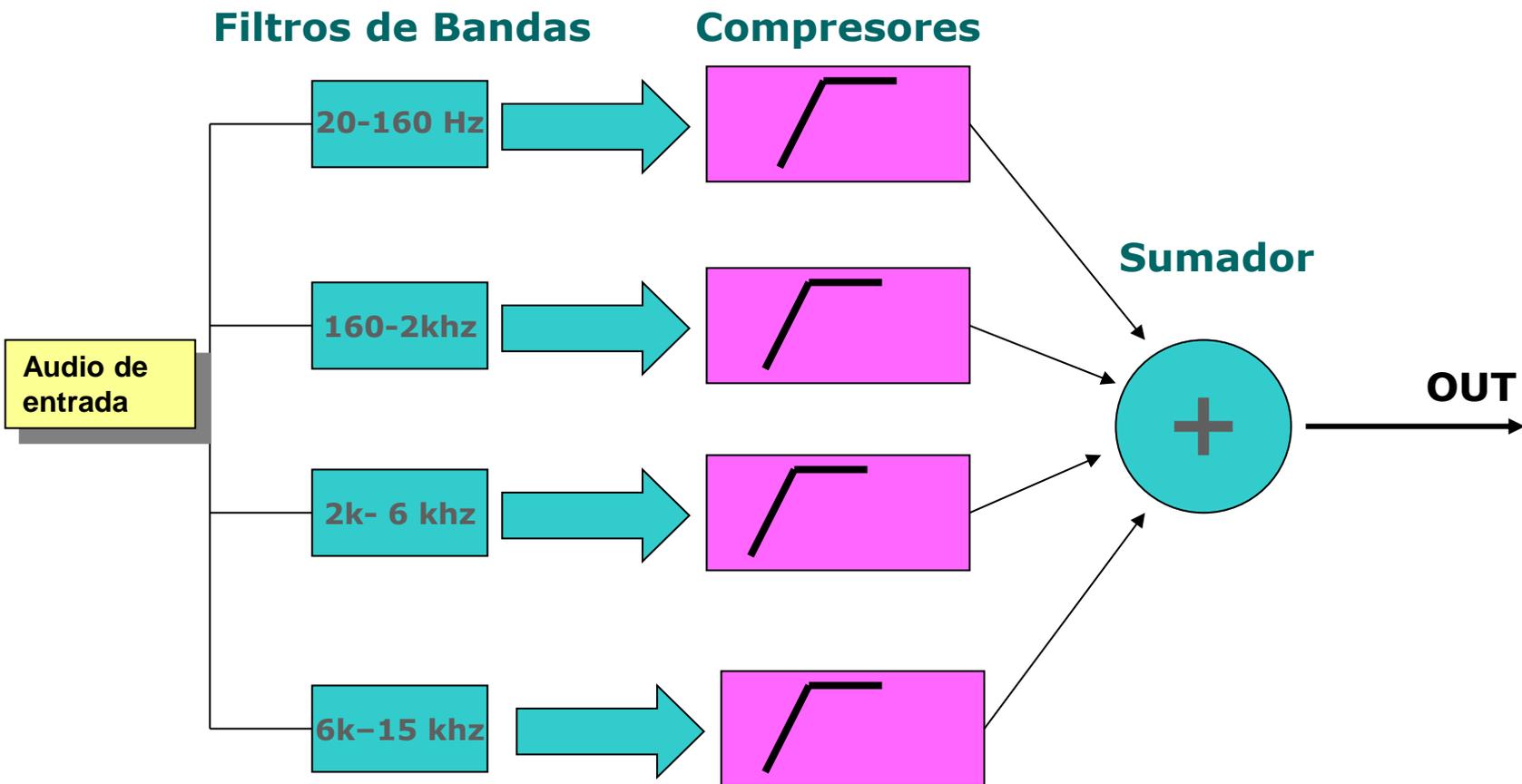
Para obtener una sensación de fuerza sonora y de gran sonoridad, es necesario excitar la mayor parte de la membrana basilar

La música y la palabra solamente excitan determinadas porciones de la membrana

pues concentran su energía en una o dos bandas

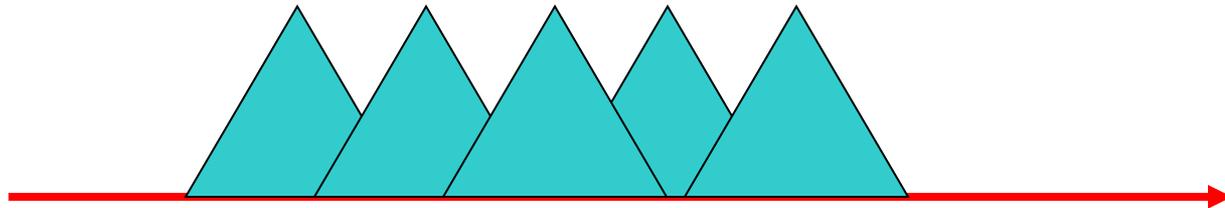


¿Qué hace un procesador digital multibanda ?



La acción de los compresores eleva casi al mismo nivel la energía de todas las bandas

Esto produce mayor excitación en la membrana basilar
Y esto se traduce en mayor sonoridad

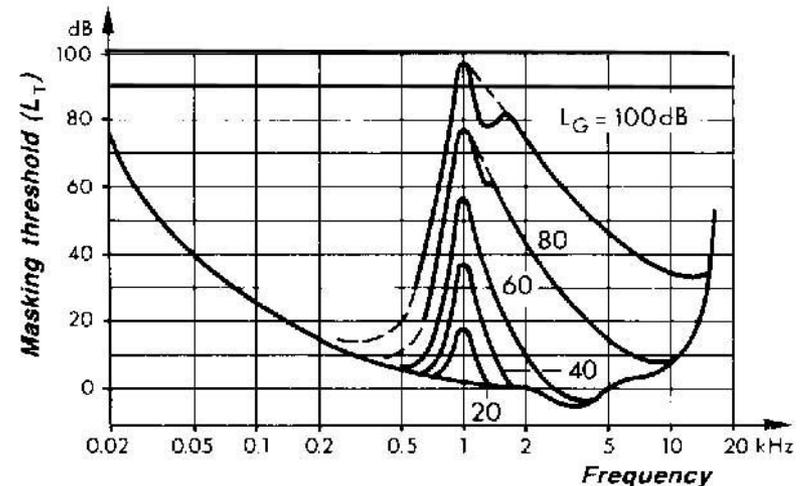
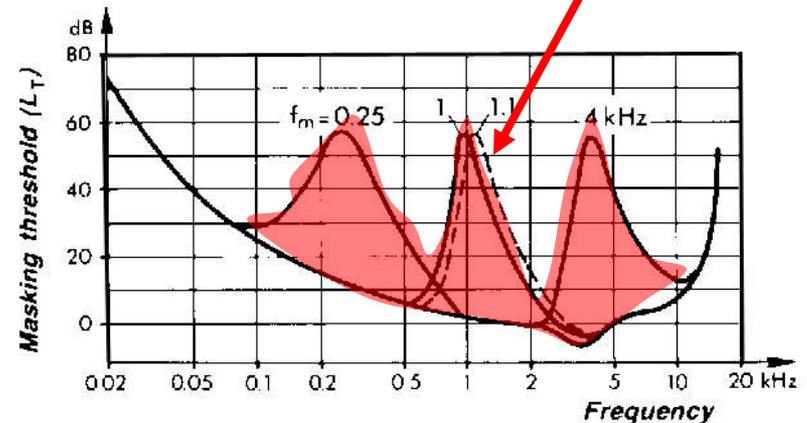


Posición en la membrana basilar

Enmascaramiento de 3 tonos

- El enmascaramiento se define como la elevación del umbral de audición debido a la presencia de uno o más tonos enmascarantes
- El procesado multibanda excita la membrana basilar en muchas bandas aumentando el enmascaramiento y permitiendo que se usen mayores dosis de limitación de picos, sin ser audible.
- **Puede verse en el APENDICE de esta presentación, una ampliación de estos conceptos**

En color rojo: Zonas de sonido inaudible debido al enmascaramiento de los 3 tonos



