

EL APORTE DE EDWIN H. ARMSTRONG AL DESARROLLO DE LA RADIO-TELEFONÍA DE FRECUENCIA MODULADA: OTRO CASO NO RECONOCIDO EN SU TIEMPO

Yonnhatan García C.*; Eduardo Robles M.**

La radiodifusión y comunicación mediante frecuencia modulada (FM) ha alcanzado una importancia notable dentro de la sociedad actual. La FM cada vez cobra mayor relevancia ante su opción tecnológica o competitiva directa, la amplitud modulada (AM). No obstante en su inicio, alrededor del año 1920, se dieran argumentos científicos, técnicos y económicos para no proseguir su desarrollo.

Fue la voluntad y decisión E. H. Armstrong (1890-1954) -un brillante ingeniero cuyas contribuciones al campo de la radiotelefonía son comparables a las contribuciones de Hertz y Marconi- que impulsaron el desarrollo y patentamiento de esta tecnología en Estados Unidos durante 1933.

La historia de la FM está llena de extraños acontecimientos. Por ejemplo, el impulso inicial al desarrollo estuvo en la necesidad de reducir el ancho de banda de transmisión, dado que un razonamiento superficial demostraba que era factible reducirlo utilizando FM. Sin embargo, los resultados experimentales mostraron que requería más ancho de banda que la AM, aspecto que fue demostrado teóricamente en un análisis matemático (Carlson, 1922). El mismo Carlson, extralimitándose en su demostración anterior y sin muchas bases teóricas ni experimentales, sugirió que la FM introducía distorsión y no presentaba ventajas relevantes sobre la AM. Esta situación tuvo consecuencias importantes, entre otras, la opinión no fundada de uno de los mejores matemáticos en el campo de las comunicaciones de esa época frenó el desarrollo de la FM.

Para comprender mejor los trabajos de Armstrong, es necesario conocer brevemente algunos conceptos y razones por las cuales una señal eléctrica debe modularse antes de ser enviada al espacio como onda electromagnética. El concepto de modulación es fácil

de entender mediante la analogía del mensaje escrito en un papel: “este llegara más lejos si envuelvo una piedra (portador) con el papel y luego se lanza el conjunto”. Algo similar se debió pensar para irradiar ondas electromagnéticas. Por ejemplo, la potencia de una señal de voz (denominada señal de banda base o información) se concentra mayoritariamente dentro del rango de 100Hz a 3000Hz, correspondiendo un rango de longitudes de onda de 100Km a 3000Km. Para lograr una radiación de energía electromagnética eficiente, la antena debe ser de un décimo o más de la longitud de onda de la señal que se está irradiando. Esto implicaría que -de no ser modulada está señal- la antena requerida para emitir y recibir dicha señal sería de un tamaño muy grande. Esto último lleva consigo los problemas técnicos: ¿cómo construir una gran antena?, y económicos propios: ¿cuánto cuesta su fabricación?

Como respuesta a este problema práctico, se modula una señal sinusoidal de alta frecuencia (portadora, como la piedra) por medio de la señal de información o mensaje, trasladando el espectro de la señal de información a la región de la frecuencia de la portadora, cuya longitud de onda es mucho menor. Esta modulación puede ser de Amplitud Modulada (AM) o de Frecuencia Modulada (FM).

Otra razón importante por lo cual se requiere modular una señal de información es: si se emiten varias señales de banda base de audio, se interferirían entre sí, dado que sus espectros de frecuencias contienen una gran cantidad de frecuencias idénticas. Lo cual se resuelve modulando portadoras de diferentes frecuencias mediante cada señal informativa.



E. H. Armstrong

*Departamento de Física, UMCE. Jonnhatan.garcia@umce.cl
**Departamento de Física, UMCE. Eduardo.robles@umce.cl

Lo que no observó Carlson -pero sí Armstrong- de la modulación en frecuencia fue la capacidad de esta para suprimir el ruido. Aunque Armstrong no inventó el concepto de FM, debe considerarse el padre la FM moderna. El texto británico: Frequency Modulation Engineering, escrito por Tibbs (Tibbs, 1956) señala que: "El tema de la modulación en frecuencia tal como lo comprendemos a la fecha, debe considerarse que data del artículo de Armstrong de 1936".

Armstrong realizó, antes de dedicarse a desarrollar la FM al final de su vida, otras contribuciones importantes a la comunicación de masas. Una publicación de la revista Fortune (Fortune, 1939) señalaba: "Armstrong es el inventor reconocido del circuito de retroalimentación, que trajo la radio más allá de la etapa del detector de cristal y audífonos, del circuito superheterodino, que es la base de prácticamente toda la radio moderna haciendo posible la masificación de la radio moderna y del circuito superregenerativo que en la actualidad tiene amplio uso en los sistemas de onda corta", tan importantes en la segunda guerra mundial.

Armstrong no solo tuvo problemas debido a la publicación de Carlson, libró una larga y enconada batalla contra las autoridades oficiales de la radiodifusión, quienes incitadas por la FCC (Federal Communications Commission), se opusieron tenazmente a la instauración del sistema de FM. En 1944, la FCC, con base a un testimonio erróneo de un técnico experto, desplazó bruscamente el ancho de banda localizado entre 42-50MHz hasta 88-108MHz. Esto asentó un golpe mortal a la industria de la FM de aquel entonces, debido a que llevó a la obsolescencia todo el equipamiento (transmisores, receptores, antenas, etc.) que se había construido y vendido para las bandas de FM anteriores. Armstrong continuó combatiendo esta decisión y, en 1947, obtuvo éxito al hacer que el técnico experto admitiera su error. A pesar de todo esto, las disposiciones de la FCC continuaron sin cambio y no hubo más retorno. Armstrong utilizó su fortuna, que había obtenido de inventos anteriores, en luchas legales. La industria de la radio, que tanto se había resistido a la FM, cambió de idea y utilizó sus inventos sin pagarle un peso. Armstrong dedicó gran parte de su vida a la defensa de sus patentes industriales, procesos notables y amargos para un gran inventor. Finalmente con sus recursos agotados, su ímpetu se resintió, su vida familiar se destrozó, llevando finalmente a Armstrong al suicidio en 1954.

