ANEXO I_Portada Trabajo Fin de Máster

AUTOR/A: Juan Antonio Rivera Vila

Título: La electricidad sucia y su efecto sobre la salud

TUTOR/A: Miguel Martínez

Año Académico: 17a edición **Fecha de entrega:** 30/11/2020

DECLARACIÓN DEL/DE LA AUTOR/A

*El/la abajo firmante declara que **el contenido del resumen** del presente trabajo fin de máster **NO** tiene carácter confidencial y autoriza su divulgación en cualquier medio y soporte.*

Así mismo autoriza explícitamente la futura divulgación en cualquier soporte del resumen del trabajo descrito en esta ficha una vez finalizado y entregado.

*El/la abajo firmante declara que **el contenido completo** del Trabajo Fin de Máster (marcar una de las opciones):*

☑ No tiene carácter confidencial y **puede ser consultado** a nivel docente y solicitada su lectura por el resto del alumnado del Máster.

☐ Tiene **carácter confidencial** y no autoriza su divulgación.

En Girona a 30/11/2020

Fdo. Juan Antonio Rivera Vila

Nombre y Apellido

La electricidad sucia y su efecto sobre la salud

Evaluación histórica, efectos biológicos y protocolo de medición

Rivera Vila, Juan Antonio

RESUMEN

Paralabras clave:
Transitorios de tensión y corriente, electricidad sucia, contaminación electromagnética, protocolos de medición

Abstract: Este proyecto tiene como objetivo valorar la relevancia de la electricidad sucia como un contaminante importante dentro del grupo de contaminantes producidos por campos electromagnéticos en una vivienda. Es importante que todo especialista en bioconstrucción entienda qué es la electricidad sucia, cómo afecta la salud de las personas y qué maneras tenemos de medirla. En este proyecto se propone un protocolo de medición para especialistas en mediciones de bioconstrucción que es preciso, versátil y con una fácil curva de aprendizaje. El protocolo que se ofrece en este proyecto quiere animar a que el IBN en un futuro próximo incluya la electricidad sucia como un factor de riesgo físico dentro de la norma técnica SBM.

1. Introducción

Durante la crisis energética de los años setenta la ingeniería electrónica dirigió sus esfuerzos para favorecer dispositivos que fuesen energéticamente eficientes. Esto llevó al uso masivo de tecnologías que añaden cargas no lineales a la instalación eléctrica, dichas cargas añaden armónicos y transitorios de tensión o corriente que acaban interfiriendo con la frecuencia de tensión de 50 Hz.[1] En el mundo de la bioconstrucción dicha interferencia se le denomina electricidad sucia porque los armónicos y transitorios acaban contaminando o "ensuciando" la instalación eléctrica con unas frecuencias y amplitudes a la que no estaba originalmente diseñada. Es muy ajustada la descripción de la electricidad sucia que hace el Building Biology Institute de Norteamérica ya que la describe como una contaminación eléctrica por picos breves de tensión (microsurge electrical pollution o MEP)[2] y que su vez se define como todos aquellos armónicos y transitorios de frecuencia intermedia que están por encima de la frecuencia de tensión de 50 Hz, concretamente frecuencias en el rango VLF (3-30 kHz) y LF (30-300 kHz). En gran medida la electricidad sucia que se comenta en este proyecto se refiere a la interferencia observable en el cableado, pero también hay una interferencia que puede ser irradiada en el ambiente como si de ondas electromagnéticas se tratase o también irradiada y conducida por dispositivos o configuraciones eléctricas diversas que tengamos en la vivienda [3].

2. Evaluación histórica

El fenómeno de la electricidad sucia no es nuevo, si bien dicho concepto ya fue explorado a finales del siglo diecinueve sólo es finales del siglo veinte que se le reconoce como un problema. La investigación científica de este fenómeno a lo largo de la historia ha sido desarrollándose en diferentes partes del planeta siendo Estados Unidos el país con mayor número de investigadores interesados en observar la capacidad de los pulsos electromagnéticos (emisiones electromagnéticas de alta intensidad y de breve duración) de frecuencias VLF y LF para alterar la fisiología humana y animal [4]. La influencia norteamericana sirve de inspiración a varios investigadores soviéticos que en los años setenta investigan el efecto de los campos electromagnéticos de frecuencias VLF y LF en la salud de los trabajadores que utilizan soldadura industrial de arco voltaico, su conclusión fue que los campos eléctricos alternos y campos magnéticos alternos asociados a frecuencias por encima de los 50 Hz tienen mayor probabilidad de producir enfermedades [5]. Su contribución en el entorno de la salud laboral sirvió de estímulo para la creación de un laboratorio nacional en Moscú y la posterior creación de unos valores límite de exposición que son mucho más restrictivos que los que tenemos en la mayoría de países occidentales. Aún así tenemos que esperar varias décadas hasta que este tema vuelva a ser rescatado en Estados Unidos y popularizado por las investigaciones del epidemiólogo Samuel Milham quien observa que ciertos conglomerados de cáncer no pueden ser explicados por la presencia campos eléctricos alternos o campos magnéticos alternos de baja frecuencia (cercanos a los 50 Hz) o por ondas electromagnéticas, sino que tiene que haber algún otro factor ya que los valores observados para dichos campos no son significativos [6]. Gracias a la ayuda del ingeniero eléctrico Martin Graham y el consultor de electricidad industrial Dave Stetzer, Samuel Milham consigue medir ese otro nuevo factor que acabó denominando electricidad sucia. A la muerte de Martin Graham el tándem Milham/Stetzer ha seguido investigando el efecto de la electricidad sucia en diferentes entornos con especial atención a la interrelación entre frecuencia e intensidad como factor que permite la aparición de ciertas patologías.

3. Efectos sobre la salud

Cuando los primeros investigadores norteamericanos estudiaron el efecto de los pulsos electromagnéticos sobre tejidos, observaron que aplicar un campo electromagnético con una frecuencia determinada es un factor determinante, pero al profundizar un poco más encontraron que existían una ventana de acción específica para frecuencias y sus sendas intensidades. Con dichas ventanas consiguieron hacer que las membranas celulares fuesen más o menos permeables [7]. La permeabilidad en las membranas celulares no es un hecho baladí ya que dicha permeabilidad es la que regula un funcionamiento equilibrado de las células mediante un correcto intercambio de iones, siendo los principales los de sodio y potasio. La relevancia de esta ventana es que su rango de frecuencias coincide con el rango de frecuencias VLF y LF que observamos en la electricidad sucia. Así mismo la intensidad aplicada también entra en juego y esta puede ir de pocos milivoltios hasta varios voltios pico a pico. Hasta el momento vemos que frecuencia e intensidad entran en juego, pero los investigadores no tardaron en considerar la duración de la corriente aplicada como elemento también significativo.

Martin Graham añadirá a todo esto que el efecto en los humanos depende de la intensidad, la forma de onda presente, la duración de la exposición y el recorrido de los voltajes por el cuerpo.

En los últimos años un investigador que ha rescatado el concepto de la permeabilidad en las membranas celulares cuando hay exposición a campos electromagnéticos es Martin Pall popularizando el concepto de canales de calcio activados por voltaje (VGCC en la literatura científica) [8]. La idea no es nueva como hemos podido ya ver, pero es interesante que el concepto de VGCC explica muy bien cómo se produce el estrés oxidativo en los seres humanos cuando son expuestos a la electricidad sucia.

4. Métodos de medición

Las experiencias más interesantes en torno a la manera de medir la electricidad sucia desde un planteamiento cercano a la bioconstrucción las podemos separar en dos grupos: aquellas realizadas por investigadores europeos y las realizadas por investigadores norteamericanos. En Europa las experiencias de Mikko Ahonen y Tarmo Koppel dejan en evidencia que los medidores recomendados para medir electricidad sucia no aportan información relevante y se hace necesario utilizar osciloscopios de gama media o alta para realizar un análisis en profundidad [9].

De entrada no hay que descartar medidores como el NFA1000 de Gigahertz Solutions para evaluar la electricidad sucia, de hecho este medidor tiene la capacidad de grabar datos separándolos por frecuencias que nos dan información importante sobre la presencia de armónicos y posibles transitorios en una vivienda, pero su limitación es que no específica exactamente cuál es la frecuencia predominante en el rango de kilohercios ni tampoco su amplitud pico a pico correspondiente. A petición del ingeniero Martin Virnich la empresa Gigahertz Solutions ha desarrollado un firmware que permite al NFA1000 poder ser utilizado con una sonda para la medición de corrientes hasta 1 MHz. Yo aún no ha tenido oportunidad de probar esta nueva funcionalidad por lo que no sé hasta qué punto puede ofrecer información relevante sobre la presencia de transitorios de corriente en la instalación eléctrica de una vivienda.

Los osciloscopios que mejor se prestan para el análisis de transitorios y armónicos son los portátiles de la marca Fluke o Hantek, ambos tienen una resolución, opción de captura de datos y ancho de banda suficiente para un análisis detallado de todos los elementos presentes en la electricidad sucia.

Samuel Milham y Dave Stetzer han utilizado los osciloscopios Fluke de la serie 190 con buenos resultados para medir transitorios de tensión y definir cuáles son las frecuencias responsables de patologías variadas.

En el Building Biology Institute (Instituto norteamericano de bioconstrucción) tenemos las experiencias de Michael Schwaebe y Eric Windheim utilizando un equipo más versátil para evaluar la electricidad sucia en diversas situaciones. Ambos utilizan el NFA1000 para recabar información sobre campos eléctricos alternos y campos magnéticos alternos presentes en la vivienda, luego para un análisis específico de la electricidad sucia utilizan osciloscopios portátiles diferenciales con sondas especiales para medir tensión y corriente comparando la onda de tensión de red de 50 Hz con la onda generada por armónicos y transitorios mediante un filtro de paso alto. Lo interesante de este enfoque es que podemos visualizar la funcionalidad propia del modo osciloscopio junto con la del modo analizador de espectro para una fácil detección de la frecuencia de transitorios que mayor contribuye a la contaminación de la vivienda.

Manifiesto haber conseguido mediciones similares a las de mi colega norteamericano Eric Windheim a la hora de analizar las causas que producen electricidad sucia en las viviendas y proponer a sus clientes soluciones que consigan eliminarla.

5. Conclusiones finales

Es muy importante que los especialistas en bioconstrucción conozcan este factor de riesgo físico tan desatendido por los círculos de investigación, pero tan omnipresente en nuestras viviendas a medida que añadimos más y más dispositivos electrónicos con nuevas funcionalidades. La experiencia demuestra que es posible medirla de manera eficiente recopilando datos cuantitativos significativos para

un análisis en detalle de la causa que la produce y diseñar la manera correcta de eliminarla mejorando la biocompatiblidad de las viviendas [10]. Se echa en falta valores indicativos para la electricidad sucia en el norma técnica SBM del IBN que se ajusten a la metodología de la bioconstrucción. Para conseguir que la electricidad sucia sea incluida en la norma técnica se necesita una colaboración estrecha con arquitectos, ingenieros, médicos e instaladores que estén abiertos a investigar este interesante campo. Este proyecto tiene la intención de alentar a todos los interesados a profundizar en el conocimiento de un contaminante que tiene diversas facetas al mismo tiempo: es tensión, corriente, frecuencia y onda electromagnética al mismo tiempo.

6. Agradecimientos

Quisiera dar las gracias al investigador Mikko Ahonen por ayudarme constantemente a entender cómo la electricidad sucia afecta la salud, a los especialistas en bioconstrucción Michael Schwaebe y Eric Windheim por todos sus consejos a la hora de emprender la aventura de medir aquello que se desconoce y a Terry Stotyn de la empresa Cratus por sus palabras de apoyo y por asegurarme que en un futuro próximo todo especialista en mediciones de bioconstrucción utilizará un osciloscopio. Un fuerte agradecimiento a Alexandra Elbakyan por hacer realidad su sueño: el acceso a la investigación científica tiene que ser tan libre como la vida misma, sin su sueño este trabajo de fin de Máster no hubiese sido posible.

7. Bibliografía

[1] Stetzer, D. y Graham, M. 2010. RF electrical pollution. Silicon Valley. Smart Life Forum.

[2] Hoglander, S. 2019. Microsurge Electrical Pollution (Dirty Electricity) IBE 221.2 course. New Mexico. Building Biology Institute.

[3] Gruber, M. (2015). The ARRL RFI Book. Connecticut: The American Radio Relay League, Inc.

[4] Grandolfo, M. (Ed.) (1983). Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. New York: Springer.

[5] Гордон, З. (1966). Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. Ленинград: Академия медицинских наук СССР. - Gordon, Z. (1966). Cuestiones de salud laboral y el efecto biológico de los campos electromagnéticos de frecuencias superaltas. Leningrado: Academia de ciencias médicas de la USSR.

[6] Milham, S. y Morgan, LL. (2008). A New Electromagnetic Exposure Metric: High Frequency Voltage Transients Associated With Increased Cancer Incidence in Teachers in a California School. American Journal of Industrial Medicine, 51(8), 579-86.

[7] Nair, I., Granger, M. y Florig, H. (1989). Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields - Background Paper. Washington: U.S. Government Printing Office.

[8] Pall, M. (2013). Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 17(8), 958-965.

[9] Ahonen, M., Koppel, T. (2016). Voltage transients measurements and power line communication. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). Riga, USA: IEEE.

[10] Schwaebe, M. 2015. Microsurge Electrical Pollution. New Mexico. IBE Conference 2015.