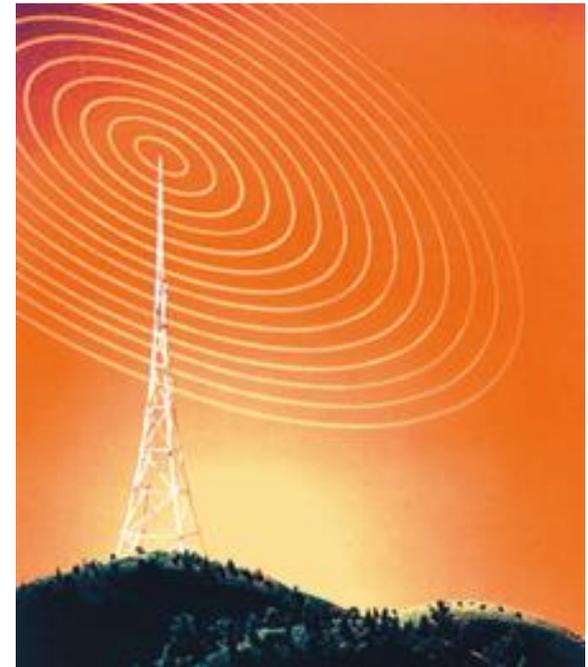
Los procesadores de audio **mejoran** la calidad de sonido

- Los procesadores que Solidyne fabrica están sustentados en la preferencia de oyentes altamente calificados y en miles de horas de **pruebas en el aire**



El procesado de audio **aumenta el alcance** de una radio

- El procesado digital aumenta la energía de las señales de audio, sin superar el 100% de modulación.
- Aumenta entre un 50 % y un 80 % el área cubierta en AM y FM*
- *Veremos en el APENDICE una demostración de este efecto, así como algunos conceptos extraídos del Journal of AES (USA), Junio de 1976: Oscar Bonello, New Improvements in... JAES vol 24
Así como del más reciente paper en JAES, March 2007, Oscar Bonello*



Volvamos al mundo real...

- Veamos los procesadores más avanzados del mercado y que hacen posible concretar estas ideas

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core

- El 542 APC es un procesador desde 4 a 8 bandas, tope de línea.
- Creado para quienes necesitan tener el mejor sonido del mercado
- Incluye RDS coder y un Monitor de FM con Analizador de Modulación



Solidyne 542 APC

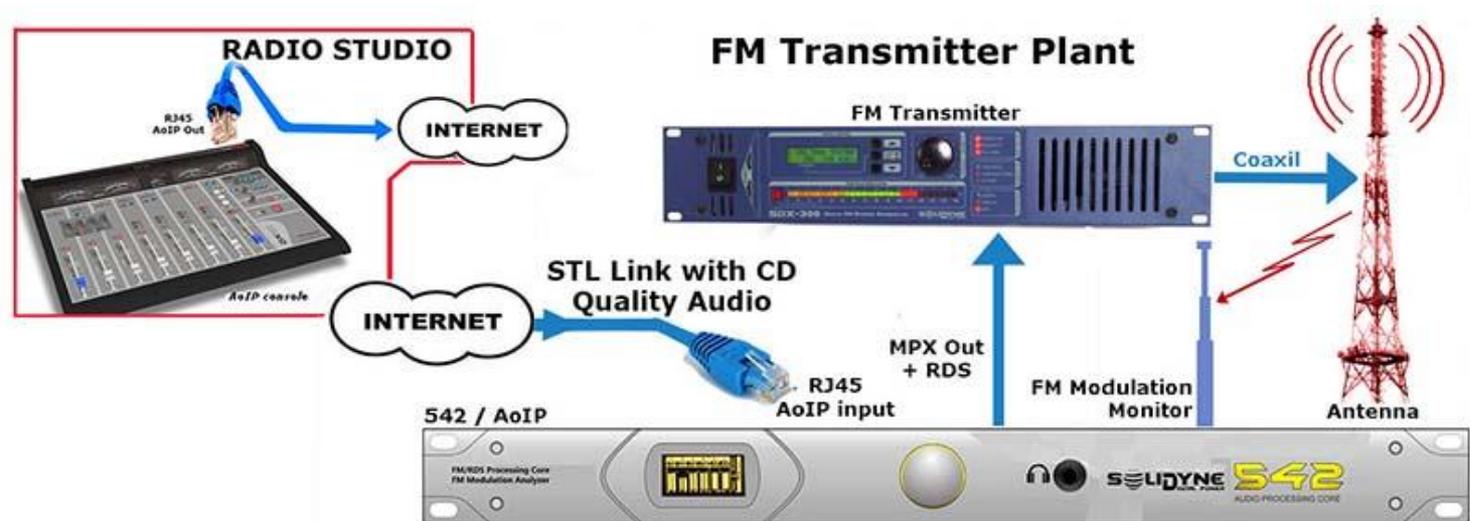
Audio Processing Core



- El 542 elimina la necesidad de cambiar continuamente de equipo para seguirle el paso a los avances tecnológicos.
- Pues está basado en software; Ud compra **una sola vez el equipo** y lo actualiza gratis durante muchos años cambiando el software desde cualquier lugar por Internet **y sin interrumpir la transmisión**
- Incluso puede convertir un procesador de 4 bandas en uno de 6 u 8 bandas

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core



- El 542/AoIP le permite conectarse con audio digital directamente a planta transmisora SIN tener que adquirir un costoso enlace digital
- También la información RDS viajará por Internet
- La calidad de sonido y los parámetros de transmisión son medidos por un Monitor de Modulación digital y son vistos en estudios

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core



- *El procesador 542 sincronizado con su Monitor de Modulación permite compensar en módulo y fase al transmisor, cable coaxil y antena para lograr una excelente sensación de estéreo que ningún otro procesador ofrece*

Es conocido que el cable coaxil y la antena de FM producen ondas estacionarias que reducen mucho el efecto estéreo de su radio de FM introduciendo distorsión de audio
(Ver paper de Jampro Antennas en AES 31st Convention Preprint 502)

Jamás una radio se escucha al aire igual de bien que a la salida del procesador...

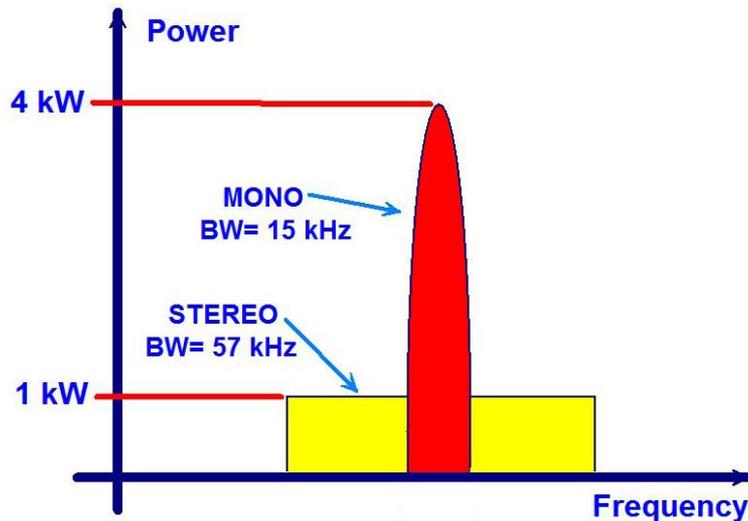
Pero ahora, por primera vez en la historia de la radio, un procesador de audio incluye un monitor de modulación que opera sincronizado con la señal de audio transmitida compensando los errores de módulo y fase del transmisor, cable coaxil y antena, logrando una perfecta sensación estéreo.

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core

Otra exclusividad del 542:

Podrá lograr un gran alcance multiplicando por 4 su potencia efectiva en las transmisiones periodísticas, noticiosos, deportes y anuncios comerciales



Vea el video demo de audio en nuestro website

Un sistema de programación automática desde Estudios permite pasar a MONO la transmisión durante los programas que empleen la voz humana, sin que la audiencia note en absoluto el cambio.

Solamente la música se transmite en estéreo.

La energía del transmisor que en estéreo se desparrama sobre un gran ancho de banda, en mono se concentra en apenas un cuarto del ancho de banda, aumentando 4 veces su potencia efectiva al aire

(Ver el *NAB Engineering Handbook*)

Esto aumenta el alcance y elimina las interferencias de radios cercanas y la distorsión por caminos múltiples en las ciudades.

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core



Es sabido que el preset óptimo del programa de los procesadores ES MUY DIFERENTE para voz o para música. Generalmente las radios terminan usando un "ajuste promedio" que jamás es perfecto para ninguno de ambos casos....