La idea matemática básica de la FM

La modulación de frecuencia (FM) corresponde a un caso especial de modulación angular. En este tipo de modulación, la señal moduladora (información) se utiliza para controlar la frecuencia o la fase de una portadora

senoidal. Este tipo de modulación presenta algunas ventajas sobre la AM. Entre dichas ventajas encontramos la reducción de los ruidos. La señal de FM tiene amplitud de máximos constantes, entonces el transmisor puede operar siempre a máxima amplitud. Las variaciones de amplitud introducidas, en un canal de transmisión, por el ruido, interferencia o desvanecimiento de la señal, pueden ser eliminadas en gran medida en el receptor.

Como introducción al análisis de las señales moduladas (sistemas no lineales), considérese la señal portadora senoidal expresada como

$$E_p = A \cos(\omega_p t + \phi_p) = A \cos(\Theta(t))$$

en la cual ω_p es la frecuencia de la portadora y ϕ_p es su ángulo de fase.

La modulación angular resulta al usar la señal moduladora para variar el ángulo. Existen dos formas para realizar este procedimiento: la modulación en fase (PM del inglés phase modulation) y la modulación en frecuencia (FM).

En el caso de modulación en fase, el ángulo Θ_p se hace variar linealmente con el mensaje $m(t)$, por lo que

$$\Theta(t) = \omega_p t + k_p m(t) \quad \text{con } k_p = \text{constante}$$

debido a esto, la señal modulada en fase tiene la siguiente expresión

$$\varphi_{PM}(t) = A \cos(\omega_p t + k_p m(t)) \quad (1)$$

donde la frecuencia queda dada por

$$d\Theta(t)/dt = \omega_p = \omega_p + k_p (dm(t)/dt)$$

por lo que la frecuencia de la señal modulada en fase varía linealmente con la derivada de la señal moduladora.

Para obtener modulación en frecuencia (FM), se hace variar linealmente la derivada del ángulo de la portadora con la señal moduladora.

$$d\Theta(t)/dt = \omega_p + k_p m(t)$$

con esto, el ángulo $\Theta(t)$ viene dado por

$$\Theta(t) = \int_{-\infty}^t [\omega_p + k_p m(t')] dt$$

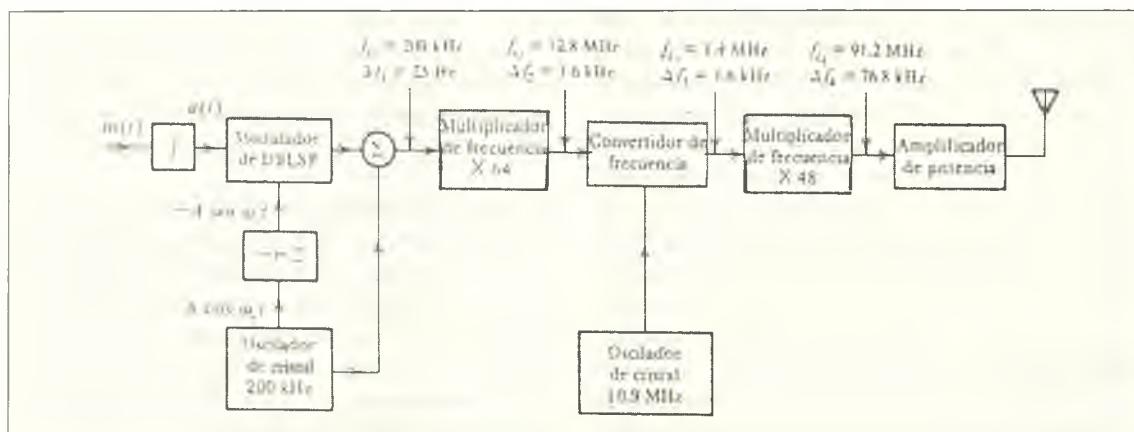
donde la señal FM queda expresada como

$$\Theta_{FM}(t) = \text{Acos}[\omega_p t + \int_{-\infty}^t k_p m(t') dt] \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) para el caso de modulación analizada, es evidente que la PM y FM no solo son muy similares, sino también, inseparables. Al observar una señal modulada en ángulo, no hay manera de decir si es PM o FM.

En la práctica, uno de los métodos de generación de FM (el sistema de Armstrong de FM indirecta) integra $m(t)$ y la usa para modulación en fase a una portadora.

A continuación se muestra el esquema donde se representa el transmisor de Armstrong de FM indirecta, en el cual cada función mostrada en los bloques es realizada por circuitos electrónicos especiales.



Bibliografía

Armstrong, E. H. "A Method of Reducing Disturbances in Radio Signaling by a System of Frequency Modulation". Proc. IRE. Vol.24. pp.689-740. May 1936.

Carlson, J. "Notes on the Theory of Modulation". Proc. IRE. Vol. 24. pp. 57-64, Febrero, 1922.

Lathi, B. P. Ingeniería Electrónica. Editorial Interamericana. México.1986.

Revista Fortune. "A revolution in Radio" vol. 20 p. 116. Oct.1939.

Simulación de AM y FM en la WEB <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Amfm2.gif>