MEMORIA

ÍNDICE

1. Introducción 7

1.1 Interferencia electromagnética 7

1.2 Diferencias entre armónicos y transitorios 9

2. Evaluación histórica de la investigación científica 10

3. Efectos biológicos específicos 13

4. Métodos cuantitativos de medición 16

4.1 Introducción 16

4.2 Apreciaciones según la experiencia europea 17

4.3 Uso de medidores Gigahertz Solutions 17

4.4 Uso de osciloscopios 17

4.5 Experiencia de Samuel Milham y David Stetzer 18

4.6 Experiencia de Michael Schwaebe 18

4.7 Experiencia de Eric Windheim 19

4.8 Propuesta personal de medición 20

4.9 Propuesta para futuras mediciones 23

5. Conclusiones finales 24

6. Bibliografía 24

La electricidad sucia y su efecto sobre la salud

Evaluación histórica, efectos biológicos y protocolo de medición

Rivera Vila, Juan Antonio

MEMORIA

Palabras clave:
Transitorios de tensión y corriente, electricidad sucia, contaminación electromagnética, protocolos de medición

1. INTRODUCCIÓN

Llamamos electricidad sucia en bioconstrucción a la interferencia producida por armónicos y transitorios presentes en el cableado eléctrico que se superponen a la frecuencia de tensión de 50 Hz alterando su estado original y generando un nuevo tipo de contaminación ubicua en las viviendas. El término electricidad sucia se deriva directamente del término inglés *dirty electricity* ya que es el utilizado habitualmente por los especialistas en bioconstrucción en países anglosajones y que adquiere notoriedad a partir del libro del mismo nombre escrito por el epidemiólogo norteamericano Samuel Milham[1] sobre el efecto de tal tipo de electricidad en la salud humana. El Building Biology Institute (Instituto Norteamericano de Bioconstrucción) considera de manera específica la electricidad sucia como Microsurge Electrical Pollution (contaminación eléctrica por micro transitorios) o MEP[2] que a su vez se define como la presencia de todo tipo de armónicos y transitorios de frecuencias elevadas por encima de los 50 Hz dentro de la banda de frecuencias VLF (3-30 kHz) y LF (30-300 kHz), pero a la luz de los estudios científicos existentes son los transitorios, a diferencia de los armónicos, los que tienen un efecto claro sobre la biología humana.

El estudio de los armónicos y los transitorios como un tipo de interferencia no es algo nuevo, en ingeniería eléctrica se estudia su presencia en las instalaciones eléctricas porque está demostrado que tanto armónicos como transitorios tienen un efecto no deseado sobre la calidad eléctrica del suministro, efecto que puede afectar el rendimiento de los dispositivos conectados o incluso dañarlos. Se estima que en Europa el coste de una mala calidad eléctrica debida a la presencia de transitorios es de unos 150 billones de euros anuales. El tipo de interferencia producida por la electricidad sucia pueden tener su origen en factores tanto externos como internos a la vivienda.

Cuando los factores son externos la electricidad sucia puede ser producida por fallos en los propios sistemas de generación y suministro eléctricos, el uso de contadores inteligentes de consumo eléctrico, fenómenos atmosféricos o rayos en una tormenta eléctrica. Curiosamente los rayos producen un tipo de transitorios de origen natural llamados spherics cuyas características y rango de frecuencias son muy similares a los que observamos en los transitorios de origen artificial presentes en la electricidad sucia[3]. Se estima que la interferencia generada por factores externos a la vivienda equivale al 20% de las interferencias totales, siendo el 80% restante generado por factores dentro de la vivienda.

Cuando los factores son internos la electricidad sucia puede ser producida por características o acciones llevadas a cabo en la instalación eléctrica de la vivienda como pueden ser el uso de fuentes conmutadas (la mayoría de fuentes de alimentación que utilizan nuestros dispositivos de consumo) que interrumpen la tensión a velocidades muy altas, presencia de una instalación eléctrica defectuosa, conexiones sueltas, sobrecarga en la fase, uso de dispositivos con potenciómetro, bombillas fluorescentes de bajo consumo, bombillas LED de baja calidad, bombas controladas por variadores de frecuencia, rectificadores, inversores de energía fotovoltaica, dispositivos que funcionan con tecnología PLC y como añadido la propia electrónica interna de los dispositivos diseñados para favorecer la eficiencia energética.

1.1 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

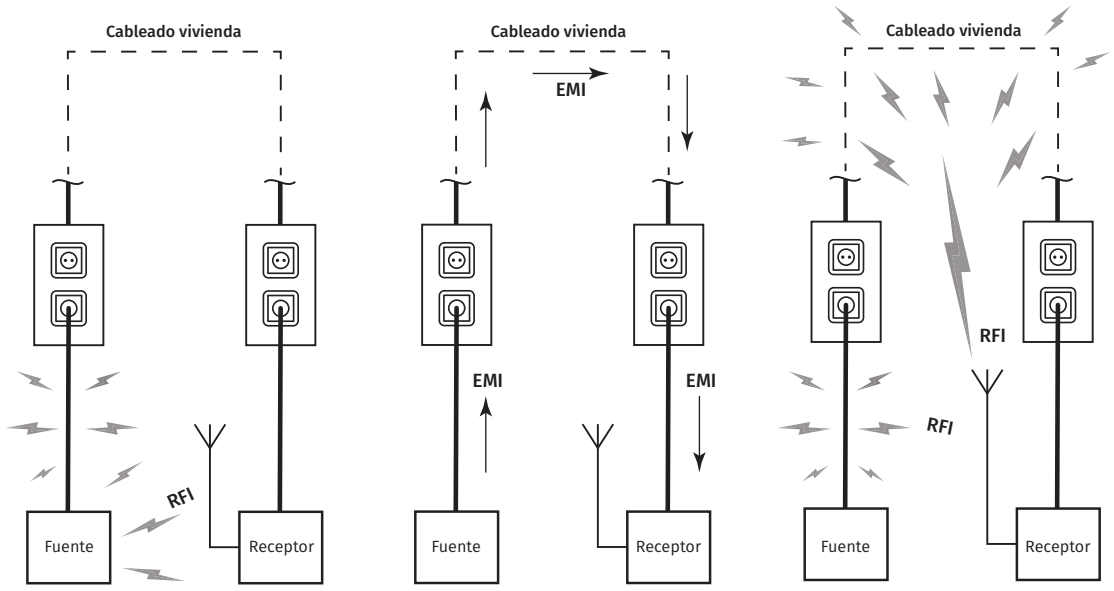
La electricidad sucia generada dentro de la vivienda aparece cuando tenemos una interferencia generada por los aparatos eléctricos que tenemos en la vivienda, dicha interferencia es producida por la electrónica interna de los mismos. En ingeniería eléctrica se le denomina Electromagnetic Interference (interferencia electromagnética) o EMI y puede ser de naturaleza conducida, irradiada o una mezcla de ambas. Cuando la EMI es conducida ésta es generada por la electrónica de los dispositivos conectados a la instalación eléctrica y la conducen por el cableado con frecuencias que pueden llegar hasta 1 MHz (1 millón de hercios), por eso esta rama es tan importante para los fabricantes porque cuando las frecuencias van más allá de 1 MHz tanto el funcionamiento como el rendimiento de diversos componentes electrónicos se deteriora considerablemente observando toda una serie de fenómenos indeseados. En bioconstrucción tendríamos que valorar esta información con mucho interés porque

hay diversos investigadores que consideran que el comportamiento indeseado de ciertos componentes electrónicos es equiparable al comportamiento indeseado de algunos órganos del cuerpo humano cuando son expuestos a frecuencias elevadas bajo la forma de transitorios. Cuando la EMI es irradiada las interferencias se comportan como ondas electromagnéticas que pueden transmitirse por el aire al igual como pueden hacer las radiofrecuencias, en este caso el concepto de EMI se extiende al de Radiofrequency Interference (interferencia de radiofrecuencia) o RFI.

Uno de los elementos más habituales y que en gran medida contribuye a la generación de electricidad sucia en la vivienda es la fuente conmutada ya que se estima que el 75% de las fuentes conmutadas comercializadas en Europa no cumplen con los estándares recomendados por el EMC Administrative Co-operation Working Group[1] lo que implica que las interferencias producidas por dichas fuentes añaden una alta contaminación por transitorios en las viviendas. En una fuente conmutada el componente electrónico que más interferencias genera, seguido de condensadores e inductores, es el componente de conmutación MOSFET. Cuando un MOSFET se enciende o se apaga a frecuencias elevadas, la variación rápida de voltaje por unidad de tiempo produce transitorios y un completo espectro de armónicos como EMI resultante. Para el caso concreto de las fuentes conmutadas de ordenadores veremos que éstas añaden transitorios al cableado con unas frecuencias asociadas específicas según cuál sea el tipo de ordenador, en un ordenador portátil la frecuencia asociada es de 25 kHz y en el caso de un ordenador de sobremesa de 17 kHz. En ingeniería eléctrica hasta cierto límite se aceptan la presencia de dichas frecuencias, pero desde el punto de vista la bioconstrucción tenemos un problema grave a considerar ya que el cableado que utilizamos en las viviendas suele estar optimizado para la frecuencia de tensión de 50 Hz. Cuando añadimos frecuencias superiores el cableado puede servir de medio que permite la emisión de ondas electromagnéticas y sólo en el caso de frecuencias muy elevadas podría llegar a comportarse como una antena propiamente dicha, concretamente cuando las frecuencias entran dentro o se situan por encima del rango HF (3-30 MHz). Esto sucede porque cualquier cable o hilo fabricado a partir de un elemento conductor metálico tiene en menor o mayor medida la capacidad de captar energía electromagnética.

Como podemos ver la EMI dentro de un cable puede empezar siendo conducida y acabar siendo de naturaleza irradiada, pero en la mayoría de aparatos eléctricos la EMI la encontramos en las dos formas, conducida y al mismo tiempo irradiada. Esto es así porque la propia eléctronica de un aparato eléctrico genera una EMI que se conduce por el cable de alimentación y una RFI que se irradia por la zona más cercana a dicho aparato. Los fabricantes hacen todos sus esfuerzos para cumplir con las normas de Electromagnetic Compatibility (compatibilidad electromagnética) o EMC limitando todo tipo de interencias mediante un correcto diseño, selección de componentes y apantallamiento, pero siempre desde un punto de visto técnico y no contemplando cómo puede afectar la salud del usuario. En el gráfico siguiente podemos ver una reproducción de cómo serían estos tres tipos de interferencia en el ambiente.

En este trabajo se describe específicamente cómo la electricidad sucia genera EMI conducida en el cableado y



(A) Interferencias irradiadas (B) Interferencias conducidas (C) Interferencias conducidas e irradiadas

cómo dicha electricidad es producida por la presencia de cargas no lineales en la instalación eléctrica. Hasta antes de los años setenta del siglo veinte la mayoría de aparatos eléctricos producían cargas lineales, esto es decir, cargas en las que la corriente en todo momento era proporcional al voltaje, esto hacía que las ondas de voltaje y corriente

[1] Grupo de Trabajo de Cooperación Administrativa para la Compatibilidad Electromagnética

fuesen sinusoidales sin distorsión (gráfico 1). Con la posterior introducción de circuitos que fomentan el ahorro energético los aparatos eléctricos comenzaron a producir cargas no lineales donde la corriente no es proporcional al voltaje y fluctúa según la frequencia del circuito, este proceso hace que se añadan corrientes en pulsos abruptos de corta duración (gráfico 2). Estos pulsos distorsionan las ondas de corriente que a su vez acaban generando

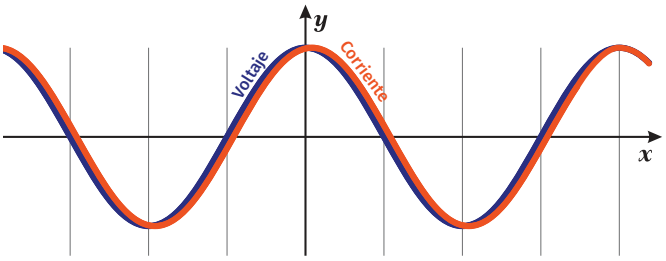


Gráfico 1. Carga lineal, las ondas de voltaje y corriente se producen en fase. No se produce distorsión.

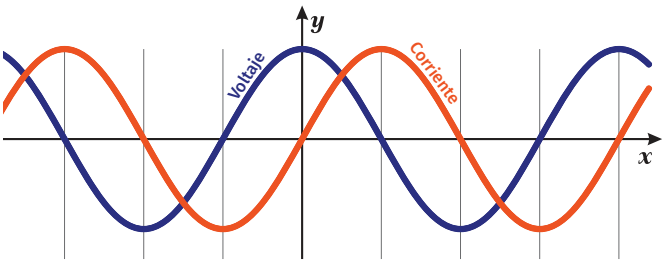


Gráfico 2. Carga no lineal, las ondas de voltaje y corriente se producen con desfase. Se produce distorsión.

armónicos y transitorios.