Pero ahora siempre tendrá el ajuste óptimo pues cuando se abren los canales de micrófono, en el 542 de Planta Transmisora se conmuta al programa óptimo para las voces de sus locutores También en música es posible desde el software de automatización cambiar los presets para diferentes estilos musicales

Solidyne 542 APC

Audio Processing Core



Desde cualquier PC o Tablet por WiFi podrá ver y modificar todos los ajustes del 542, desde cualquier lugar del mundo

Por primera vez también podrá ver y medir la calidad de sonido, separación de canales, rango dinámico, potencia efectiva radiada, etc

Nadie puede ofrecerle este gran salto que le permitirá ganar audiencia

Ante cualquier falla técnica el 542 enviará un mail a su celular para saberlo al instante



Procesadores de Audio de bajo costo

Máxima calidad de audio y alcance

Para estaciones de FM de baja potencia,
grabación digital y streaming

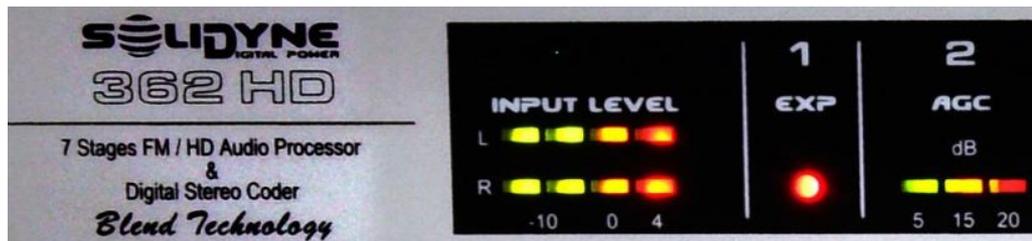
AudiMax 362HD: el sonido analógico high end

- Para los que disponen de un presupuesto más modesto y no quieren resignar calidad, la serie 362HD de 3 bandas incorpora 7 procesadores más un generador estéreo digital dentro de un sólo gabinete
- Tiene controles simples de usar para personalizar el sonido de su radio. Nunca necesitará de un especialista para ponerlo al aire...
- Mediante um switch interno lo conmuta al modo streaming y grabación digital, lo que permite usarlo en producción



AudiMax 362: el sonido analógico high end

- El 362 tiene ajuste automático de nivel de entrada. Se adapta a cualquier modelo de consola. Y mantendrá felices a los operadores pues se auto-nivela para lograr siempre el 100 % de modulación

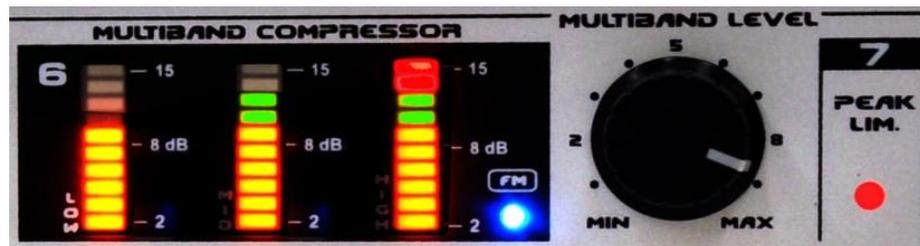


AudiMax 362: el sonido analógico high end

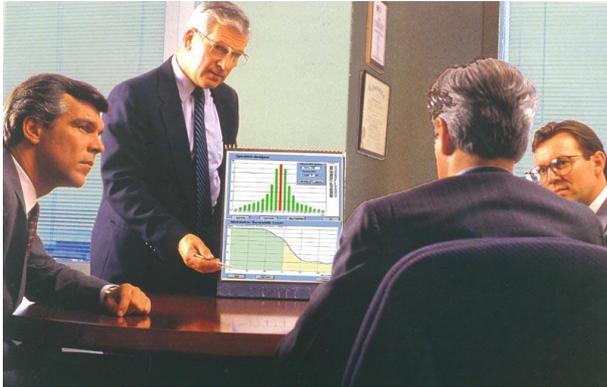


- El 362 brinda el clásico sonido del audio analógico *High End* que caracteriza a los discos de vinilo.

Ese sonido suave y aterciopelado que ... mejor escuche el demo y así nos entenderá perfecto.



Ahora nos preguntamos: ¿cómo reconocer la calidad de un procesador digital de audio antes de comprarlo?



Los procesadores de audio deben tener más de 90 dB de rango dinámico y menos del 0,02 % de distorsión...

Pero esto es sólo el principio



-
- Los procesadores de audio son como los violines y los micrófonos: no hay especificación técnica que pueda definirlos...
 - Le damos entonces dos consejos:

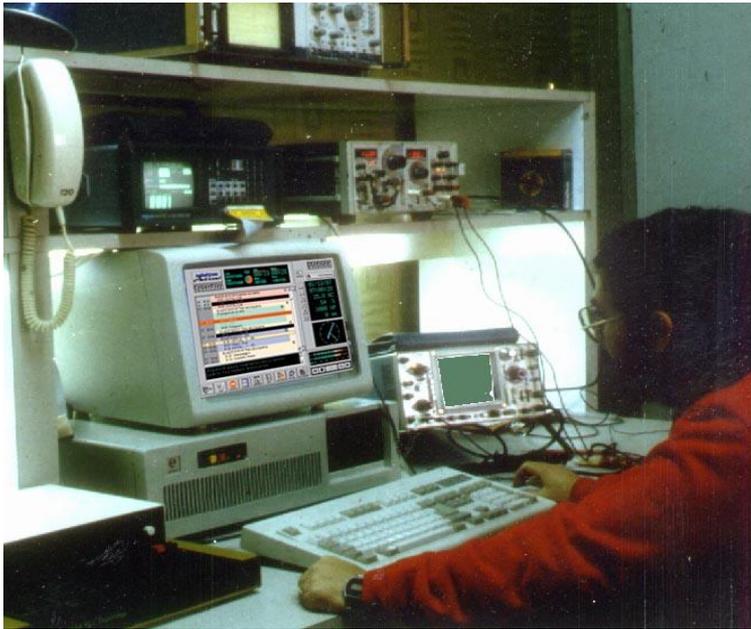


1 Tenga en cuenta el prestigio y los trabajos publicados de la firma que le ofrece el equipo

- Quien no publica es porque no investiga.
- Quien no investiga solamente puede ofrecerle equipos de sonido mediocre y que NO aumentan el alcance de su radio

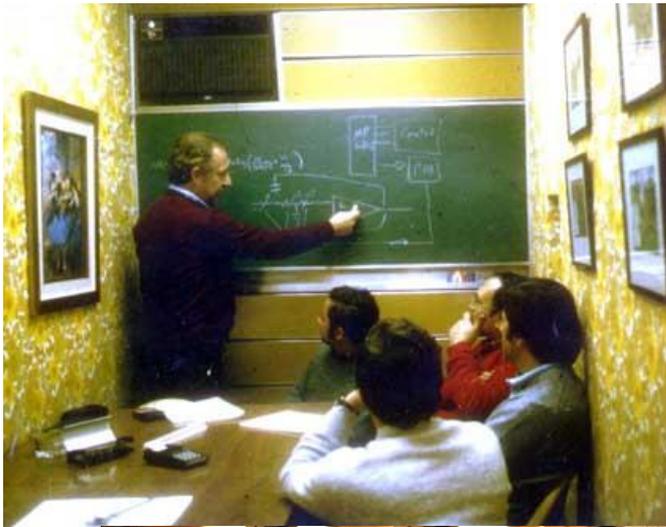
Desde hace casi 50 años nuestros ingenieros están creando productos de alta innovación. Somos el fabricante de procesadores más antiguo del mundo

