

# El origen de las frecuencias de la energía eléctrica: ¿por qué 50 y 60 Hz?

Puede parecer que siempre ha existido una única frecuencia para la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica en cada una de las dos principales zonas de desarrollo técnico e industrial: 50 Hz para Europa y 60 Hz para Estados Unidos, pero esto no ha sido así.

Ing. Ricardo Berizzo  
[rberizzo@gmail.com](mailto:rberizzo@gmail.com)

En el sorprendente mundo de la evolución de la electrotecnia, ningún tema es lineal. Todo es un camino sinuoso y cruzado hasta que, con los múltiples aportes, se llega a un punto que satisface las necesidades técnico-económicas que se estaban buscando. Por supuesto que la elección de la llamada "frecuencia industrial" no estuvo exenta de esa situación.

En la actualidad puede parecer que siempre ha existido una única frecuencia para la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica en cada una de las dos principales zonas de desarrollo técnico e industrial: 50 Hz para Europa y 60 Hz para Estados Unidos, pero esto no ha sido así.

Las frecuencias han cambiado desde el inicio de la electricidad usada no como divertimento, cuando por aquellos años de la Revolución Industrial se la comenzó a emplear para iluminar hogares, lugares públicos o como un método para la alimentación de motores eléctricos en las fábricas que reemplazaran los costosos y poco eficientes sistemas de transmisión mecánica como ejes, bielas, poleas, correas y engranajes.

La elección de la frecuencia no fue arbitraria, sino más bien el resultado de factores históricos, téc-

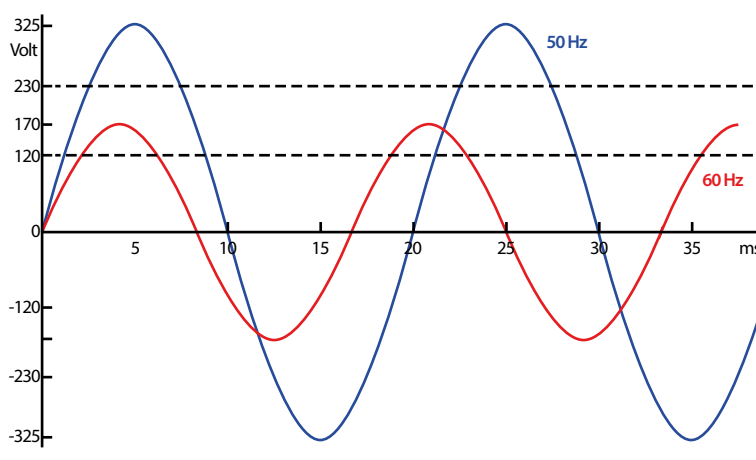


Figura 1. Corriente alterna de 230 V y 50 Hz en comparación con 120 V y 60 Hz

URL estable: <https://www.editores.com.ar/node/8042>

nicos y comerciales, incluidas las necesidades específicas de transmisión y distribución de la energía eléctrica. No existe una superioridad inherente de una frecuencia sobre la otra.

Es conveniente que el lector tenga en cuenta la conocida igualdad, que explica muchas construcciones electrotécnicas, como se verá más adelante:

$$f = (p \times n) / 120$$

donde “*f*” es la frecuencia en hertzios; “*p*”, la cantidad de polos, y “*n*”, la velocidad de giro del alternador en revoluciones por minuto.

---

*La elección de la frecuencia no fue arbitraria, sino más bien el resultado de factores históricos, técnicos y comerciales, incluidas las necesidades específicas de transmisión y distribución de la energía eléctrica.*

---

Durante el siglo XIX se utilizaron muchas frecuencias eléctricas diferentes. Los primeros esquemas de generación en corriente alterna aislados utilizaban frecuencias basadas en la conveniencia para el diseño de las máquinas de vapor, turbinas de agua y generadores eléctricos. En diferentes sistemas se utilizaron frecuencias entre  $16\frac{1}{3}$  y  $133\frac{1}{3}$  Hz. Por ejemplo, la ciudad de Coventry (Reino Unido), en 1895 tenía un sistema de distribución monofásico único de 87 Hz que estuvo en uso hasta 1906. En 1886, Siemens construyó un alternador que tenía dieciséis polos, trabajaba a 1.000 rpm y de aquí una frecuencia  $133\frac{1}{3}$  Hz. La proliferación de frecuencias surgió del rápido desarrollo de las máquinas eléctricas en el período de 1880 a 1900. En los primeros períodos de iluminación incandescente, la corriente alterna monofásica era común, y los generadores típicos eran máquinas de ocho polos que funcionaban a