1.2 DIFERENCIAS ENTRE ARMÓNICOS Y TRANSITORIOS

Los transitorios y los armónicos son fenómenos completamente diferentes y se analizan de manera separada. En el caso de los armónicos cuando las cargas no lineales distorsionan las ondas de corriente se generan corrientes armónicas cuyas frecuencias se alejan de la frecuencia fundamental de 50 Hz, pero son íntegros múltiples de ella, por lo tanto veremos que aparecen frecuencias de 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, etcétera (gráfico 3). Esto sucede así porque los armónicos tienen una naturaleza más bien periódica, se producen de manera continua o por lo menos

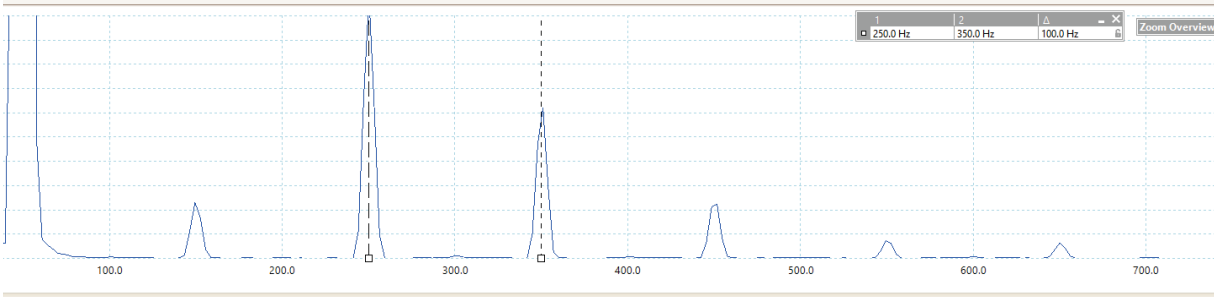


Gráfico 3. Armónicos de tensión de red de 50 Hz cuando hay presencia de cargas no lineales

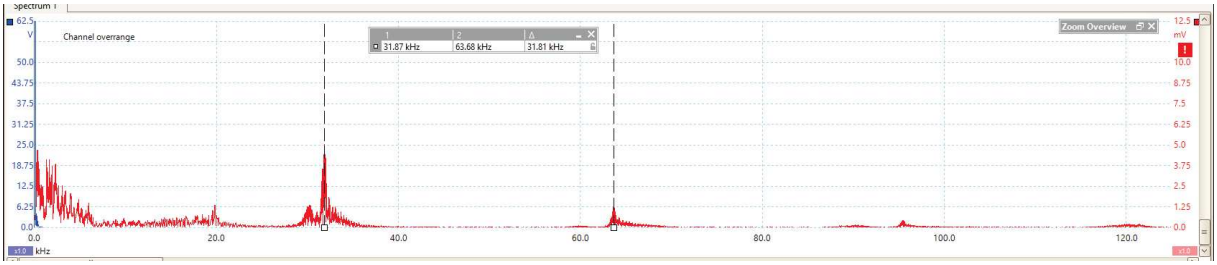


Gráfico 4. Transitorios de tensión superpuestos a la frecuencia de tensión de red de 50 Hz cuando hay presencia de cargas no lineales.

por algunos segundos. En cambio los transitorios tienen una naturaleza no periódica similar al comportamiento de una interrupción similar a la operación de encendido/apagado que se produce en un intervalo muy corto de tiempo, cabe señalar que dicha interrupción se entiende como una perturbación en el sistema y con el sólo hecho

de encender o apagar un aparato de consumo eléctrico en la vivienda inducimos un transitorio en dicho sistema (figura 4). Los armónicos tienen tendencia a ser más estables en un sistema eléctrico en comparación con los transitorios cuya tendencia es más bien breve y aleatoria. La duración de los transitorios de tensión suele ser de 50 microsegundos y en el caso que tengamos transitorios de corriente su duración es de 20 microsegundos [4].

2. EVALUACIÓN HISTÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

En 1910 Rudolf Höber realiza un experimento en el que mide la resistividad eléctrica en células y observa el comportamiento de las membranas a frecuencias elevadas, aunque en esas épocas sólo se podía experimentar con frecuencias que llegaban aproximadamente hasta los 100 MHz. Rudolf Höber postuló que las membranas celulares sólo podían penetradas por corrientes de frecuencias suficiente altas. Su trabajo pionero alentó a otros investigadores a confirmar sus observaciones y comprobar cómo las membranas se comportan de manera equivalente a un circuito eléctrico.
El investigador alemán Herman Schwann, el padre de ingeniería biomédica, durante la Segunda Guerra Mundial observó que a partir de los resultados obtenidos quedaba claramente demostrado que para muchos sistemas celulares la capacidad de los campos de altas frecuencias o microondas de polarizar las membranas celulares es mucho menor en varios órdenes de magnitud que la habilidad correspondiente a campos de baja frecuencia y con eso nos referimos a campos en el rango de kilohercios. Herman Schwann señaló en sus estudios que las células se comportan como filtros de paso alto cuando se les induce un potencial en las membranas, esta característica hace

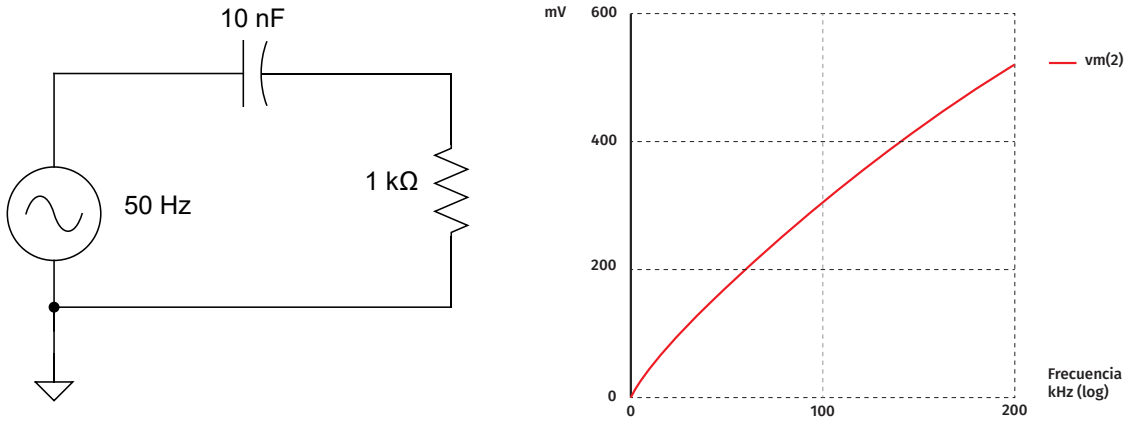


Gráfico 5. Modelo de célula como filtro de paso alto. Las frecuencias en el rango de kilohercios consiguen afectar la membrana celular.

que se produzca una frecuencia de corte y por esto reaccionen a un rango de frecuencias altas en las que su influencia es máxima y más allá de ese rango dicha influencia disminuye[5]. Si observamos un gráfico de un filtro de paso alto tal y como se concibe en electrónica veremos que se limitan las frecuencias bajas dejando pasar sólo las altas (gráfico 5). Este gráfico lo podemos comparar con otro donde observamos el comportamiento de las membranas celulares ante ciertas frecuencias elevadas, podemos observar cómo a medida que las frecuencias aumentan la permitividad[2] es elevada y esto tendrá repercusiones interesantes al estudiar cómo este mismo comportamiento condiciona la apertura de canales de calcio en las células (gráfico 6), tema abordado en la sección 3 de este trabajo.
Durante la Segunda Guerra Mundial los círculos científicos fueron testigos de la aparición de numerosos laboratorios interdisciplinares que posteriormente durante los años sesenta sirvieron de base para la creación de los primeros departamentos de ingeniería biomédica y biofísica a medida que aparecieron programas de enseñanza consolidados.
La influencia de las investigaciones de Herman Schwann fue muy grande, tanto así que en la Unión Soviética los investigadores se basaron en sus descubrimientos para desarrollar áreas de experimentación relacionadas con el efecto de los campos electromagnéticos en los seres vivos. Una de las investigadoras clave en esta área de experimentación fue la Dra. Zenaida Gordon que basándose en los estudios de Herman Schwann de los años cincuenta entra a formar parte del laboratorio de campos electromagnéticos y radiaciones de Moscú, el famoso ЭМП, centrando su trabajo en el efecto de los campos eléctricos y magnéticos con frecuencias en el rango VLF en entornos laborales. Ella acabará detallando sus conclusiones en su magistral libro Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот (Cuestiones de salud laboral y el efecto biológico de los campos electromagnéticos de frecuencias superaltas)[6]. Una investigación similar la podemos encontrar en el libro de Yuri Osipov Игиена труда и влияние на работающих электромагнитных полей радиочастот (Salud laboral y el efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en trabajadores) donde

[2] Capacidad de un dieléctrico para almacenar energía electroestática en presencia de un campo eléctrico.

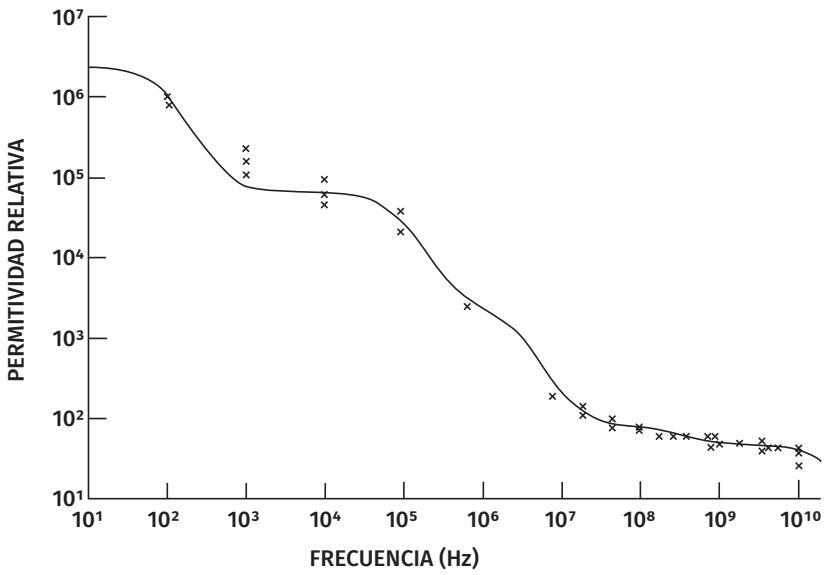


Gráfico 6. Permitividad relativa y frecuencia. Cuando la permitividad relativa biológica es alta en un célula, ésta tiene más capacidad de almacenar cargas de manera similar a cómo lo hace un condensador eléctronico. La franja más activa es la que va desde 1 kHz hasta 100 kHz según los modelos de Herman Schwann. A partir de 10 MHz la permitividad disminuye considerablemente.

concluye que para frecuencias entre 10 y 1.500 kilohercios se observan efectos adversos más acusados que en los observados para campos electromagnéticos de 50 Hz, destacando que los campos electromagnéticos asociados a frecuencias en el rango de kilohercios producen una alteración del equilibrio entre el sistema nervioso simpático y el parasimpático con graves consecuencias para el correcto funcionamiento del nervio vago. Es interesante anotar que la labor tan intensa de investigación sobre los efectos de los campos electromagnéticos en la salud realizada en la Unión Soviética llevó a esta nación durante los años cincuenta a considerar que para el público en general el límite de exposición de intensidad de campo eléctrico debería de ser de 500 V/m y unos 5.000 nT para la densidad de flujo magnético, ambos para la frecuencia de 50 Hz. En España y otros países europeos el límite de exposición es diez veces mayor para el campo eléctrico y veinte veces mayor para el campo magnético[7]. Lo interesante es que incluso definieron dos rangos de frecuencias, uno comprendido entre 5 Hz y 2 kHz con un valor límite de 25 V/m para el campo eléctrico alterno y 250 nT (nanoteslas) para el campo magnético alterno y otro comprendido entre 2 kHz y 400 kHz donde el valor límite para el campo eléctrico alterno es de 2,5 V/m y de 25 nanoteslas para el campo magnético alterno. Como podemos apreciar al aumentar la frecuencia los valores límite para cada uno de los campos es diez veces menor.

Pero el legado de Herman Schwann continuó dando frutos en Estados Unidos y sus herederos centraron sus investigaciones, la mayoría financiadas por la OTAN, en las capacidades de los campos electromagnéticos para influir en el comportamiento de los tejidos y las células, pero me gustaría destacar que los temas centrales fueron las características dieléctricas[3] de los elementos biológicos y la modificación de la permitividad de las membranas celulares. Con la primera se consigue estudiar cómo algunas partes del cuerpo humano se comportan como si fuesen condensadores electrónicos y con la segunda cómo alterar las membranas haciéndolas más o menos permeables dependiendo del tipo de campo electromagnético que les apliquemos. Contemporáneos a la última etapa de investigación de Herman Schwann tenemos a los investigadores William Adey que profundizó en los efectos de la radiación no ionizante en tejidos[8], Ronald Pehtig que continuó el trabajo de Herman Schwann sobre las propiedades dieléctricas de los seres vivos [9] y Carl Blackman que pudo detallar el efecto del flujo de calcio en las células al exponerlas a campos electromagnéticos[10]. Lamentablemente los resultados de sus estudios se mantuvieron confinados en entornos estrictamente académicos y no tuvieron influencia en las decisiones gubernamentales sobre protección de la salud y del medioambiente ante la exposición de campos electromagnéticos.

Esa similitud observada por Herman Schwann entre las características de algunas partes del cuerpo y elementos electrónicos pasivos como condensadores tuvo que esperar hasta los años noventa del siglo veinte para ser nuevamente sacada a la luz cuando Ben Armstrong, Gilles Thériault y Paul Héroux retomaron el tema del efecto de los transitorios en la salud en gran estudio financiado por la empresa Hydro-Québec donde observaron que los trabajadores del sector hidroeléctrico tenían quince veces más probabilidades de desarrollar cáncer de pulmones[11]. Para este estudio se desarrollaron medidores y dosímetros personalizados para los miles de trabajadores que participaron en el estudio, pero lamentablemente ante los resultados la empresa canadiense de suministro eléctrico involucrada decidió confiscar los datos, destruir los medidores y bloquear cualquier otro estudio similar. Los autores concluyeron en el estudio que es la propia característica específica de los transitorios, o según ellos, campos electromagnéticos pulsados de corta duración (PEMFs), la que tiene un efecto significativo sobre los resultados de afectación de cáncer de pulmón debido al fenómeno de inducción en los tejidos. El efecto

[3]Dicese de un aislante eléctrico que puede ganar polaridad cuando se le aplica un campo eléctrico.

potenciador de los transitorios fue algo que también se observó en un estudio llevado a cabo por Maurizio Vignati y Livio Giuliani del Instituto Superiore Prevenzione e Sicurezza del Lavoro (Instituto Superior Prevención y Seguridad del Trabajo) de Roma al investigar la presencia de frecuencias de 112 a 370 kHz en líneas de media y alta tensión donde se observa el tema recurrente de fuerte inducción electromagnética en los tejidos de seres vivos cuando hay presencia de frecuencias elevadas asociadas a transitorios[12]. Este mismo tipo de inducción es la que explicó Herman Schwann en su día y se explica de la siguiente manera: un condensador es un elemento electrónico pasivo que contiene dos elementos conductivos separados por un elemento no conductivo (o dialéctrico), al estar sometido a una tensión las cargas de uno de los elementos conductivos intenta entrar en contacto con la otra y lo mismo sucede con la otra parte, creando una acumulación de cargas; de manera similar el pulmón es un órgano con tejidos (elemento conductor) separados en gran parte por aire (elemento no conductor), al estar sometido a una tensión el pulmón en su totalidad acumula cargas muy fácilmente de manera similar a como lo hace un condensador.