Hoy tenemos 11 patentes de Invención

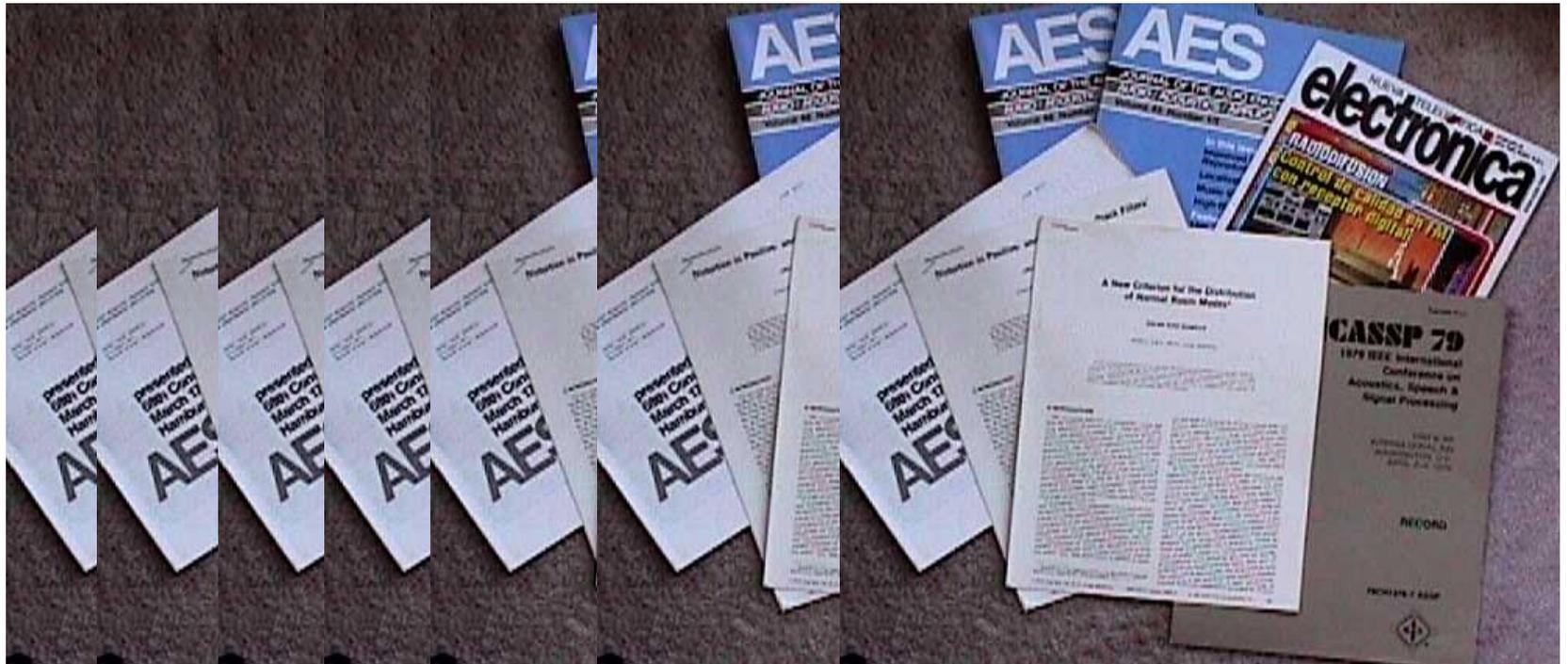


Nuestros laboratorios han desarrollado productos que son vendidos en 65 países

Hay más de 7.000 procesadores de audio Solidyne en el mundo



Más de 150 publicaciones técnicas y científicas son el resultado de nuestra labor



2

Antes de comprar escuche demos de audio grabados desde el aire en una transmisión real de FM

- Solidyne siempre provee en nuestra WEB videos y demos de audio de sus procesadores de audio. Grabados desde el aire en una transmisión real de FM en la ciudad de Buenos Aires

Procesadores de Audio

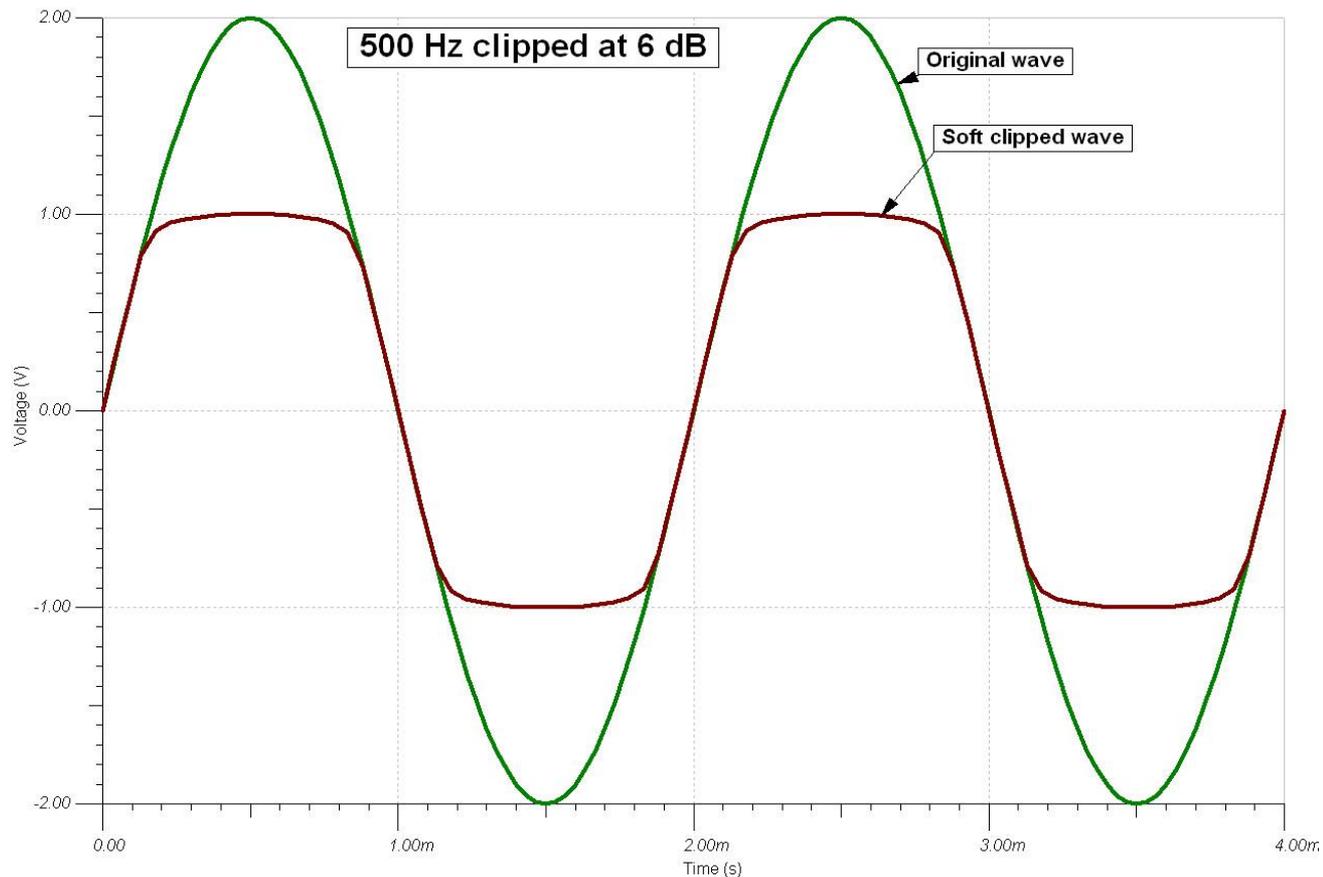
- Gracias por su tiempo...
- Por favor, muestre este tutorial a otros miembros de la Radio; cuanto más sepan de los sistemas de procesado de alta tecnología, más escuchada por la audiencia será su radio...
- Si Ud quiere profundizar el tema acerca de cómo el procesado también aumenta el alcance en FM, puede ver a continuación el Apéndice siguiente, cuyo contenido está dirigido a ingenieros.

APENDICE

- Analizaremos primero el efecto de un recortador de audio y de cómo puede eliminarse la distorsión que el mismo genera, mediante un uso inteligente del enmascaramiento
- Veremos las ventajas del simetrizado de picos en la voz humana
- Finalmente investigaremos el tema del aumento del alcance de FM estéreo debido al procesado de audio

Recortador de audio (clipper)