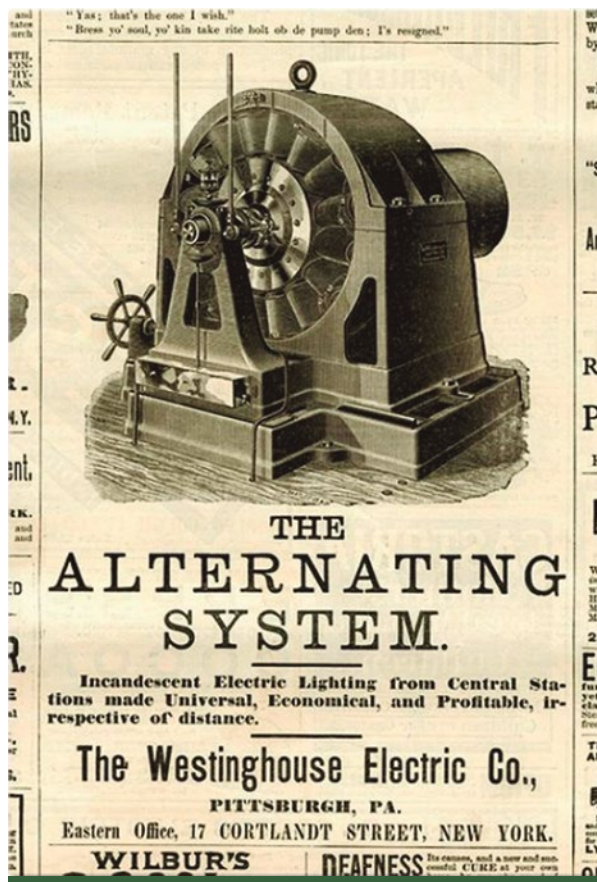


2.000 rpm, lo que daba una frecuencia de 133 ciclos por segundo.

## Orígenes de 25 Hz

Los primeros generadores del proyecto de las Cataratas del Niágara, construidos por Westinghouse en 1895, eran de 25 Hz porque la velocidad de la turbina ya se había ajustado antes de que se eligiera definitivamente la transmisión de energía por corriente alterna. Westinghouse hubiera seleccionado una frecuencia baja de 30 Hz para impulsar las cargas de los motores, pero las turbinas del proyecto ya se habían especificado a 250 rpm. Las máquinas podrían haberse fabricado para entregar una potencia determinada a  $16\frac{2}{3}$  Hz, adecuada para motores pesados, pero la misma empresa objetó que esto no sería deseable para la iluminación y sugirió  $33\frac{1}{3}$  Hz. Finalmente se eligió un compromiso de 25 Hz, con generadores de doce polos de 250 rpm.

La energía con una frecuencia de 25 Hz se utilizó en diversos lugares de Europa para la electrificación de ferrocarriles. El suministro de corriente alterna en baja frecuencia se utiliza porque, además de mejorar las propiedades de funcionamiento de los motores de corriente alterna, aumenta su eficiencia y factor de potencia. Además, a baja frecuencia, la reactancia de la línea es menor, por lo que se reduce la caída por impe-



dancia y, en consecuencia, la caída de voltaje de la línea permite espaciar las subestaciones. Los conmutadores de frecuencia, máquinas rotativas utilizados para convertir sistemas entre 25 y 60 Hz eran difíciles de diseñar; una máquina de 60 Hz con 24 polos giraría a la misma velocidad que una máquina de 25 Hz con diez polos, lo que haría que las máquinas fueran grandes, lentas y costosas.

---

*El suministro de corriente alterna en baja frecuencia se utiliza porque, además de mejorar las propiedades de funcionamiento de los motores de corriente alterna, aumenta su eficiencia y factor de potencia.*

---

## Orígenes de 40 Hz

Un estudio de General Electric concluyó que 40 Hz habría sido un buen compromiso entre las necesidades de iluminación, motor y transmisión, dados los materiales y equipos disponibles en el primer cuarto del siglo XX. Entonces, se construyeron varios sistemas de 40 Hz.