El tema de la influencia negativa de los transitorios en diferentes partes del cuerpo vuelve a ser puesta en relevancia por Mikko Ahonen, Tarmo Koppel y Paul Héroux al hacer una revisión de diversos estudios científicos en las últimas décadas relacionados con el efecto de los transitorios, incluido el que el mismo Paul Héroux tuvo en coautoría con Ben Armstrong y Gilles Thériault (1994), donde concluyen: “El tejido del pulmón es un medio conductor que ofrece una gran superficie expuesta al aire (un aislante). Es posible que el potencial eléctrico pueda concentrarse allí, más que en cualquier otra parte biológicamente activa del cuerpo” (p. 14) [13].

A pesar que el estudio de Ben Armstrong, Gilles Thériault y Paul Héroux no tuvo continuación, pocos años después y no muy lejos de allí, Martin Graham y David Stetzer decidieron estudiar las quejas de diversos granjeros por un problema que parecía estar relacionado con un contaminante ambiental. El 2 de abril del año 2000, Dave Stetzer, antiguo técnico electrónico de las Fuerzas Aéreas del Ejército de los Estados Unidos, compareció ante la Comisión del Servicio Público del Estado de Michigan para explicar el efecto de las cargas no lineales en la salud. Su comparecencia puso de relieve que la mayoría de aparatos eléctricos con componentes electrónicos añaden inmensas cantidades de frecuencias VLF y LF en la red eléctrica, los electrones presentes en el cableado, tal y como él lo explicó, vibran no sólo a 60 Hz (frecuencia de tensión de red norteamericana) sino en las frecuencias que se extienden a lo largo del rango de ultrasonidos e incluso dentro del espectro de radiofrecuencias y por si no fuese suficiente dichas frecuencias viajan también por el cable neutro de la red eléctrica.

David Stetzer tuvo la oportunidad de evaluar las viviendas de gente afectada por electricidad sucia en las zonas rurales de los Estados de Wisconsin, Minnesota y Michigan. Los afectados, especialmente niños, comentaron sufrir enfermedades relacionadas con disfunciones en los pulmones y la sangre. Los pulmones de estos niños se vieron gravemente afectados perdiendo la capacidad de realizar sus funciones normales, recordemos, tal y como he explicado antes, que los pulmones son órganos que se comportan como condensadores al estar rodeados de aire que hace de elemento aislante. Muchos de estos incidentes se produjeron en el área rural de Minnesota donde las empresas de suministro eléctrico tienen la práctica de utilizar la tierra física para el retorno y completar el circuito a diferencia de como suele hacerse en Europa a través del neutro. Dicha práctica no sólo electrifica todo lo que se halla en el recorrido de retorno sino también transmite voltajes con frecuencias en el rango VLF y LF que acaban afectando la salud de las personas. Los síntomas físicos más habituales observados entre todas las personas afectadas en los Estados de Wisconsin, Minnesota y Michigan son fatiga crónica, náuseas, dolores de cabeza, síntomas parecidos a los de la gripe aunque sin padecerla y pérdida de memoria, éstos dos últimos síntomas muy habituales entre la gente con EHS (electrohipersensibilidad). Curiosamente este problema en la red eléctrica no sólo acabó afectando a las personas sino al ganado que solía morir de manera inexplicable, al realizar las autopsias se vio que todo estaba bien salvo que sus vasos sanguíneos estaban rotos y acabaron muriendo de hemorragia.

Dave Stetzer, una persona electrohipersensible, debe su interés por el tema de la electricidad sucia al contacto que tuvo con Martin Graham, ingeniero eléctrico, profesor de la Universidad de California y también electrohipersensible quien describió la presencia de voltajes de alta frecuencia como un contaminante ubicuo y cómo esos mismos voltajes pueden producir corrientes que fluyen por los tejidos de los seres humanos mediante contacto directo o por acoplamiento capacitivo[4]. Dicho contacto también le permitió colaborar con el epidemiólogo Samuel Milham quien ha dedicado gran parte de su vida a estudiar el efecto de la electrificación en la salud y especialmente a investigar los efectos concretos de la electricidad sucia por transitorios, siendo su estudio más famoso el que se llevó a cabo en el Instituto La Quinta de California al analizar conglomerados de cáncer entre el personal docente[14]. En dicho Instituto se observó que la incidencia de cáncer era mayor entre las personas que estaban expuestas a niveles muy elevados de electricidad sucia por transitorios. Los resultados no gustaron a los responsables del Instituto La Quinta y se bloqueó cualquier tipo de investigación posterior, a pesar de ello Sam Milham ha seguido investigando este interesante campo y ha resumido sus investigaciones en su libro “Dirty electricity. Electrification and the Diseases of Civilization”. El estudio realizado en el Instituto La Quinta no ha sido el único en el que Samuel Milham ha estado involucrado, existen varios estudios realizados en diferentes edificios públicos donde se han observado niveles altos de electricidad sucia debidos a fuentes que provenían tanto de la propia instalación eléctrica como

[4]Transferencia de energía alterna desde una parte de un circuito a otra cuando los elementos se comportan como condensadores.

de otras instalaciones situadas a varios kilómetros de distancia [15]. A este respecto en el caso del estudio que realizaron en la Hopewell High school de North Carolina donde se registró un conglomerado de melanoma ocular, al medir la electricidad sucia con un osciloscopio la amplitud era de más de 380 mV pico a pico para frecuencias entre 7.4 y 19.9 kHz. La electricidad sucia llegaba al Instituto a través de los tubos de suministro de una estación de gas natural donde se utilizaban motores de frecuencia variable.

A medida que van avanzado las investigaciones científicas en el campo de la electricidad sucia, más nos acercamos a una relación directa con la teoría de los efectos de los campos electromagnéticos basada en la regulación de los canales de calcio activados por voltaje defendida por Martin Pall[16]. La teoría de los voltage-gated calcium channels (canales de calcio regulados por voltaje) o VGCCs no es algo nuevo, de hecho, nos remite a los inicios de la investigación iniciada por Herman Schwann sobre la permitividad de las membranas celulares ante la presencia de una ventana específica de frecuencias que en este caso coincide con el rango de kilohercios que hemos visto para la electricidad sucia.

Ahora bien en lo que respecta a los especialistas de bioconstrucción de Estados Unidos vinculados al Building Biology Institute (Instituto norteamericano de bioconstrucción) y que se hayan adentrado en el mundo de las mediciones de electricidad sucia nos gustaría señalar el trabajo que ha realizado el especialista en bioconstrucción Michael Schwaebe para personas electrohipersensibles, el propio Michael Schwaebe es electrohipersensible y ha podido constatar el efecto contraproducente que tienen diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas, motores de velocidad variable e incluso el uso de algunos filtros destinados a eliminar la electricidad sucia de las viviendas [17]. Michael Schwaebe es un gran impulsor de la creación de valores indicativos específicos para la electricidad sucia y opina que éstos se deberían incluir cuanto antes en la norma técnica SBM. Por otro lado, y hablando también de la experiencia norteamericana, me gustaría señalar el trabajo del especialista de bioconstrucción y mediciones de factores de riesgo físicos, Eric Windheim, que a partir de su larga experiencia realizando mediciones de electricidad sucia ha comprobado qué frecuencias e intensidades representan valores extremadamente significativos en las viviendas y a su vez ha señalado las técnicas de medición que todo especialista podría utilizar sin tener que utilizar medidores especialmente caros o sofisticados. Es interesante señalar que su experiencia se corresponde con los resultados de las investigaciones que ha realizado Samuel Milham en diversas ocasiones y también se corresponde con mi experiencia personal al realizar mediciones para gente con electrohipersensibilidad, en la totalidad de casos los valores extremadamente significativos que he medido se corresponden también con los registrados por Eric Windheim.

Sólo tengo conocimiento de una persona en Europa que desde una perspectiva académica haya decidido adentrarse en la investigación de la electricidad sucia y su manera de medirla. El investigador finlandés Mikko Ahonen, a quien ya he mencionado en este trabajo, ha llevado a cabo una serie de estudios que describen muy bien por qué deberíamos como especialistas de bioconstrucción dar más importancia a este tipo de contaminación presente en la mayoría de viviendas y ha señalado cuál debería ser la mejor manera de poder medirla [18].

3. EFECTOS BIOLÓGICOS ESPECÍFICOS

Si bien es cierto que no hay mucha investigación epidemiológica sobre el efecto de la electricidad sucia en la salud humana, una cantidad considerable de estudios sugieren que deberíamos de estudiar concretamente cuál es su efecto sobre nuestra biología. Es importante recordar que no hay valores límite concretos en la norma técnica SBM 2015 para la electricidad sucia ni tampoco veo que sea un tema que se esté debatiendo activamente entre los profesionales de la bioconstrucción ni la salud del hábitat, aún así el Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (Comité científico sobre riesgos en la salud recientemente identificados y emergentes) o SCENIHR, comité dependiente de la Comisión Europea, comenta que al estudio del efecto de los campos electromagnéticos en el rango de frecuencias VLF y ELF se le asigna una alta prioridad y a su vez deberían de investigarse los posibles biomarcadores de exposición[19]. En mi revisión de la bibliografía existente sólo Samuel Milham ha planteado biomarcadores relevantes para los efectos de la electricidad sucia.

Por otro lado, hay que recordar que en la guía EUROPAEM se proponen valores promedio para el rango de frecuencias VLF (3 kHz a 300 kHz) de 0,1 V/m para campo eléctrico alterno durante el día, 0,03 V/m durante la noche y de 0,01 V/m para personas sensibles; para campo magnético alterno se proponen valores promedio de 1 nT tanto para el día como la noche y 0,3 nT para personas sensibles. Como podemos apreciar estos valores son mucho menores que los tenemos en la norma técnica SBM 2015 para campos eléctricos alternos y campos magnéticos alternos.

Hay dos aspectos interrelacionados que observamos en el efecto de la electricidad sucia en la biología humana, el primero tiene que ver con la ventana de frecuencias e intensidades de los transitorios durante la exposición, el segundo con la capacidad de esa ventana de producir permeabilidad en la membrana celular.

Considero que es también importante señalar que en una instalación eléctrica los picos de voltaje y corriente generados por transitorios se producen en una manera oscilatoria, como si de pulsos se tratasen. Es la frecuencia

de oscilación la que determina la frecuencia resonante en el cableado de una vivienda.
El primer aspecto alude a cómo la frecuencia y su asociada intensidad posibilitan la aparición de una ventana biológica donde los efectos son muy marcados.
Es interesante observar que no todas las frecuencias tienen efectos nocivos en la biología humana, sólo algunos rangos presentan nocividad aunque sea a poca intensidad. Según el ingeniero eléctrico Martin Graham el efecto en los humanos dependerá de la forma de la onda, la intensidad, la duración y el recorrido que realizan los voltajes a través del cuerpo. Ciertamente todos esos factores entran en juego a la hora de vernos afectados por los transitorios de la electricidad sucia. Tal y como explican los investigadores desde hace ya tiempo, empezando por los trabajos pioneros de Herman Schwann, existen unas ventanas biológicas donde las frecuencias tienen una mayor capacidad de inducir campos eléctricos y magnéticos en el cuerpo.
En un estudio se han observado efectos de excitabilidad de las neuronas inhibiendo la respuesta muscular cuando se producen una serie de estímulos rápidos en el nervio motor, en este caso los estímulos rápidos tienen que ver con pulsaciones asociadas a frecuencias superiores a los 4 kHz con diferentes intensidades; se concluye que la excitabilidad de las neuronas se ve afectada por tres parámetros: intensidad, frecuencia y duración específicamente para corriente alterna[20].
En otro estudio se observaron bloqueos en el nervio motor de mamíferos al utilizar frecuencias de 10 a 30 kHz con una amplitud de 2 a 10 V pico a pico. Un detalle relevante es que a medida que se superaban los 30 kHz se necesitaba más corriente para conseguir bloqueos demostrando cómo en ese rango de frecuencias no se necesitaban mayores intensidades para observar efectos[21].
En varios estudios también se ha observado cómo ciertas frecuencias en el rango de kilohercios se ven asociadas a patologías diversas. Al realizar mediciones con osciloscopio en el Instituto La Quinta donde la presencia de transitorios de alta frecuencia era elevada, se correlacionaron éstos con la aparición de conglomerados de cáncer [14]. Otras de las frecuencias observadas con claros efectos en la salud fueron las de 7,4 kHz y 19,9 kHz asociadas a cánceres poco habituales y melanoma ocular presentes en estudiantes y personal docente de un Instituto, la fuente que producía dichas frecuencias eran los variadores de frecuencia utilizados en una planta de almacenamiento de gas situada a 4 kilómetros, pero cuyos tubos de suministro acababan llevando corrientes que contaminaban el centro educativo[15].
En primates se ha observado bloqueo de rutas específicas en el sistema nervioso central mediante ondas sinusoidales (similares a las presentes en el suministro eléctrico) con una frecuencia óptima de bloqueo en el rango de 20 a 40 kHz [22].
Ben Armstrong, Gilles Thériault y Paul Héroux observaron que los campos eléctricos y magnéticos muestran mayor efecto de inducción en tejidos cuando hay presencia de frecuencias superiores a 50 Hz (tensión de red), esto se produce concretamente por un fenómeno de acoplamiento capacitivo y es explicado por la ley de Faraday donde la intensidad de una corriente inducida por un campo magnético uniforme en cualquier parte del cuerpo es proporcional a la frecuencia de cambio del flujo magnético, cuando la frecuencia es alta la intensidad de corriente inducida es mayor[11].
Según el informe de Indira Nair, M. Granger Morgan y H. Keith Florig, cuando nos exponemos a frecuencias por encima de la frecuencia de tensión de red de 50 Hz, éstas inducen corrientes más intensas en el cuerpo. Por ejemplo, un campo eléctrico de 20 kHz a una distancia de un metro induce corrientes en el cuerpo que son comparables en magnitud a aquellas inducidas por un campo eléctrico de tensión de red de 3 kV/m [23].
Sobre el tema de la inducción de corrientes en presencia de frecuencias elevadas existe un estudio de Sukru Ozen donde evalúa cómo a medida que la frecuencia aumenta la densidad de corriente inducida aumenta. Se utilizó un modelo expuesto a un campo magnético de 1 μT (1 microtesla) y se observó lo siguiente: en un adulto si el campo magnético está asociado a una frecuencia de 50 Hz la densidad de corriente es de 2,743 μA, si el campo magnético tiene una frecuencia de 10 kHz la densidad de corriente es de 1.097 μA y si tiene 100 kHz de 16.458 μA. En un niño de diez años si el campo magnético está asociado a una frecuencia de 50 Hz la densidad de corriente es de 1,967 μA, si el campo magnético tiene una frecuencia de 10 kHz la densidad de corriente es de 786,9 μA y si tiene 100 kHz de 118.004 μA [29].
Esto también está corroborado por Maurizio Vignati y Livio Giuliani quienes observaron que a medida que la frecuencia aumenta valores más pequeños de inducción magnética pueden producir el mismo valor de densidad de corriente [12] (gráfico 7). Esta propiedad de la frecuencia de aumentar la densidad de corriente no es la única que los autores comentan en el estudio, también ponen en relieve las investigaciones de Herman Schwann sobre la capacidad innata que tiene una frecuencia para aumentar la permeabilidad en las membranas celulares.
Es por eso que el segundo aspecto del efecto de la electricidad sucia en la biología humana tiene que ver con la permeabilidad de la membrana celular. Según Herman Schwann cuando las frecuencias aumentan empezando por el rango ELF tanto la constante dialéctrica y la conductividad de los tejidos varía en varios órdenes de magnitud (gráfico 8). Con el aumento de la frecuencia la constante dialéctrica disminuye y la conductividad aumenta. Esto tiene una implicación importante porque cuando hay una disminución en la constante dialéctrica, la membrana