- Analicemos un caso concreto de un recortador suave de 6 dB

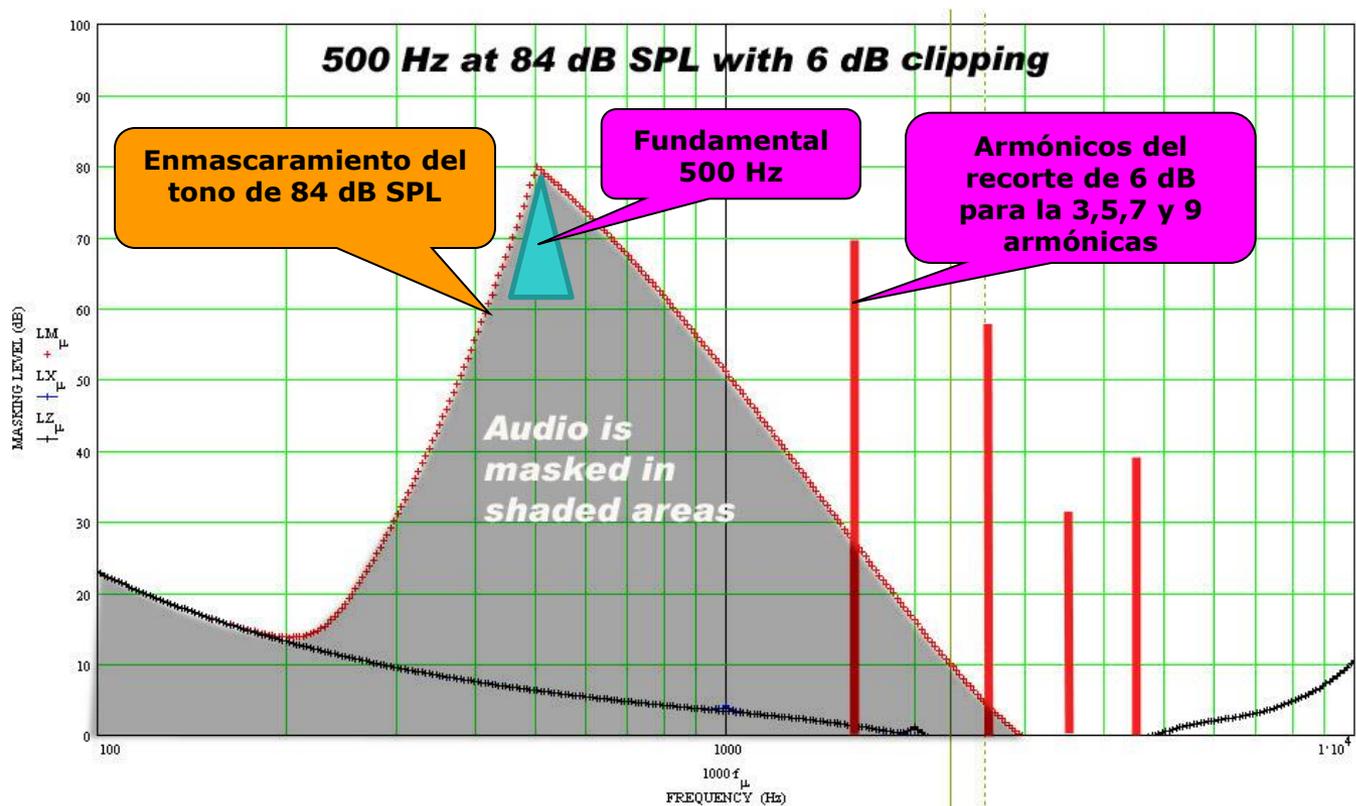


Efectos audibles del recortador

- El uso de recortadores aumenta considerablemente la potencia transmitida pues la onda recortada al tener más superficie para el mismo valor de pico, posee más energía Pero... ¿qué pasa con la distorsión?
- Realizaremos un análisis de la audibilidad de la distorsión, teniendo en cuenta, como siempre lo hacemos, el enmascaramiento que el tono produce
- Para graficarlo usaremos las ecuaciones de cálculo de enmascaramiento propuestas por:
Terhardt et al, JASA, Vol 71, pag 679, March 82
- Usaremos un tono de 84 dB SPL recortado 6 dB. Llevaremos a un mismo gráfico el enmascaramiento y la distorsión producida

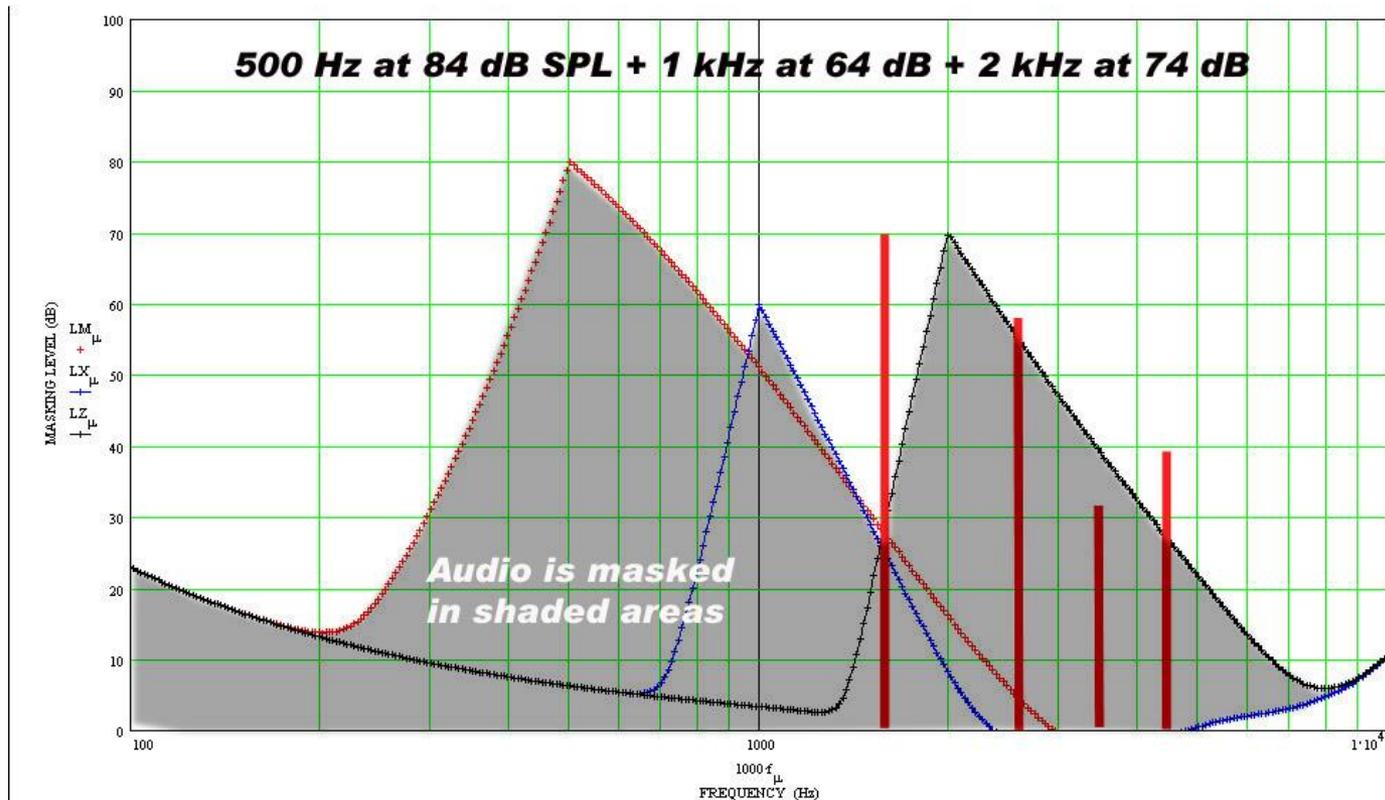
Efectos audibles del recortador

Para ver mejor el resultado, se han sombreado las zonas en que el sonido no es percibido por el oído
Se observa que toda la distorsión es percibida



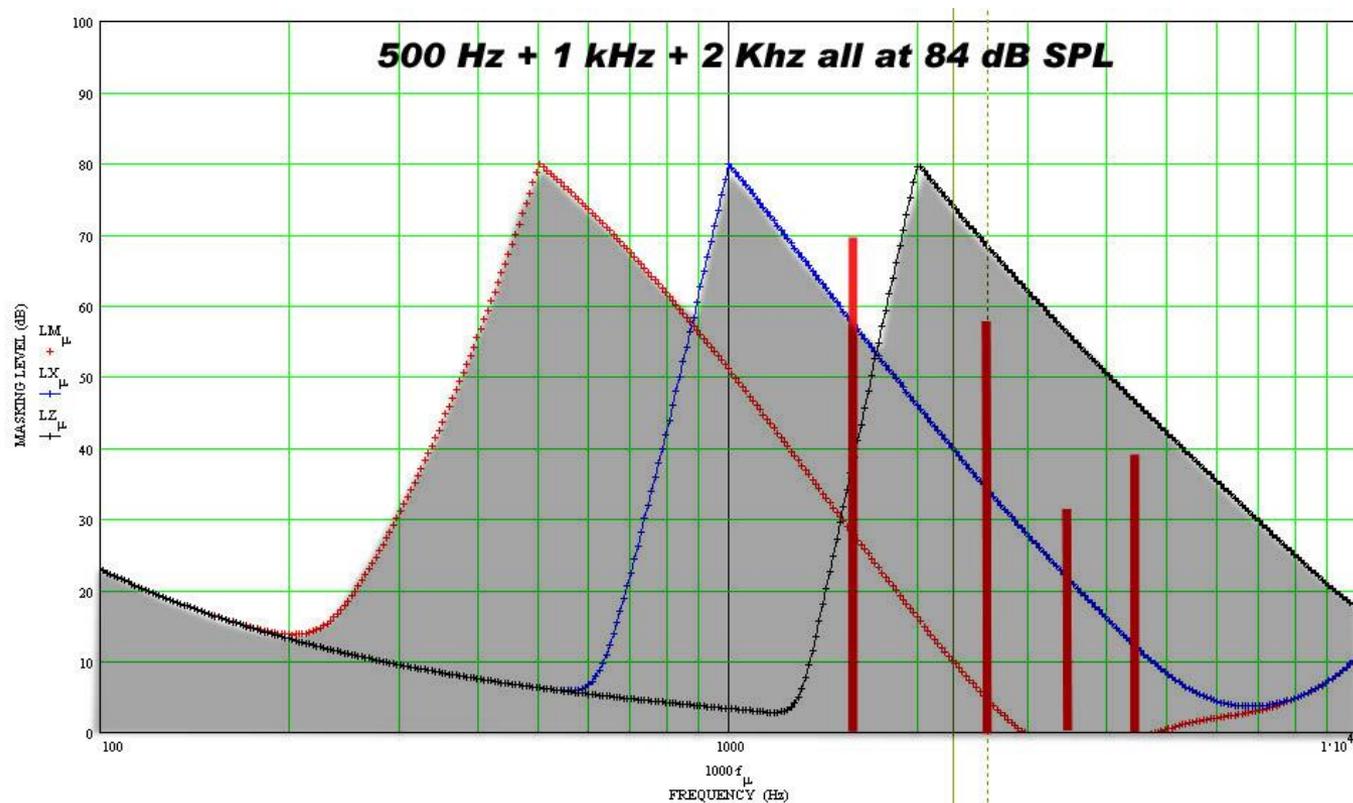
Efectos audibles del recortador

Al procesar el audio se agregan otras bandas presentes en la música, aunque con menor intensidad (64 dB SPL en 1 kHz y 74 dB en 2 kHz)
La 5 y 7 armónica se han dejado de escuchar