La demostración de Lauffen-Frankfurt utilizó 40 Hz para transmitir energía a 175 km en 1891. En el noreste de Inglaterra existió una gran red interconectada de 40 Hz (la Newcastle-upon-Tyne Electric Supply Company, NESCO) hasta la llegada de la Red Nacional a finales de la década de 1920. Los proyectos en Italia utilizaban 42 Hz.

La central hidroeléctrica comercial en funcionamiento continuo más antigua de Estados Unidos está ubicada en Mechanicville (Nueva York) y todavía produce energía eléctrica a 40 Hz y suministra energía al sistema de transmisión local de 60 Hz a través de convertidores de frecuencia. Aunque las frecuencias cercanas a 40 Hz encontraron mucho uso comercial, estas fueron ignoradas por frecuencias estandarizadas de 25, 50 y 60 Hz, preferidas por los fabricantes de equipos de mayor volumen.

## Hacia la estandarización de la frecuencia

Durante los primeros días de la electrificación, se utilizaban tantas frecuencias que ningún valor prevalecía (Londres en 1918 tenía diez frecuencias diferentes). A medida que avanzaba el siglo XX, se produjo más energía a 60 Hz (América del Norte) o 50 Hz (Europa y la mayor parte de Asia). La estandarización permitió el comercio internacional de equipos eléctricos. Mucho más tarde, el uso de frecuencias estándar permitió la interconexión de redes eléctricas. En Gran Bretaña, la implementación de la Red Nacional a partir de 1926 obligó a la estandarización de frecuencias entre los numerosos proveedores de servicios eléctricos interconectados.

La empresa alemana Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) construyó la primera instalación generadora alemana que funcionaba a 50 Hz. En ese momento, la empresa tenía un monopolio virtual y su estándar se extendió al resto de Europa. Después de observar el parpadeo de las lámparas operadas por la energía de 40 Hz transmitida por el enlace Lauffen-Frankfurt en 1891, AEG elevó su frecuencia estándar a 50 Hz en 1891.

Por su lado, Westinghouse Electric decidió estandarizar en una frecuencia más alta para permitir la operación de iluminación eléctrica y motores de inducción en el mismo sistema de generación. Aunque 50 Hz era adecuado para ambos, en 1890 consideró que el equipo de iluminación de arco existente funcionaba un poco mejor con 60 Hz, por lo que se eligió esa frecuencia.

Inicialmente en Brasil, la maquinaria eléctrica se importaba desde Europa y Estados Unidos, lo que implicaba que el país tenía estándares de 50 y 60 Hz. A principios de la década de 1960, se decidió que Brasil se unificaría bajo el estándar de 60 Hz. En México, las áreas que operan en la red de 50 Hz se convirtieron durante la década de 1970, uniendo al país bajo 60 Hz.

---

*La estandarización permitió el comercio internacional de equipos eléctricos. Mucho más tarde, el uso de frecuencias estándar permitió la interconexión de redes eléctricas.*

---

## Tomando decisiones técnicas

En 1891, los ingenieros de Westinghouse, en Pittsburgh, tomaron la decisión final de considerar a los 60 Hz como la frecuencia del futuro, y durante ese mismo año, sus colegas de AEG, en Berlín, seleccionaron los 50 Hz.

Desde la toma de estas decisiones, estas frecuencias pasaron a ser las frecuencias de trans-

misión de la corriente alterna normalizadas. Aunque esto de la normalización depende de cada país, uno de los casos más peculiares es el de Japón: cuando una persona viaja de Tokio a Osaka (500 km) ha de tener en cuenta que ha pasado de una zona de 50 a otra de 60 Hz.

Aproximadamente entre 1890 y 1925 aparece un elemento que va a perturbar la relativa tranquilidad de los fabricantes: el motor de inducción.