celular produce una mayor dispersión que a su vez permite el paso de corrientes de alta frecuencia a través de dicha membrana, cuando esto sucede la permeabilidad de la membrana aumenta facilitando un paso descontrolado de iones de calcio. Como veremos en la investigación de Martin Pall sobre los canales de calcio regulados por voltaje, esto tiene serias implicaciones para el equilibrio de las células.
Como hemos podido observar existe un rango de frecuencias que tienen la capacidad de tener un efecto mayor sobre la biología humana, este rango concreto según los investigadores describe una ventana de efectos biológicos. Esto ha sido investigado por William Adey y Leonard Kaczmarek quienes han observado la presencia de ventanas de efectos biológicos tanto para la frecuencia como para la amplitud y su efecto sobre la inhibición selectiva de liberación de calcio del tejido cerebral con una clara posibilidad de generar neurotoxicidad. En el laboratorio aunque se utilizaron frecuencias dentro del rango RFI se decidió aplicar corrientes eléctricas en forma de pulsos con una intensidad de campo de 2-5 mV/mm a 200 pulsos por segundo. Su conclusión es que, si bien hay unas frecuencias con claros efectos biológicos, el modo de interacción es fuertemente dependiente de la amplitud (intensidad) del campo electromagnético aplicado[24].
Por otro lado, Carl Blackman y otros han observado también esta relación entre frecuencia e intensidad, pero con la particularidad que si dejamos la intensidad constante la ventana biológica se vuelve más activa cuando hay

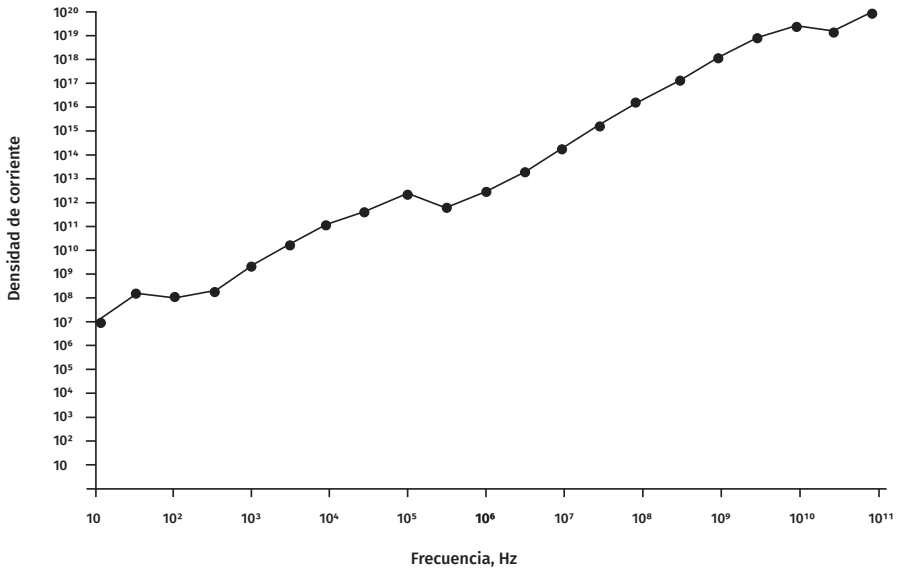


Gráfico 7. Correlación entre frecuencia y densidad de corriente inducida en el cuerpo humano. Según Maurizio Vignati y Livio Giuliani.

presencia de frecuencias mayores a la de 50 Hz (tensión de red) [25].
Pero sin duda uno de los descubrimientos más significativos ha sido la capacidad de las frecuencias VLF y ELF para activar las canales de calcio tanto a nivel celular como en el sistema nervioso. Es un descubrimiento significativo observado por la mayoría de los investigadores que hemos comentado hasta el momento y sirve de fundamento para una de las teorías que ha creado polémica en los círculos críticos de investigación sobre campos electromagnéticos, la teoría de los canales de calcio regulados por voltaje de Martin Pall. Este investigador defiende que el efecto de los campos electromagnéticos se debe en gran parte a que los VGCCs permiten la entrada descontrolada de iones de calcio en las células dañando su homeostasis y degenerándolas gradualmente. Esto es explicado en gran detalle en un artículo donde describe como los VGCCs permiten que se libere un exceso de calcio dentro de las células que a su vez inicia una serie de eventos moleculares en cascada que al final acaban con un incremento desproporcionado de radicales libres[16]. Estas moléculas altamente reactivas pasan a viajar por el cuerpo y dañan las membranas celulares, las proteínas, las mitocondrias y las células madre; no sólo dañan el ADN del núcleo celular sino también el mitocondrial de manera muy similar a como lo hace la radiación ionizante. Me gustaría recalcar el daño que producen en las mitocondrias ya que éstas son las productoras de energía dentro de las células al disponer de enzimas y de un mecanismo específico para producir adenosín trifosfato (ATP) que es el elemento primordial de intercambio de energía de las células. La mayoría de personas que sufren enfermedades ambientales (SQM, EHS, SFC, Fibromialgia, Lyme o incluso CIRS) tienen dañada la correcta producción de adenosín trifosfato en sus cuerpos.
Para una descripción más detallada de todo el proceso partiríamos de un primer hecho importante a tener presente: el calcio es mucho más concentrado fuera de las células que dentro de las mismas. De hecho, la cantidad de calcio fuera las células es de 20.000 a 100.000 veces mayor que la cantidad que podemos observar dentro. Cuando una cantidad extra de iones de calcio entra de manera intempestiva dentro de las células, éstos producen un incremento

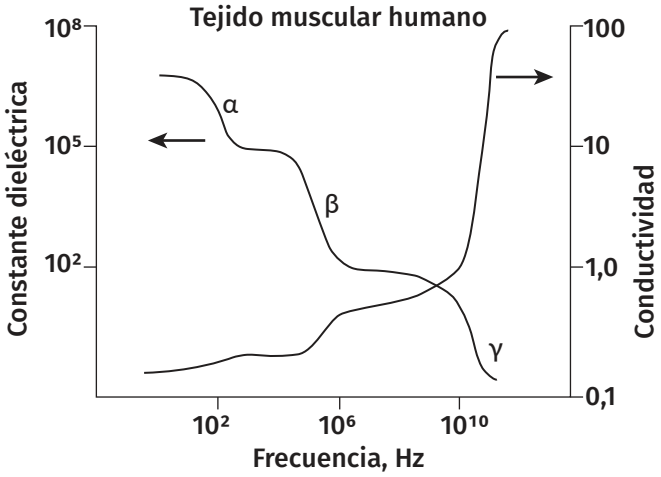


Gráfico 8. Relación entre constante dieléctrica y conductividad en el tejido muscular humano según el tipo de frecuencia de exposición.

tanto de óxido de nitrógeno como de superóxido. En principio no tendría por qué suponer un problema porque ambas moléculas son radicales libres que son relativamente benignas y cada una juega roles importantes en nuestro organismo, pero cuando las liberamos en gran cantidad entrando en contacto estrecho unas con otras, éstas llegan a combinarse espontáneamente formando rápidamente una de las moléculas más dañinas que podemos tener en el cuerpo, el peroxinitrito. Lamentablemente un aumento ligero de óxido de nitrógeno y superóxido tiene como resultado un aumento exponencial de peroxinitrito. Si el óxido de nitrógeno y el superóxido aumentan diez veces, esto puede tener como resultado que el peroxinitrito aumente unas cien veces.

El daño producido por la presencia de peroxinitrito da pie a una respuesta inflamatoria del sistema inmune. Una vez que el cuerpo está inflamado la posibilidad que se produzca mayor cantidad de peroxinitrito aumenta, por ejemplo, se estima que en el caso de un sistema inmune inflamado la cantidad de óxido de nitrógeno y superóxido aumenta mil veces, lo que significa un aumento potencial de un millón de veces de peroxinitrito en el cuerpo. A diferencia de otros radicales libres el peroxinitrito no sería tan peligroso si no fuese por su largo tiempo de vida que le permite viajar dentro y entre las células.

Resumiendo, podemos describir en tres pasos el proceso que se lleva a cabo cuando la electricidad sucia afecta los VGCCs:

- Cuando los VGCCs están abiertos permiten la entrada de alrededor de un millón de iones de calcio por segundo dentro de la célula.
- El nivel elevado de calcio dentro de las células activa la síntesis tanto de óxido de nitrógeno como de superóxido.
- El peroxinitrito se forma de manera proporcional a las concentraciones de óxido de nitrógeno y superóxido.

A los dos años de publicarse el importante artículo de Martin Pall apareció un estudio relacionado bastante exhaustivo donde se observa que una estimulación eléctrica utilizando frecuencias en el rango de kilohercios aplicada mediante pulsos produce fallos en la transmisión de señales en los axones de las células nerviosas y/o isquemia[5][26].

4. MÉTODOS CUANTITATIVOS DE MEDICIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

Teniendo presente todo lo expuesto sobre el fenómeno de la electricidad sucia considero importante plantear una propuesta de protocolo de medición basado en la experiencia de investigadores y especialistas en bioconstrucción. Por un lado describo brevemente la breve experiencia europea de la mano de los investigadores Mikko Ahonen y Tarmo Koppel y por otro la experiencia norteamericana de Samuel Milham y Dave Stetzer, con la posterior aportación de los especialistas en bioconstrucción Michael Schwaebe y Eric Windheim. Ambas experiencias pueden complementarse, pero la que dispone de un enfoque más práctico es la norteamericana.

De todas formas, empezaría diciendo que tanto la experiencia europea como la norteamericana gira en torno a la medición de la electricidad sucia conducida por el cableado de la vivienda y los métodos cuantitativos utilizados para medir tal tipo de electricidad sucia requieren aparatos de medición muy específicos y precisos. Según la experiencia de los expertos la mejor manera de medir la electricidad sucia conducida en el cableado es mediante la utilización de osciloscopios y dejamos en standby la medición de la electricidad sucia irradiada en el ambiente porque esto requeriría el uso de un analizador de espectro muchas veces de complicado uso y muy elevado precio, las cosas igualmente están cambiando en cuanto a los últimos avances en electrónica por lo que prevemos que en

[5]Estrés celular causado por cualquier disminución del flujo sanguíneo en el capilar y consecuente disminución del aporte de oxígeno.

pocos años tengamos analizadores de espectro aptos para bioconstrucción a precios bastante asequibles [27].

4.2 APRECIACIONES SEGÚN LA EXPERIENCIA EUROPEA

Los investigadores Mikko Ahonen y Tarmo Koppel llevaron a cabo un estudio en el cual se realizaron mediciones en veintidós localizaciones (viviendas y edificios públicos) observando que la grabación de datos y el análisis de transitorios se ven tremendamente limitados al utilizar medidores de calidad eléctrica que no ofrezcan las características de un osciloscopio[18]. Su experiencia fue utilizar inicialmente el registrador de calidad eléctrica VR1710 de Fluke y posteriormente el medidor de electricidad sucia NA 02-13 de Bajog. El primero se veía limitado para analizar transitorios y el segundo, aunque permite analizar en el rango de frecuencias de 1 a 500 kHz, tiene la limitación de medir sólo hasta 120 dBuV, unidad de ruido en voltaje según la normativa existente, cuando lo más habitual es encontrar en las viviendas diversos dispositivos que generan valores superiores. Su conclusión es que futuros estudios sobre la presencia de electricidad sucia en las viviendas requieren medidores de calidad eléctrica que tengan las características vistas en osciloscopios de gama media o gama alta como puede ser el caso de la serie 190 de Fluke.