Efectos audibles del recortador

Si se aumenta el nivel del procesado multibanda, llegan las 3 bandas a lograr el mismo nivel de 84 dB, eliminando casi totalmente la distorsión percibida, que es sólo de tercera armónica, de bajo grado de molestia



Simetrizado de picos

- Otra de las formas de aumentar la energía transmitida (y por lo tanto la sonoridad que percibe el oído y el alcance de la transmisión) es simetrizar los picos de audio de la voz humana. Con la ventaja de que esto no produce distorsión por ser el oído insensible a variaciones suaves de fase.
- Las señales de audio provenientes de la voz tienen fuertes asimetrías en sus picos, debido a la forma en que trabaja el conjunto de las cuerdas vocales y las cavidades de resonancia de la boca
- La asimetría reduce la modulación promedio pues un pico positivo del 140 %, por ejemplo, reduce la ganancia de los compresores en 3 dB y hace que los picos negativos siguientes **nunca alcancen el 100%**
- En cambio, si los picos fueran todos iguales en ambas polaridades, esto permitiría aumentar la modulación promedio. Esto es lo que hace el simetrizador

Simetrizado de picos

- El primer simetrizador fue realizado para AM debido a Leonard Kahnn en USA, en la década de 1960. Pero su método de corrección era secreto (estaba armado dentro de un bloque de epoxy) y jamás ofreció pruebas de sus principios de funcionamiento. Por lo que nunca se intentó su uso en FM hasta la publicación del paper: *New improvements in audio signal processing, Oscar Bonello, Journal of AES Vol 24, #5, USA, 1976*
- La publicación de O.Bonello explicando los principios del simetrizado, y brindando el concepto de *rotación logarítmica de fase*, llevó a una nueva generación de tecnologías correctoras que podían usarse en FM
- Muy corto tiempo después de la publicación del artículo en JAES, la nueva tecnología Kahnn-Bonello es parte integral de los mejores procesadores de FM de alta calidad.
- Veamos como la rotación de fase simetriza los picos

Simetrizado de picos

Figura tomada de O.Bonello, JAES June 1976

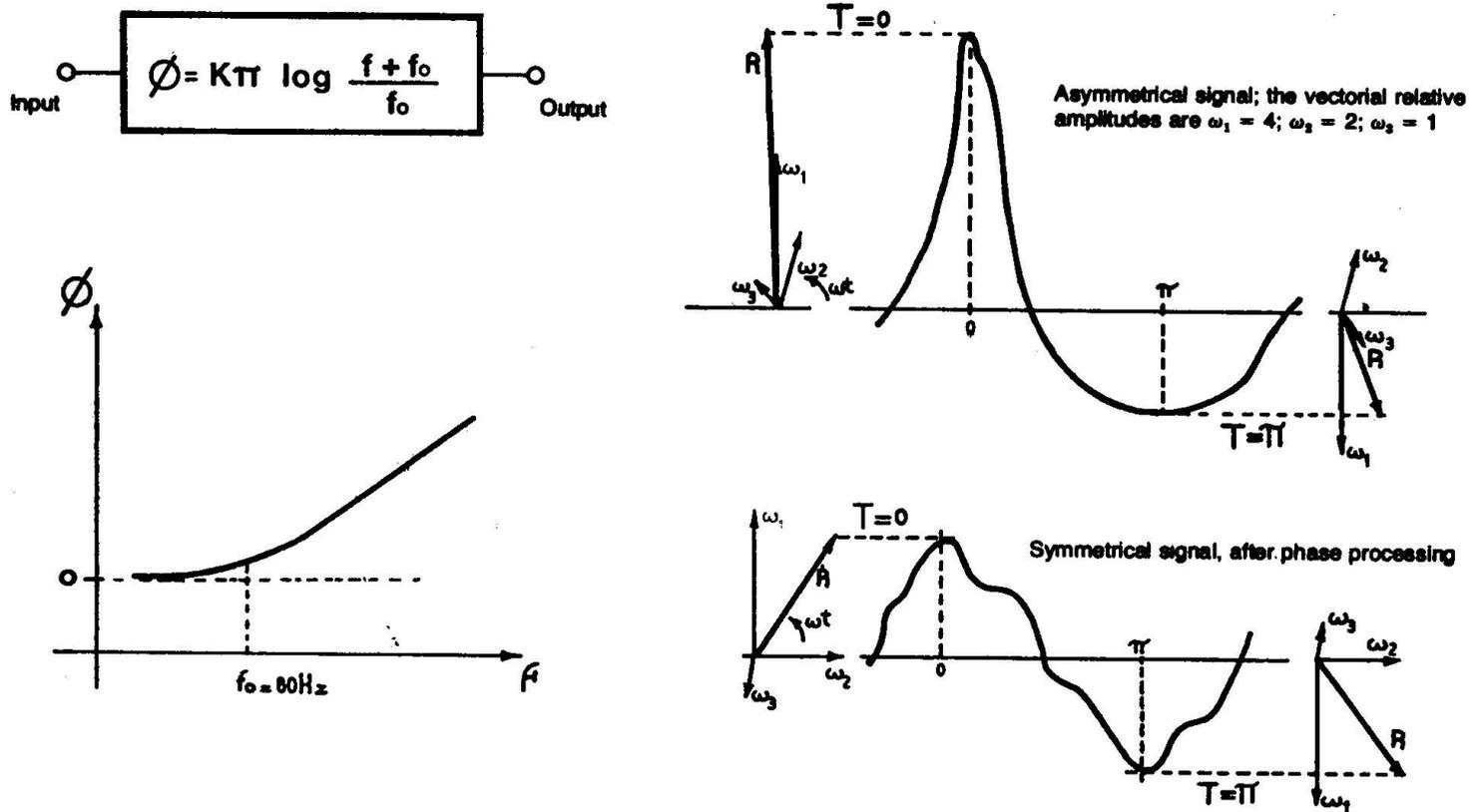


Fig. 2. Vector diagrams of asymmetrical signal before and after passing through phase networks.

¿Cómo se aplican a FM estos conceptos?

- En el caso de FM, hay un hecho que induce a confusión. Y es que la amplitud de la señal portadora es siempre constante. Por lo tanto la potencia irradiada por la antena también es constante.
- Sin embargo la potencia que produce el sonido que la audiencia escucha no es la de la portadora, sino la de las **bandas laterales**

El siguiente análisis está basado en la investigación:

Multiband Audio Processing and Its Influence on the Coverage Area of FM Stereo Transmission, Oscar Bonello, Journal of the Audio Engineering Society, New York, March, 2007 (www.aes.org)

¿Cómo se aplican a FM estos conceptos?

- Sabemos que una señal de FM obedece a la siguiente ecuación:

$$e(t) = E_c \cdot \text{sen}\left(\omega_c t + \frac{k \cdot \Delta f}{f_m} \text{sen} 2\pi f_m t\right)$$

- Siendo E_c la amplitud de la portadora, f_m es la frecuencia de modulación. El valor k , entre cero y uno, es el coeficiente de modulación en frecuencia que depende del Procesador de Audio. A su vez se denomina índice de modulación **m** al valor dado por:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{\text{Desviación de frecuencia}}{\text{Frecuencia de modulación}}$$

¿Cómo se aplican a FM estos conceptos?

- Analizando matemáticamente la EQ anterior, podemos tener el espectro de una transmisión de FM, que es mucho más complejo que la de AM, pues está formado por un elevado número de bandas laterales. La resolución requiere el uso de las integrales de Bessel del primer tipo.
- Para nuestro estudio bastará con indicar que el nivel espectral de la portadora está dado por:

$$e_0(t) = E_c (J_0(k.m)).sen\omega_c t$$

$e_0(t)$ es la portadora en función del tiempo

E_c es el nivel de la portadora sin modulación, m = índice de modulación

J_0 = Función de Bessel de Tipo-I, orden cero para el valor $k.m$

k = factor de modulación (nivel de audio), entre 0 y 1 (depende del procesado de audio)

¿Cómo se aplican a FM estos conceptos?