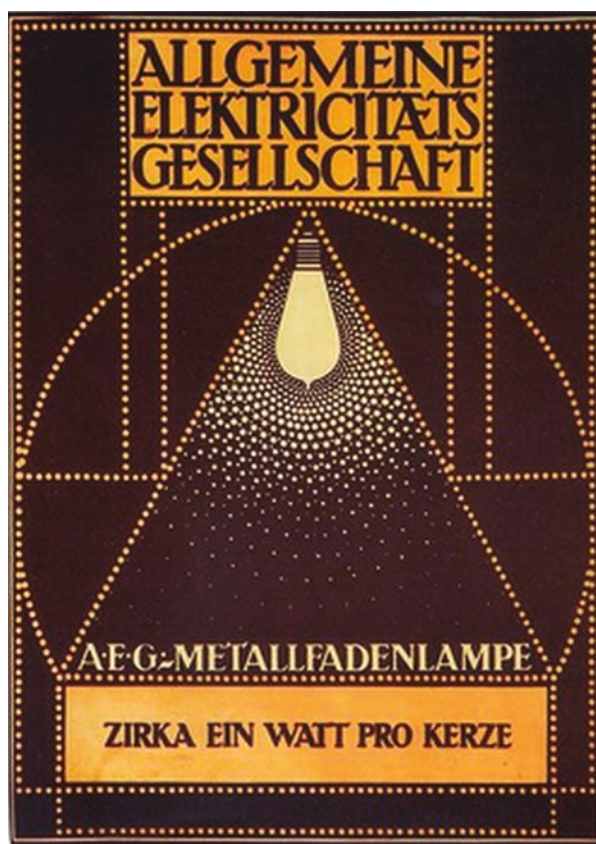
Los motores que se utilizaban para el desarrollo de potencias mecánicas que movían las herramientas de las máquinas se acoplaban directamente, motor eléctrico-máquina herramienta. Si estas máquinas trabajaban a unas 80 rpm, se requerían motores eléctricos de doscientos polos alimentados a  $133\frac{1}{3}$  Hz. Este problema de la elevada cantidad de polos no aparecía en Europa puesto que ya se trabajaba con 40 Hz, y por lo tanto se requerían generadores de sesenta polos.

En 1890, AEG y Oerlikon utilizaron 40 Hz para su línea eléctrica trifásica de 175 km desde Frankfurt (receptores) a Laufen (generadores) con un alternador de 50 V de tensión de fase, 32 polos cuyo rotor giraba a 150 rpm, lo que daba una frecuencia de 40 Hz. La transmisión se realizaba transformando en el origen de 50 a 8.500 V, y reduciendo en el destino a 65 V. Posteriormente se dieron cuenta de los problemas estroboscópicos debidos a la baja frecuencia aplicada a las lámparas, y ya en 1901 optaron por una frecuencia de 50 Hz que resolvió ambos problemas.



La electrificación comenzó con sistemas aislados de alimentación eléctrica en las cercanías de la generación. Cuando surgió la necesidad técnica de adaptar niveles de tensión por cambio de etapas, por ejemplo, al elevar la tensión para generar menores pérdidas en las líneas de transmisión o disminuir el nivel de tensión para las zonas de distribución, emergió un aparato clave: el transformador.

Las llamadas “pérdidas en el hierro” del transformador son las pérdida por histéresis y corriente de Foucault en el núcleo de hierro, que están determinadas por la frecuencia de alternancia de flujo magnético (frecuencia determinada por la frecuencia de red) y la calidad de la lámina de acero al silicio.



## Epílogo

Se puede seguir mostrando innumerables experiencias en el mundo sobre la evolución de la electrificación y cómo fue decantando hacia determinados parámetros eléctricos de funcionamiento del sistema.

Técnicamente, se puede decir que hubo ciertos mojones que marcaron una cota mínima y máxima de frecuencias entre 50 y 60 Hz. Ejemplos: la iluminación incandescente determinó que la frecuencia no debería ser menor a 50 Hz por el parpadeo que produce a frecuencias menores. La frecuencia de 60 Hz determinó las máximas pérdidas admisibles en transformadores y líneas de transmisión. Entorno este, de frecuencias, también compatibles con la construcción de generadores y motores.

La razón de 50 Hz en Europa y de 60 Hz en Estados Unidos se debió única y exclusivamente a una cuestión técnico-comercial: la decisión tomada por ingenieros de las empresas predominantes AEG y Westinghouse, respectivamente. ■

## Fuentes

- [1] Blog <http://electrical-science.blogspot.com/2009/12/history-of-power-frequency.html>
- [2] Glenn, B., A History Lesson in Standardizing Voltage and Frequency in the Electrical Industry
- [3] <https://aktif.net>, Origin of Electric Frequencies And The Use of 50 Hz and 60 Hz
- [4] Owen, E. L., IEEE, The origins of 60-Hz as a power frequency
- [5] Royo Gracia, J. El origen de los 50-60 Hz en la transmisión de la energía eléctrica, Revista Técnica, Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia
- [6] Wikipedia, Frecuencia de red, [https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia\\_de\\_red](https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_de_red)