4.3 USO DE MEDIDORES GIGAHERTZ SOLUTIONS

Es inestimable para cualquier especialista en mediciones de bioconstrucción la utilidad que nos ofrece un medidor como el NFA1000 de Gigahertz Solutions. El hecho que permita hacer grabación de datos de larga duración nos da la opción de poder analizar las variaciones y las características de campos eléctricos alternos y campos magnéticos alternos en una vivienda durante un tiempo determinado. Otra característica interesante es que nos da información sobre la frecuencia de 100 Hz, 150 Hz, el rango por debajo de 2 kHz y por encima de los 2 kHz. El poder dar esa información sobre diferentes frecuencias hace que nos permita valorar la presencia de electricidad sucia en la vivienda, pero lamentablemente no nos ofrece información detallada sobre armónicos o transitorios. La empresa Gigahertz Solutions tiene una actualización de firmware para el NFA1000 que hace posible el uso de una sonda Miniflex MA200 de Chauvin Arnoux para analizar corrientes en un rango de frecuencias que llega hasta 1 MHz. No he tenido oportunidad de probar dicha nueva función en el NFA1000 por lo que no puedo opinar si realmente es útil para la medición de armónicos y transitorios. Las limitaciones del NFA1000 para la medición de electricidad sucia las explicaré con un caso práctico en la sección dedicada a una propuesta de protocolo de medición de electricidad sucia.

4.4 USO DE OSCILOSCOPIOS

Si optamos por la vía de la medición mediante osciloscopio tenemos que definir qué es lo que necesitamos medir para evaluar la electricidad sucia en el cableado. Ciertamente necesitamos saber las frecuencias y amplitudes asociadas que generan los transitorios cuando se produce electricidad sucia en la vivienda. La frecuencia nos especifica en qué zona del espectro electromagnético está actuando la electricidad sucia y la amplitud nos da información sobre la intensidad de ese transitorio de tensión o corriente, ambos datos son relevantes a la hora de evaluar el efecto específico sobre la biología humana. Para empezar lo ideal sería trabajar con un osciloscopio portátil de gama alta que tenga las siguientes características básicas:

- Un ancho de banda de 200 MHz.
- El número de canales debería ser de dos, pero recomendable cuatro.
- La velocidad de muestreo en tiempo real de 1 GS/s como mínimo.
- La longitud de registro máxima debería de ser de 6.000 puntos de entrada como mínimo.

Dentro de estas especificaciones estarían los osciloscopios portátiles de la marca Fluke de la serie 190 tanto los modelos actuales como los antiguos. Con las anteriores especificaciones tendríamos también los osciloscopios de la marca Hantek con un precio varias veces inferior a un Fluke. Ambos osciloscopios tienen una curva de aprendizaje bastante pronunciada por lo que si nunca hemos trabajado con un osciloscopio puede que nos cueste aprender su funcionamiento, en este caso los Fluke pueden ser osciloscopios mucho más intuitivos que los Hantek por lo cual con los primeros podemos estar realizando mediciones en menor tiempo que con los segundos. Una de las ventajas más importantes de trabajar con osciloscopios portátiles de gama alta es su capacidad de poder realizar análisis muy granulares sobre cualquier tipo de interferencias que haya en la instalación eléctrica desde transitorios y armónicos hasta fenómenos muy sutiles no detectables por osciloscopios de gama media. Una característica importante es que ambos pueden descomponer mediante FFT[6] la señal en sus componentes de frecuencia lo que nos permite poder determinar cuál es la frecuencia predominante dentro de un rango de frecuencias detectadas. Otra ventaja importante es su capacidad de poder llevar a cabo un registro de datos durante varios días de aquellos fenómenos que queremos analizar. El hecho de recomendar un osciloscopio portátil no se debe sólo a su portabilidad, sino porque los osciloscopios que funcionan con alimentación de corriente siempre utilizan algún tipo de fuente conmutada que añade interferencias a la instalación y esto puede entorpecer nuestras mediciones. Otro detalle importante si nos decidimos por un osciloscopio Fluke de la serie 190 es que sus sondas de medición

[6]Transformada rápida de Fourier. Algoritmo para el tratamiento digital de señales.

ya vienen preparadas para medir en la categoría de sobretensión CAT III y CAT IV por si tenemos que medir directamente en la acometida o en el cuadro eléctrico de la vivienda.
Como alternativa a los osciloscopios anteriores tenemos la opción de utilizar osciloscopios diferenciales de gama media-alta, los cuales necesitan conectarse a un ordenador para su uso y visualización de los resultados. Los osciloscopios que son utilizados por varios especialistas de bioconstrucción norteamericanos son los de la marca PicoTechnology que aunque no llegan a tener las características de los Fluke o Hantek permiten medir con precisión transitorios de voltaje y corriente así como descomponer mediante FFT la señal para determinar la frecuencia predominante. Mi experiencia me ha llevado a trabajar en la mayoría de los casos, aunque sin descartar los Fluke o los Hantek, con esta marca de osciloscopios y aunque en Estados Unidos trabajan con otros modelos, yo he tenido buenos resultados con la serie 4000.

4.5. EXPERIENCIA DE SAMUEL MILHAM Y DAVID STETZER

Samuel Milham y David Stetzer siempre han utilizado los osciloscopios Fluke de la serie 190 en la mayoría de sus estudios importantes. Con este tipo de osciloscopios se puede medir y visualizar al mismo tiempo los transitorios de tensión y corriente, así como la frecuencia predominante cuando se descompone la señal por FFT. La única cosa que hecho en falta de ambos investigadores a la hora de realizar mediciones es que no midan los transitorios de corriente porque esto daría también información complementaria sobre qué elementos están generando electricidad sucia en la vivienda, esto es muy importante a la hora de evaluar la efectividad de los filtros que se utilizan para reducir o eliminar la electricidad sucia ya que algunos a la hora de filtrar también añaden corriente reactiva a la instalación que a su vez genera otras frecuencias que podrían resonar con las características biológicas de algunas personas. Este es un punto problemático especialmente para aquellos filtros de condensador instalados en paralelo y situados aguas abajo de la instalación. En la gráfico 9 podemos observar como en el osciloscopio Fluke se pueden visualizar los transitorios de tensión y medir su frecuencia específica, en el gráfico 10 vemos la capacidad de este mismo osciloscopio para visualizar el espectro de frecuencias y determinar aquella que es predominante.

4.6. EXPERIENCIA DE MICHAEL SCHWAEBE

Michael Schwaebe en su experiencia como especialista de bioconstrucción ha tenido la oportunidad de poder asesorar a muchas personas con electrohipersensibilidad y hace unos diez años empezó una investigación para entender por qué los sistemas fotovoltaicos suelen producir tanto malestar en las personas sensibles, su conclusión es que los inversores fotovoltaicos producen electricidad sucia que contamina la instalación eléctrica. El rango de frecuencias que producen los inversores suele estar entre los 18-20 kHz dependiendo del fabricante y la intensidad de los transitorios puede superar los 2 Vpp (voltios pico a pico) aunque en algunas marcas se han visto valores aún mucho más altos. Para la medición de electricidad sucia Michael Schwaebe utiliza los medidores ME3951A y NFA1000 de Gigahertz Solutions, así como el DuelField 1 de Rom Elektronik para evaluar los valores de campo eléctrico alterno y campo magnético alterno en las diferentes estancias de la vivienda así como para observar la presencia de frecuencias por encima de los 50 Hz que puedan señalar la presencia de armónicos y transitorios. Luego utiliza un osciloscopio Picoscope de la serie 2000 de PicoTechnology con dos sondas, una para tensión y otra para corriente, para la medición de armónicos y transitorios. Complementa la medición realizada con los

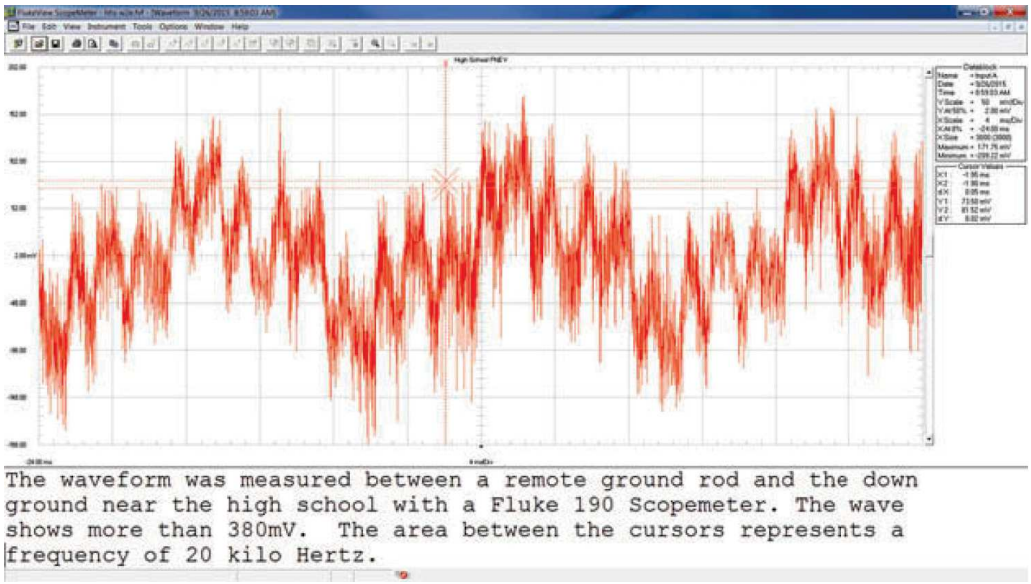


Gráfico 9. Medición y visualización de transitorios de tensión en el osciloscopio portátil 190 de Fluke. Uso de un sólo canal para la medición.

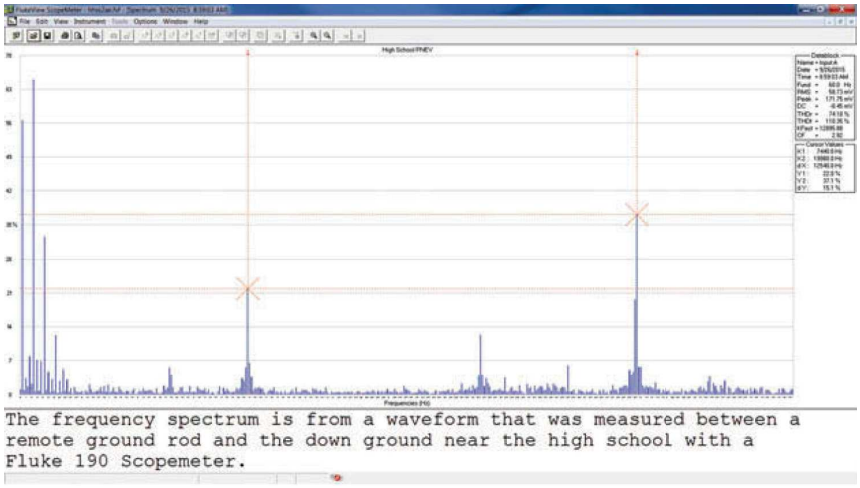


Gráfico 10. Medición y visualización del espectro de frecuencias en el osciloscopio 190 de Fluke. Uso de un sólo canal para la medición.

anteriores medidores con el uso de un analizador Spectran NF5035 de Aaronia para el análisis espectral del campo eléctrico alterno y del campo magnético alterno.

4.7. EXPERIENCIA DE ERIC WINDHEIM

Eric Windheim en su experiencia como especialista en bioconstrucción y medición de factores de riesgo físicos toma un camino más ecléctico a la hora de evaluar la presencia de electricidad sucia en la vivienda. Para una evaluación rápida previa al uso del osciloscopio utiliza métodos cualitativos como pueden ser el uso de un receptor AM analógico para detectar electricidad sucia en el ambiente o el "buzz-stick" de extendido uso entre los especialistas de medición del Building Biology Institute que mediante señal sonora nos alerta de la presencia de campos magnéticos alternos producidos por EMI. El uso de un receptor AM analógico para detectar electricidad sucia en el ambiente fue la manera con la que Samuel Milham detectó por casualidad dicho tipo de electricidad en su estudio del Instituto La Quinta. Dado que los receptores AM están pensados para captar señales en un rango de frecuencias donde también observamos frecuencias propias de la electricidad sucia podemos utilizarlo como un detector rudimentario para su detección, para ello tenemos que llevar el dial de AM hacia una zona donde no haya ninguna estación (normalmente hacia la derecha del todo del dial) y acercar el receptor a fuentes probables de electricidad sucia. Cuando hay predominancia de electricidad sucia el receptor suele darnos una señal acústica con mayor intensidad, pero a su vez nos permite apreciar los matices sonoros que tiene cada fuente generadora. Si queremos hacer uso de este detector rudimentario mi recomendación es que comprobemos que es un receptor AM

Receptor AM analógico

"Buzz-stick" (sonda magnética y amplificador)

análogico ya que los receptores digitales llevan filtros que los hacen menos sensibles para detectar electricidad sucia ambiental. Un uso práctico de este detector puede ser para detectar rápidamente zonas de la vivienda donde hay mayor presencia la electricidad sucia o también para evaluar en el cuadro eléctrico qué circuitos añaden mayor electricidad sucia e incluso para evaluar si la electricidad sucia viene de fuera. Ya que cada vez se hace más difícil poder comprar un receptor AM analógico, también existe la posibilidad de construir uno utilizando un kit con

todos los componentes necesarios.
El “buzz-stick” es una pequeña sonda de campo magnético alterno que podemos conectar a un amplificador para detectar zonas donde el componente magnético de la electricidad sucia pueda tener mayor presencia, el término “buzz-stick” es debido a que se suele montar en un tubo hecho de material aislante a manera de palo largo para tener mayor acceso a zonas altas y por los zumbidos característicos de campos magnéticos alternos que oímos en el altavoz. Aunque no sabemos cómo la señal de salida de la sonda varía con la frecuencia, sí sabemos que a mayor campo magnético mayor es el voltaje generado produciendo 1 mV por cada 2.000 nanoteslas. Esto puede ser interesante si conectamos la sonda a una osciloscopio o a un multímetro de precisión.
Eric Windheim también utiliza el medidor Graham-Stetzer para evaluar rápidamente el nivel de electricidad sucia en la vivienda, dicho medidor da unos valores arbitrarios, unidades GS, y describen la tasa de cambio de voltaje o dV/dt para frecuencias que van desde 10 hasta 100 kHz. Hay que señalar que sólo mide voltaje y no corriente por lo que sólo muestra un aspecto específico de la electricidad sucia con lo cual sólo observamos el aspecto eléctrico y no el aspecto magnético. El medidor Graham-Stetzer tiene dos modelos, uno que mide hasta 2.000 unidades GS y otro hasta 20.000 unidades GS. Eric Windheim en caso de detectar valores cercanos a las 1.000 unidades GS, pasa entonces a utilizar un osciloscopio de PicoTechnology de la serie 2000 para analizar qué fuente es la que produce electricidad sucia y ver si hay maneras de reducirla realizando cambios en la instalación o mediante la utilización de un filtro. Si este es el caso Eric Windheim normalmente recomienda utilizar filtros Graham-Stetzer. Para facilitar la medición con osciloscopio y siguiendo las recomendaciones de Martin Graham y Dave Stetzer, utiliza un filtro de paso alto que elimina la frecuencia de 50 Hz y sus armónicos. En los cientos de mediciones realizadas por este especialista evaluando la electricidad sucia, las condiciones que suelen ocasionar mayor malestar en las personas que habitan una vivienda son aquellas en las que detectamos transitorios con frecuencias por encima de 10 kHz y amplitudes superiores a los 300 mV.