- El análisis se simplifica considerablemente teniendo en cuenta que por ser las funciones de Bessel ortogonales, la suma de sus cuadrados es igual a uno. Esto implica que la energía de las bandas laterales es absorbida de la energía de la portadora
- Por lo tanto no será necesario calcular una serie de cientos de términos para evaluar la energía transmitida, pues nos bastará restarla de la portadora que depende de la función de Bessel de orden cero, es decir:

$$P_{lat} = P_c (1 - (J_0(k.m))^2)$$

Siendo **P_{lat}** la potencia en bandas laterales, **P_c** la potencia de la portadora

k= factor de modulación (nivel de audio), entre 0 y 1 (depende del Procesador)

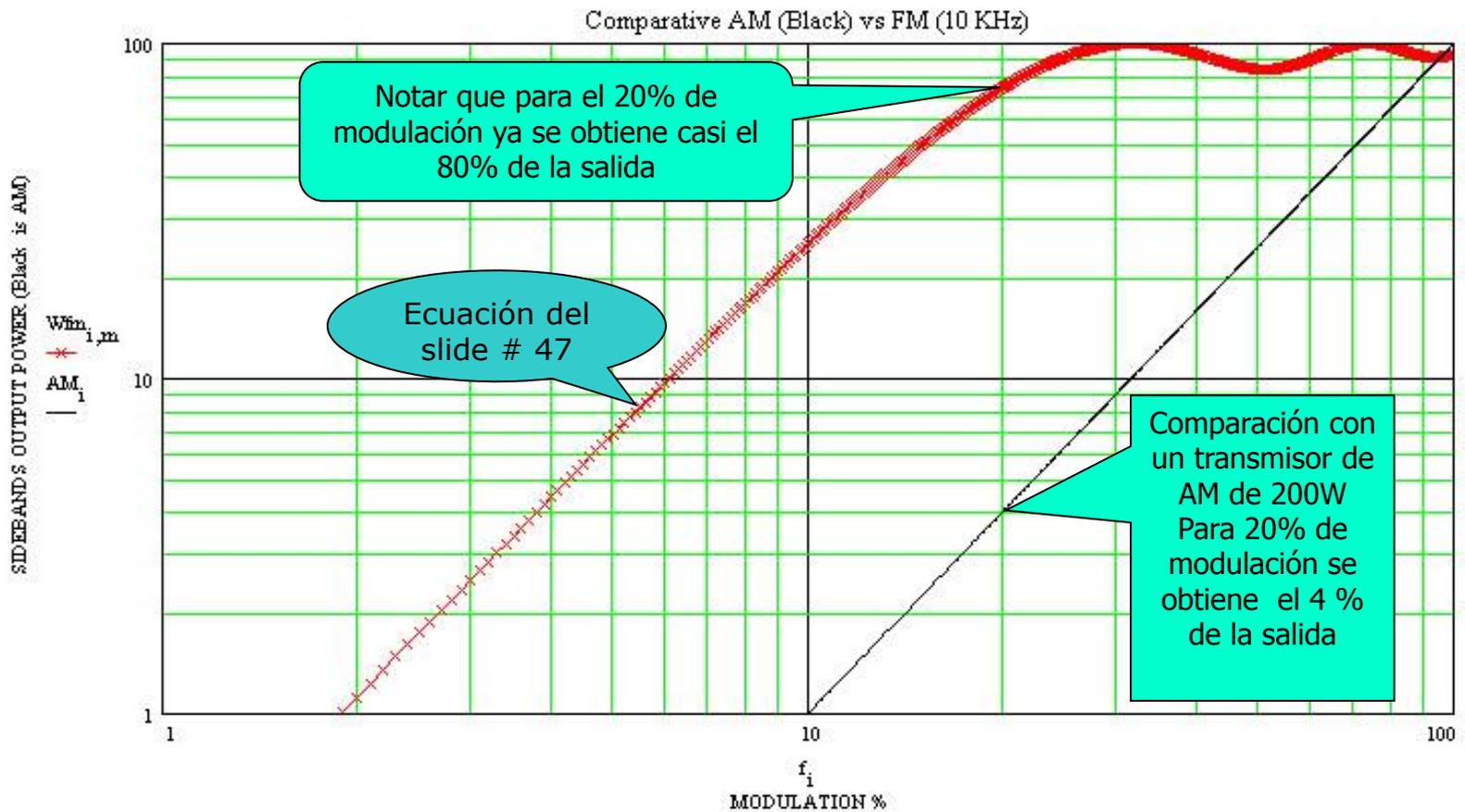
NOTA: k=1 para 100% de modulación, k=0 sin modulación (silencio)

m = índice de modulación (depende de la frecuencia de la modulación)

¿Cómo se aplican a FM estos conceptos?

- Una vez resuelto el problema del análisis, podemos darle a k valores de $M_a/100$, siendo M_a el porcentaje de modulación de cero a 100% (El 100% corresponde según las normas con una frecuencia de desviación de ± 75 kHz)
- Supongamos que tenemos un transmisor de FM de 100 W, es decir: $P_c = 100$ W y analizaremos mediante un software de análisis matemático la ecuación anterior y graficaremos los resultados de la potencia transmitida para varias frecuencias de modulación

Potencia transmitida en bandas laterales de FM (MONO)



Potencia transmitida en bandas laterales de FM (MONO)

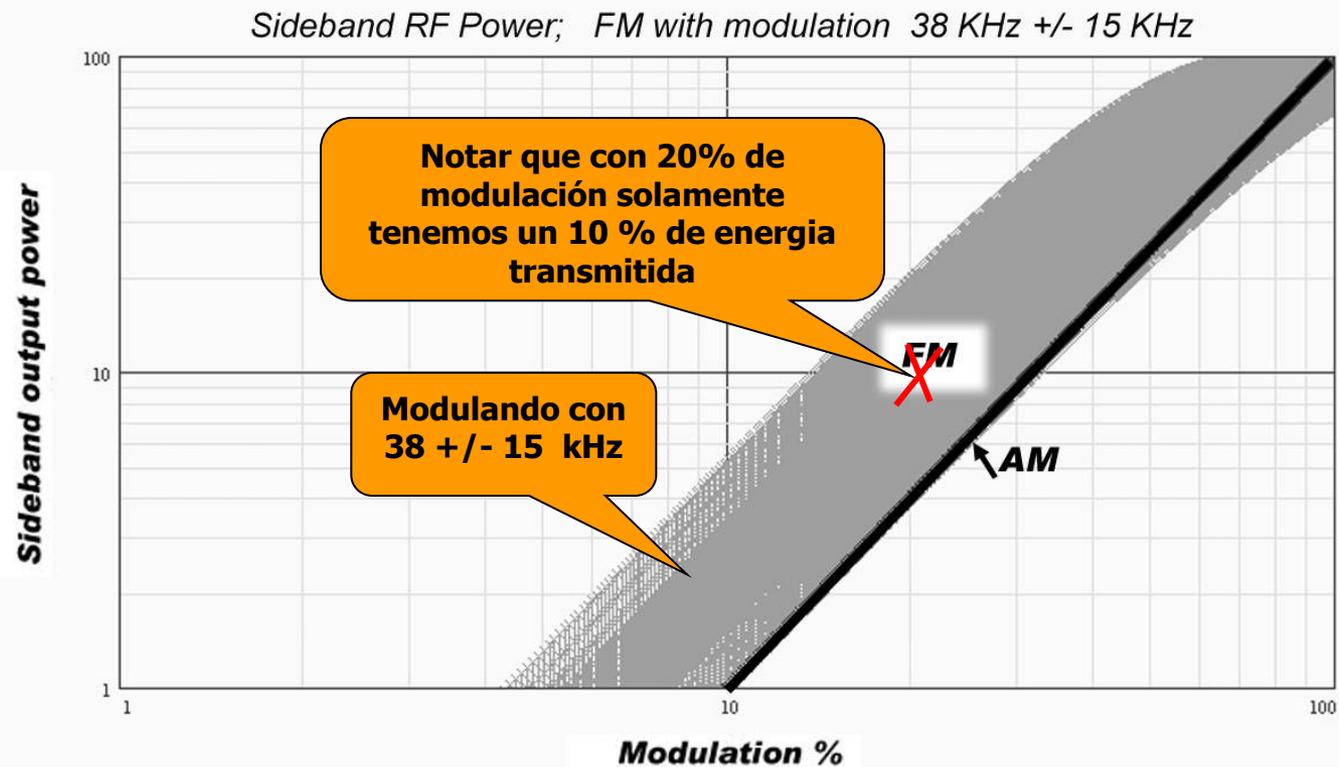
Puede verse en el gráfico anterior que en una transmisión MONO de FM, el incremento de la potencia transmitida en bandas laterales ocurre aún con bajos valores de modulación. El segmento de recta a la derecha de la curva compara a la transmisión de FM con la de AM y ambas se ven muy diferentes. En transmisiones de FM Mono la eficacia del procesado para mejorar el alcance es muy reducida. Es decir que un transmisor de FM mono es muy eficiente aún sin procesado pues con solo el 20% de modulación desarrolla el 80% de su potencia

Muy diferente es el caso de las transmisiones de FM Estéreo en las que tenemos una subportadora de 38 kHz que requiere manejar un ancho de banda de 53 kHz. Si el mismo no es respetado genera ruidos e intermodulación, lo cual fija el alcance límite de la estación.

Vemos en la próxima diapositiva cómo se comporta la transmisión de una FM estéreo con respecto a 38 kHz. Puede verse que existe una notable semejanza con una transmisión de AM de 200 W

Potencia transmitida en bandas laterales de FM Estéreo

En estéreo existe una sub-portadora de 38 kHz modulada en amplitud por L-R. Cuando esta sub-portadora es afectada por la distancia o por transmisores cercanos, ingresa ruido al receptor imposibilitando la audición estéreo. Puede observarse que su comportamiento es muy similar al caso de una radio de AM, es decir que requiere niveles elevados de modulación para que la potencia transmitida sea elevada. Por eso es necesario el procesador de audio



Potencia transmitida en bandas laterales de FM

A través de las figuras analizadas, puede deducirse que el efecto de aumento de potencia (y alcance de la transmisión) debida a la modulación es casi despreciable en transmisiones en MONO. Por ese motivo esta forma de transmitir es preferida para lograr altos alcances con baja potencia (lo usa la NASA para comunicarse en el espacio con las naves)

Si hablamos de Radiodifusión en FM estéreo vemos que **la potencia transmitida es directamente proporcional al nivel de modulación**

Por lo tanto es perfectamente comprensible ahora que el aumento de modulación debida al procesado de audio, en FM estéreo, **augmente la potencia efectiva transmitida en bandas laterales en FM, aumentando el alcance de la radio. Cuanto mayor sea el valor RMS de la señal procesada mayor alcance tendrá la radio**

Aplicación de estos conceptos

- Los ingenieros de radiodifusión saben perfectamente que la teoría anterior se cumple. Sabemos que cuando un procesador es sacado del aire para mantenimiento, por ejemplo, la radio recibe inmediatamente quejas de los oyentes alejados (y de los anunciantes) porque la radio ya no se escucha bien
- También se nota un importante aumento de alcance al colocar un nuevo procesador digital de tecnología más avanzada

Aplicación de estos conceptos

- Pero lo anterior es parte de la práctica profesional y no el resultado de un estudio realizado científicamente y publicado internacionalmente
- Para tener una demostración muy clara del cumplimiento de las predicciones teóricas anteriores, recurriremos al trabajo publicado en el AES Journal, USA, Diciembre de 1985, de Torick-Keller sobre cobertura de radios en FM estéreo.
- El trabajo de medición fue realizado para comprobar las ventajas de la transmisión FMX en la que el audio es comprimido con un procesador para aumentar el Factor de Modulación k , logrando $k > 0,95$ Esto exige luego un expansor en el receptor, razón por la cual la norma FMX nunca fue utilizada
- Con el procesado de audio normal no se logran valores tan altos de k , pero igualmente la experiencia de Torick – Keller es valiosa pues permite correlacionar las predicciones teóricas con las mediciones reales de campo

Aplicación de estos conceptos

- Para la experiencia se empleó la transmisión de FM estéreo de WPKT Connecticut Radio, operando con 19 KW en 90.5 MHz, desde la localidad de Meridien en el Estado de Connecticut, USA
- Las mediciones fueron realizadas para mantener una relación S/R > 60 dB en todos los puntos del área de cobertura
- Se usó un receptor comercial de FM conectado a una antena dipolo a 3 m de altura
- Varios expertos del CBS Technological Center realizaron las mismas bajo condiciones muy controladas
- Veamos el mapa de alcance que obtuvieron para una señal estéreo normal y para una modulación muy elevada ($K > 0,95$) en la sub-portadora de 38 KHz

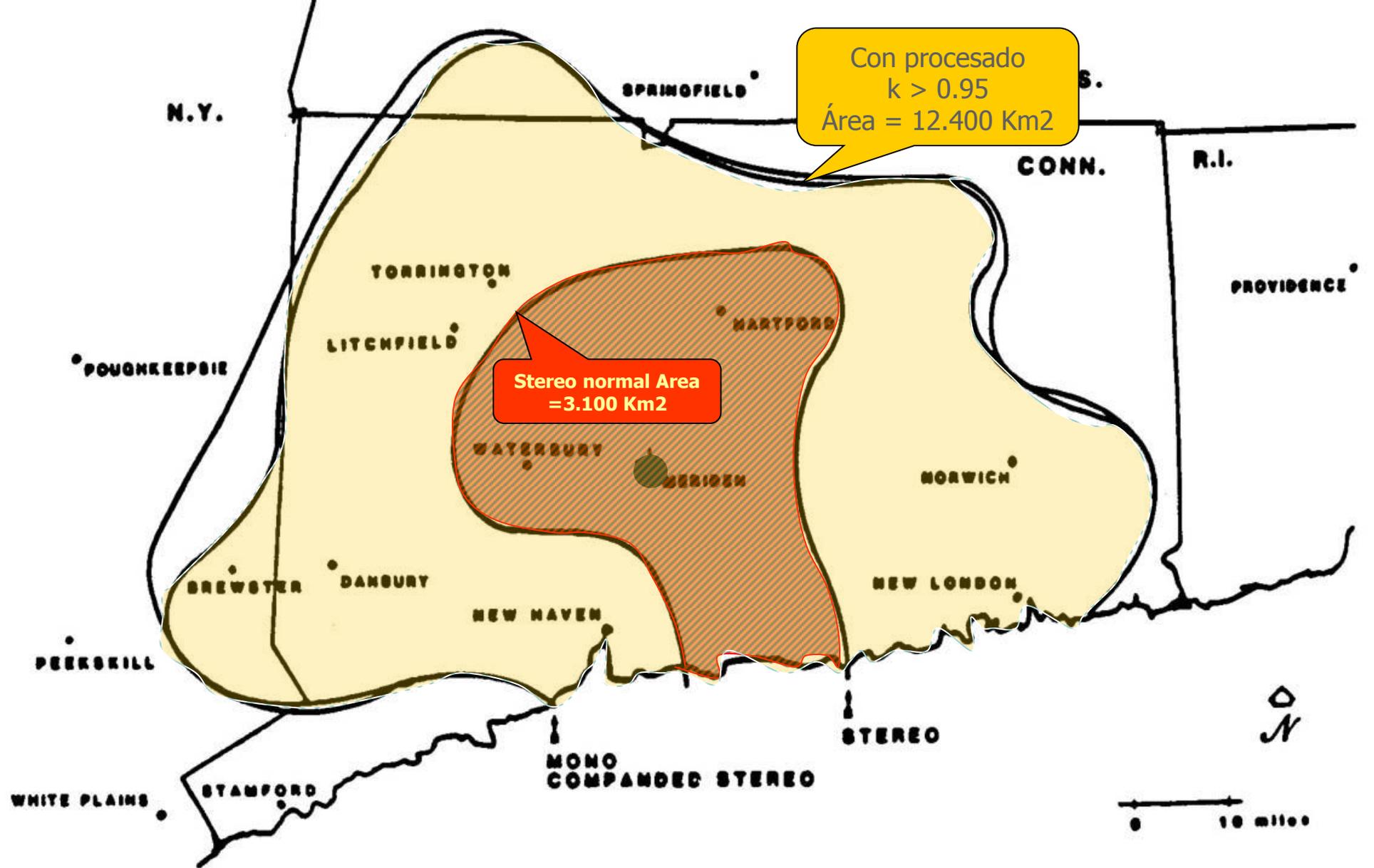


Fig. 11. 60-dB reception contours.

Aplicación de estos conceptos

- Vemos que la teoría se cumple. El área de cobertura de la estación de FM se ha cuadruplicado para $k > 0,95$
- En el caso de transmisiones de FM estéreo con la actual norma, los valores alcanzados son menores que los de Torick-Keller debido a la necesidad de conservar una elevada calidad de audio
- Los valores reales logrados con procesadores de audio de alta gama son del orden del **50 % al 80 % de incremento del área de cobertura**

Muchas gracias nuevamente ...

Si le interesa este tema, encontrará más información en el paper:

Multiband Audio Processing and Its Influence on the Coverage Area of FM Stereo Transmission, O.Bonello, Journal of the Audio Engineering Society, New York, March, 2007 (www.aes.org)

○ Fin