4.8 PROPUESTA PERSONAL DE MEDICIÓN

Presento ahora una propuesta de protocolo de medición para electricidad sucia que se basa en un caso práctico. Se trata de un encargo de medición para un cliente en Granada que necesitaba un estudio de factores de riesgo físicos para una pequeña vivienda unifamiliar cuyo sistema de aerotermia está alimentado por energía fotovoltaica. De entrada con este dato supuse que me encontraría con niveles significativos de electricidad sucia debidos a la presencia del inversor conectado a la instalación eléctrica monofásica de la vivienda y por lo tanto decidí incluir también mediciones mediante osciloscopio en los diferentes circuitos de la instalación. En total los medidores para evaluar la electricidad sucia de la vivienda fueron los siguientes: multímetro true RMS AVO410 de Megger, medidor NFA1000 de Gigahertz Solutions, medidor Graham-Stetzer de Stetzer Electric y osciloscopio Picoscope 4444 de Picotechnology.
Primeramente utilicé el multímetro true RMS en todos los enchufes para verificar diversos parámetros habitualmente contemplados en bioconstrucción y un detalle que llamó mi atención fue encontrar frecuencias de tensión por encima de los 50 Hz con un valor máximo de 250 Hz que de entrada pueden sugerirnos la presencia de armónicos. Al utilizar el NFA1000 para medir en diferentes estancias con la opción de grabación de datos observo que en las estancias cercanas a la localización de las placas fotovoltaicas (dormitorio y habitación de estudio de los niños) las frecuencias para el primer, segundo armónico y aquellas por debajo de los 2 kHz de campo magnético alterno presentan un comportamiento similar a pulsos (gráfico 11). Curiosamente el NFA1000 no me muestra actividad aparente para frecuencias por encima de los 2 kHz. Al utilizar el medidor Graham-Stetzer observo valores muy elevados, concretamente por encima de 1.800 unidades GS cuando la recomendación por parte de Martin Graham y Dave Stetzer es no sobrepasar las 50 unidades GS (gráfico 12). En una situación así podemos estar seguros que en la vivienda hay una elevada presencia de electricidad sucia bajo la forma de transitorios de tensión. Esto me lleva a utilizar el osciloscopio para un análisis más detallado y para ello utilizo el siguiente equipo: un osciloscopio PicoScope 4444, un filtro de paso alto autoconstruido, una sonda diferencial de bajo voltaje para evaluar los transitorios y una sonda activa para medir la tensión de red. El filtro de paso alto lo podemos conectar a cualquier toma de corriente de la vivienda o directamente a los cables de fase y neutro del cuadro eléctrico. En este caso práctico fui evaluando circuito por circuito las diferentes estancias y lo más llamativo fue observar en todas la presencia de transitorios con una forma de onda y comportamiento muy particulares. En el gráfico 13 podemos observar dos ondas, una de color azul para el canal A mediante el uso de la sonda activa y otra de color rojo para el canal B mediante el uso de la sonda diferencial de bajo voltaje. Como podemos apreciar, la onda de color azul representa una onda sinusoidal típica de la tensión de red de 50 Hz sin distorsiones aparentes en este caso, pero en cambio la onda de color rojo presenta interferencias por transitorios con un valor de 2,049 voltios pico a pico, este es un valor extremadamente elevado en una instalación eléctrica según las experiencias de Samuel Milham y Eric Windheim. En mi experiencia personal siempre que he visto en una vivienda valores similares a los anteriores los clientes me han manifestado sentir un malestar no directamente atribuible a la presencia de campos eléctricos

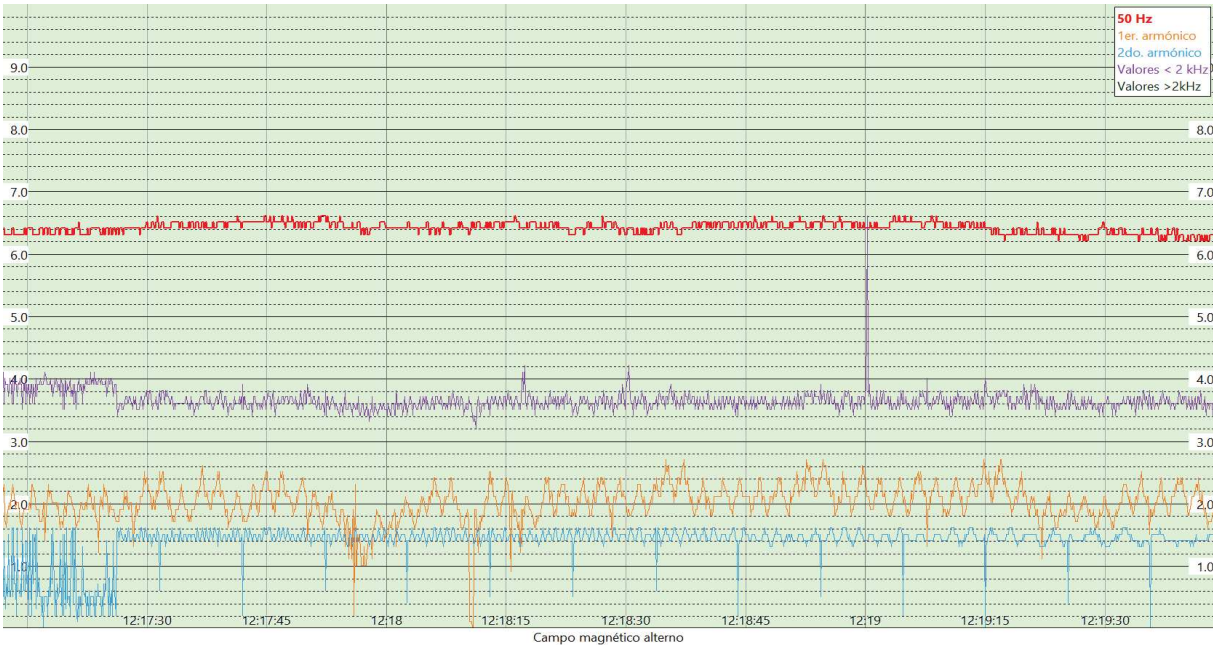


Gráfico 11. Representación visual de los datos registrados con el medidor NFA1000 de Gigahertz Solutions.

Gráfico 12. Valores obtenidos con el medidor Graham-Stetzer al medir en las tomas de corriente de la vivienda.

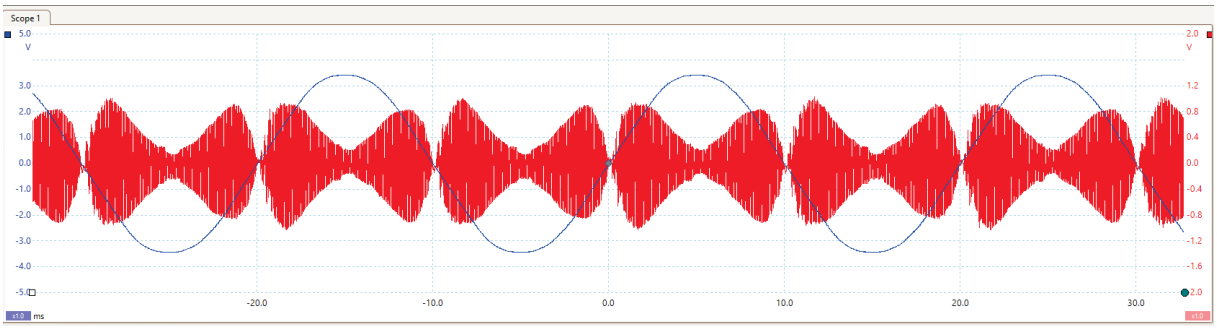


Gráfico 13. En azul la onda correspondiente a la tensión de red de 50 Hz, en rojo los transitorios generados por el inversor.

alternos o campos magnéticos alternos de 50 Hz, especialmente las personas con una sensibilidad ambiental coinciden en afirmar que la sensación es como si no ya pudiesen estar bien en ninguna parte de la vivienda. Algo significativo en la onda de color rojo es su comportamiento a manera de pulsos que aumentan o disminuyen a intervalos muy marcados, como si se tratasen de latidos de un corazón. Este comportamiento es típico de los inversores de energía fotovoltaica. En el gráfico 14 observamos que en el modo de espectro de frecuencias se puede apreciar que la frecuencia del inversor es la predominante con un valor exacto de 18,05 kHz, también nos da información sobre la contribución de los armónicos a la contaminación de la vivienda, pero vemos que

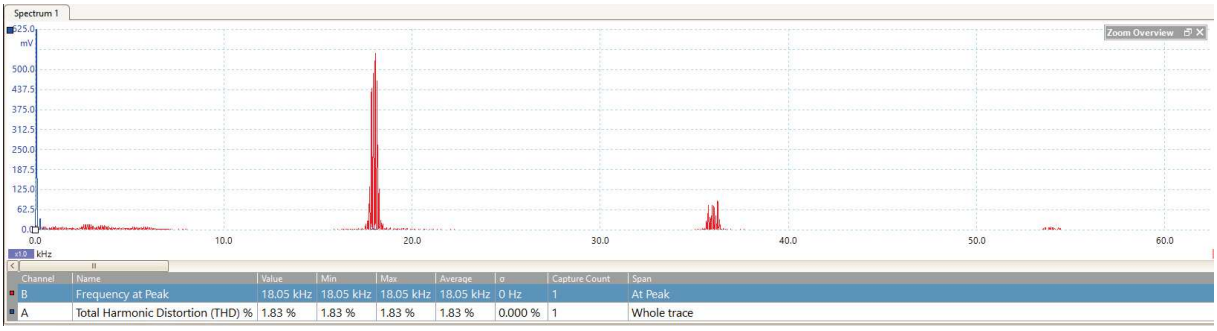
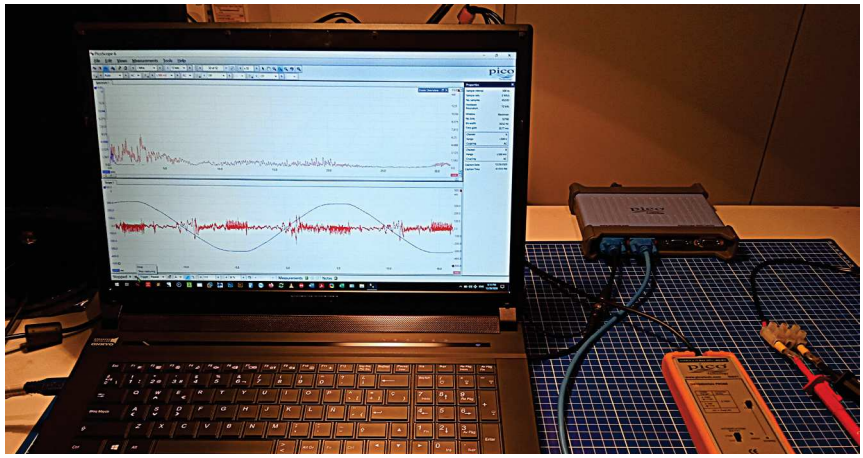
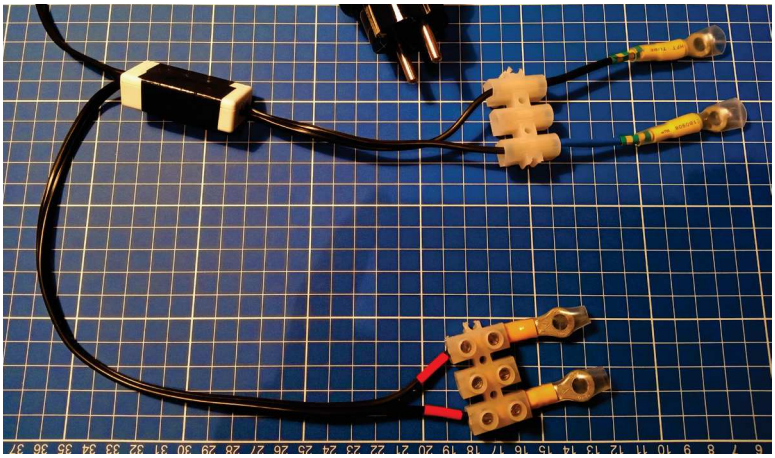


Gráfico 14. Espectro de frecuencias donde se observa la frecuencia predominante de 18,05 kHz del inversor de energía fotovoltaica.

la distorsión total armónica (THD en porcentaje) es menor del 5% por lo que no podemos considerar que los armónicos tengan un efecto significativo. A manera de comprobación decido apagar el inversor y los transitorios desaparecen, cada vez que pongo en marcha el inversor los transitorios vuelven a estar presentes. Aunque en el informe entregado al cliente se comentaron varios puntos a mejorar sobre otros factores de riesgo físicos también detectados, concretamente para el caso de la electricidad sucia producida por el inversor de energía fotovoltaica se recomendó la instalación de un filtro de línea específico en el cuadro eléctrico para poder eliminar la entrada de



Osciloscopio PicoScope 4444 con sonda activa y filtro de paso alto conectados a un ordenador portátil funcionando con baterías.



Detalle de filtro de paso alto autoconstruido con conexión para sonda diferencial de bajo voltaje y sonda activa de alto voltaje.

interferencias en la vivienda. A día de hoy poder conseguir este tipo de filtros en nuestro país sigue siendo un reto por la poca voluntad de los fabricantes de ofrecer asesoramiento e información sobre sus productos. Hasta donde yo he podido investigar sólo en Francia o Estados Unidos tenemos sistemas de filtrado pensados exclusivamente para la electricidad sucia que se puedan instalar directamente en el cuadro eléctrico y orientados para el entorno residencial. Para facilitar la medición de los transitorios de tensión utilizando el osciloscopio recomiendo utilizar un filtro de paso alto que nos permite comparar de una manera versátil la onda de tensión de red de 50 Hz con las interferencias producidas por los transitorios. Añado a continuación un esquema de circuito básico de dicho

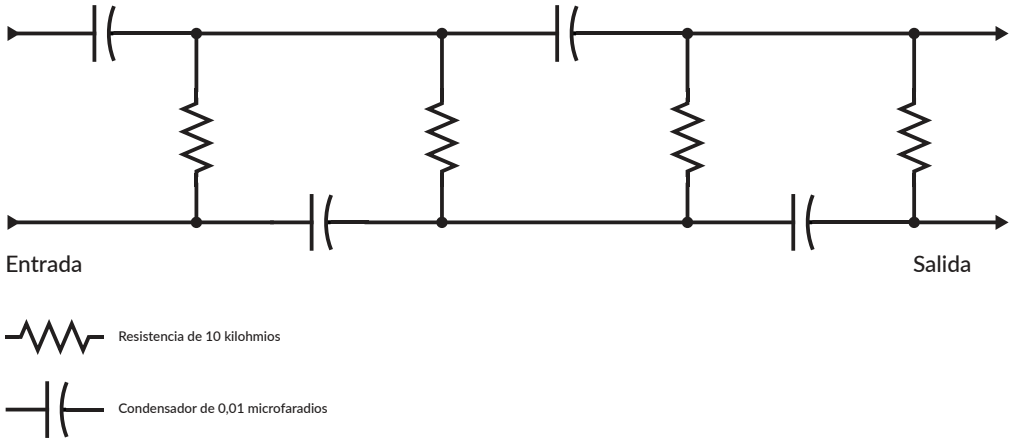


Gráfico 15. Esquema básico de circuito del filtro de paso alto para la autoconstrucción según propuesta original de Martin Graham.

filtro de paso alto (gráfico 15) para la autoconstrucción y estoy abierto a sugerencias que posibiliten su mejora, dicho esquema está basado en la propuesta original de Martin Graham [28]. Como podemos apreciar se trata de un circuito sencillo con componentes disponibles en cualquier tienda de electrónica, que se puede montar en una pequeña placa y conectar con mínimos conocimientos de soldadura. La idea es mantener el circuito sencillo para no añadir elementos que generen distorsión en nuestras mediciones.

4.9 PROPUESTA PARA FUTURAS MEDICIONES

La experiencia en mediciones de electricidad sucia tanto del tándem Milham/Stetzer, así como la de los especialistas norteamericanos en mediciones de bioconstrucción e incluso la mía personal puede servir de punto de partida para establecer un protocolo sólido que nos sirva para evaluar de manera cuantitativa la electricidad sucia en las viviendas de nuestros clientes. A día de hoy los dos parámetros importantes que debemos tener presente y evaluar con la ayuda de osciloscopios son la frecuencia predominante y la amplitud pico a pico de los transitorios de tensión que nos especifican el grado de contaminación producida por electricidad sucia en la vivienda.

Me sumo a la petición del especialista en bioconstrucción Michael Schwaebe de exigir al IBN alemán que establezca valores indicativos específicos para la electricidad sucia. Es urgente que se introduzcan en la próxima norma técnica SBM. Quisiera aprovechar para añadir aquí una humilde propuesta personal de valores indicativos basados en mi experiencia, la larga experiencia del especialista en mediciones de bioconstrucción Eric Windheim y la investigación llevada a cabo por el tándem Milham/Stetzer.

Valores de referencia* para EMI (electricidad sucia) presente en el cableado

Amplitud de menos de 50 mVpp no significativo - No significativo biológicamente
Amplitud de 50 mVpp a 250 mVpp débilmente significativo - Corregir a largo plazo
Amplitud de 250 mVpp a 2.000 mVpp fuertemente significativo - Se debería de corregir a corto plazo
Amplitud de más de 2.000 mVpp extremadamente significativo - Se debería de corregir inmediatamente
(* Valores de voltaje pico a pico para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 100 kHz)

Para acabar me gustaría añadir tres puntos a trabajar en un futuro próximo y que den pie a futuras investigaciones en este campo de las mediciones de bioconstrucción para la evaluación de la electricidad sucia.

1. Colaboración con médicos de medicina ambiental para desarrollar biomarcadores específicos que detecten los efectos específicos de la electricidad sucia en la biología humana. El epidemiólogo Samuel Milham ha propuesto evaluar en laboratorio los niveles de dopamina, creatinina y feniletilamina.
2. Medición de transitorios de corriente. En este trabajo se ha puesto énfasis en la medición de transitorios de tensión, pero sería también importante medir los transitorios de corriente porque junto con los transitorios de tensión nos darían una visión más completa sobre la contaminación presente en la vivienda. Esto se cumple siempre que queramos evaluar la efectividad de los filtros para electricidad sucia que hay en el mercado, es muy fácil para el fabricante promocionar filtros que reducen los transitorios de tensión, pero nos tiene que asegurar que en el proceso de filtrado no se añade a la instalación corriente reactiva que acabe generando campos magnéticos alternos en la vivienda. La medición de transitorios de corriente se puede llevar a cabo mediante el uso de los osciloscopios que hemos comentado y sondas de corriente sensibles.
3. Investigación de valores indicativos para corrientes inducidas en el cuerpo generadas por electricidad sucia. La idea sería obtener una escala de valores similar a la ya existente para la tensión inducida corporal que aparece en el SBM 2015, pero en este caso en microamperios. Samuel Milham propone el uso de multímetros Fluke de uso

industrial para medir la corriente inducida utilizando parches ECG (electrocardiograma). Considero esta propuesta muy interesante para todo especialista en mediciones de bioconstrucción que tenga interés en profundizar en el tema de la electricidad sucia.

5. CONCLUSIONES FINALES

Si bien es cierto que aún el volúmen de investigación científica sobre el efecto de la electricidad sucia en la salud es incipiente, algunos estudios relevantes y la práctica de la medición en bioconstrucción nos señalan que este factor de riesgo físico debería de ser contemplado con la misma seriedad con la que contemplamos los incluidos en la norma técnica SBM 2015. Todo especialista en bioconstrucción debería tener presente que la electricidad sucia es un claro contaminante ambiental presente en todas las viviendas y con marcados efectos en la salud.

Las buenas noticias para los especialistas en mediciones de bioconstrucción es que este factor de riesgo físico, cuando se trata de una interferencia conducida por el cableado, puede ser medido y analizado con métodos cuantitativos que no requieren ni medidores extremadamente caros ni conocimientos muy profundos de ingeniería eléctrica. La única exigencia es que los especialistas han de hacer el esfuerzo por entender el funcionamiento básico de un osciloscopio, sus posibilidades y sus limitaciones.

Se hace necesario tener valores indicativos para la electricidad sucia y que sean añadidos a una futura norma técnica SBM. Para ello es necesaria la colaboración entre arquitectos, ingenieros, médicos e instaladores y con la experiencia poder determinar qué condiciones son las determinan el efecto nocivo de la electricidad sucia en una vivienda. Recabar información basada en la experiencia sobre con qué frecuencia y con qué intensidad empezamos a ver efectos en la salud sería de gran ayuda para ofrecer soluciones que protejan a la población en general de este contaminante ubicuo.

Muchas veces la electricidad sucia puede dar una explicación a los problemas que observamos en un vivienda cuando otros factores de riesgo físicos no ofrecen valores significativos.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Milham, S. (2012). Dirty Electricity. IUniverse.

[2] Hoglander, S. 2019. Microsurge Electrical Pollution (Dirty Electricity) IBE 221.2 course. New Mexico. Building Biology Institute.

[3] Balmori, A. (2020). Meteoropatía y electrosensibilidad. Autoedición: Alfonso Balmori.

[4] IEEE (2006). IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment. IEEE Std 1100-2005 (Revision of IEEE Std 1100-1999), vol., no., pp.1-703.

[5] Grandolfo, M. (Ed.) (1983). Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. New York: Springer.

[6] Гордон, З. (1966). Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. Ленинград: Академия медицинских наук СССР. - Gordon, Z. (1966). Cuestiones de salud laboral y el efecto biológico de los campos electromagnéticos de altas frecuencias. Leningrado: Academia de ciencias médicas de la USSR.

[7] Stam, R. (2017). Comparison of international policies on electromagnetic fields. The Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment, RIVM.

[8] Bawin, S., Kaczmarek, L. & Adey, W. (1975). Effects of modulated vhf fields on the central nervous system. Annals of the New York Academy of Sciences, 247(1), 74-81.

[9] Pethig, R. (1984). Dielectric Properties of Biological Materials: Biophysical and Medical Applications. IEEE Transactions on Electrical Insulation, EI-19(5), 453-474.

[10] Blackman, C., Benane, S., House & D., Joines, W. (1985). Effects of ELF (1-120 Hz) and modulated (50 Hz) RF fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. Bioelectromagnetics, 6(1), 1-11.

[11] Armstrong, B., Thériault & G., Héroux, P. (1985). Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. American Journal of Epidemiology, 140(9), 805-20.

[12] Vignati, M., & Giuliani, L. (1997). Radiofrequency exposure near high-voltage lines. Environmental health perspectives, 105 Suppl 6(Suppl 6), 1569–1573.

[13] Ahonen, M., Koppel, T. & Heroux, P. (2017, junio). Intermediate frequency voltage transients in the electrical grid – which mechanisms can explain biological effects?. Comunicación presentada en el EMBEC & NBC, Tampere, Finlandia.

[14] Milham, S. & Morgan, L. L. (2008). A New Electromagnetic Exposure Metric: High Frequency Voltage Transients Associated With Increased Cancer Incidence in Teachers in a California School. American Journal of Industrial Medicine, 51(8), 579-86.

[15] Milham, S., & Stetzer, D. (2017). Tumor-specific frequencies and ocular melanoma. Electromagnetic biology and medicine, 36(2), 149–153.

[16] Pall, M. (2013). Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce

beneficial or adverse effects. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 17(8), 958-965.
[17] Schwaebe, M. (2016). Mitigation of Dirty Electricity from Solar Inverters. California: Michael Schwaebe (no publicado).
[18] Ahonen, M., Koppel, T. (2016). Voltage transients measurements and power line communication. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). Riga, USA: IEEE.
[19] SCENIHR (2016). Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF).
[20] Reboul, J. & A. Rosenblueth, A. (1939). The action of alternating currents upon the electrical excitability of nerve. American Journal of Physiology-Legacy Content, 125(2), 205-215
[21] Bhadra, N., & Kilgore, K. L. (2005). High-frequency electrical conduction block of mammalian peripheral motor nerve. Muscle & nerve, 32(6), 782–790.
[22] Fisher, K. M., Jillani, N. E., Oluoch, G. O., & Baker, S. N. (2015). Blocking central pathways in the primate motor system using high-frequency sinusoidal current. Journal of neurophysiology, 113(5), 1670–1680.
[23] Nair, I., Granger, M. y Florig, H. (1989). Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields - Background Paper. Washington: U.S. Government Printing Office.
[24] Bawin, S. M., Kaczmarek, L. K., & Adey, W. R. (1975). Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. Annals of the New York Academy of Sciences, 247, 74–81.
[25] Blackman, C. F., Benane, S. G., House, D. E., & Joines, W. T. (1985). Effects of ELF (1-120 Hz) and modulated (50 Hz) RF fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. Bioelectromagnetics, 6(1), 1–11.
[26] Zhao, S., Yang, G., Wang, J., Roppolo, J. R., de Groat, W. C., & Tai, C. (2015). Conduction block in myelinated axons induced by high-frequency (kHz) non-symmetric biphasic stimulation. Frontiers in computational neuroscience, 9, 86.
[27] Nelson, R. (2020). Special Report: Signal and Spectrum Analyzers. Extraído el 7 de diciembre de 2020, de https://www.evaluationengineering.com/instrumentation/signal-spectrum-analyzers/article/21144040/special-report-signal-and-spectrum-analyzers.
[28] Graham, M. (2000). A Ubiquitous Pollutant. California: Electrical Engineering and Computer Sciences Department, University of California, Berkeley (no publicado).
[29] Ozen, S. (2008). Low-frequency transient electric and magnetic fields coupling to child body. Radiation Protection Dosimetry, 128(1), 62–67.