

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES PROVENIENTES DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL

Ing. Anibal Aguirre

ÍNDICE

0. - CONSIDERACIONES INICIALES DEL AUTOR	Página 2
1. - INTRODUCCIÓN	Página 3
La Electricidad, los Campos y las Ondas	
La Corriente Continua	
La Corriente Alterna	
La Función Seno	
Campo Eléctrico, Magnético y Ondas Electromagnéticas	
Campos Variables	
El fenómeno de la Propagación	
El rol de la Antena	
2.-DESCRIPCIÓN DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES	Página 24
Espectro Electromagnético	
Efectos de las RNI	
Límites de Exposición a las RNI	
Antecedentes para regular la exposición a las RNI en Argentina	
Percepción, Análisis y Riesgos Asociados a las RNI	
3.- GLOSARIO	Página 51
Referencias Bibliográficas y Sitios de Internet	

0- CONSIDERACIONES INICIALES DEL AUTOR

El presente manual es sin dudas un desafío importante para el autor. Poner al alcance de no iniciados, los complejos conceptos del electromagnetismo, que es la disciplina que estudia el comportamiento de los campos electromagnéticos, las antenas y los sistemas que se valen de ellas, no resulta nada simple cuando no se puede echar mano al cálculo matemático superior que permite explicar y entender los mismos.

Con esta gran restricción, el presente manual representa una aproximación a los conceptos físicos, hacerlos asequibles para quienes recién se aproximan a la disciplina y fundamentalmente centralizarlos en su aplicación al sistema de telefonía celular móvil, el cual despierta interés particular, en atención a que una parte de la población general, posee sobre el mismo alguna duda respecto del impacto sobre la salud que este sistema podría tener fundamentalmente apoyado por afirmaciones en los medios masivos de comunicación, cuya seriedad científica merece un cuidadoso análisis que es solo potestad de especialistas calificados.

Las Radiaciones no Ionizantes resultan un fenómeno físico muy amplio, y de hecho se encuentra sub-dividido en especialidades puesto que, no es lo mismo entender, medir y evaluar los efectos de la radiación ultravioleta proveniente del sol, que de las ondas electromagnéticas emitidas por la transmisión de una Radio AM.

Comprender el concepto de onda electromagnética, implica conocer que es un Campo Eléctrico y Magnético, como se genera y entender conceptualmente que es la propagación. Luego podrá comprenderse por que estas ondas son tan utilizadas por distintos servicios, uno de ellos la telefonía móvil entre tantos, y fundamentalmente caracterizar su magnitud, es decir “medirlos”.

Finalmente quedará a consideración de la Biofísica, como es la interacción de estas ondas con el tejido biológico y eventualmente si tienen o no algún impacto sobre la salud de los seres vivos.

Es pertinente aclarar que la problemática de las Radiaciones no Ionizantes asociadas a los sistemas de telefonía móvil, exigen un manejo prudente y responsable por parte de los especialistas; en un contexto donde existe una importante preocupación pública; una aseveración desacertada podría resultar imposible de retrotraer, la Ingeniería de comunicación humana pasa a tener un rol más importante, a veces, que las propias consideraciones de la Ingeniería técnica.

Es preciso señalar A MODO DE REGLA DE ORO, que el presente trabajo esta apuntado a entender y caracterizar el fenómeno SOLO en términos técnicos. DEBE REMARCARSE QUE LAS CONSIDERACIONES BIOFÍSICAS Y DE SALUD, QUE MUCHAS VECES DEMANDA LA POBLACIÓN, DEBEN SER REALIZADAS POR LOS CIENTÍFICOS PROFESIONALES FORMADOS EN DICHAS DISCIPLINAS.

Finalmente como toda publicación destinada a la consulta de estudiantes, le comprende la Ley de Linus, que reza: “Dado un número suficientemente elevado de ojos, todos los errores se vuelven obvios”, es de esperar que con la reiterada lectura del mismo se puedan ir detectando y corrigiendo los errores, que hayan escapado al dominio del autor. Éxitos en el viaje.

1- INTRODUCCIÓN

La Electricidad, los Campos y las ondas.

En términos de la física clásica puede definirse que la porción más pequeña de un elemento es un átomo de dicho elemento. Por ejemplo, una molécula de oxígeno gaseoso, con simbología química O_2 , está formada por dos átomos de oxígeno elemental.

A su vez un átomo está formado por partículas bien conocidas, protones de carga positiva y neutrones sin carga en una masa central llamada núcleo y partículas que orbitan alrededor del mismo, llamadas electrones cuya carga fue definida como negativa (ver Figura 1)

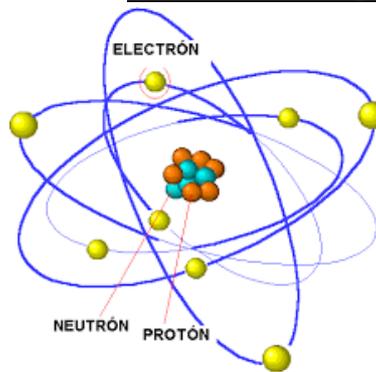


Figura 1: el átomo y sus partículas.

Es preciso hacerse una composición de lo minúsculo de estas partículas, como ejemplo la masa de un electrón es aproximadamente de $9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$, y la dimensión de un átomo está en el orden de $1 \times 10^{-10} \text{m}$.

Entonces, todos los materiales, ya sean sólidos líquidos o gaseosos, están en definitiva formados por átomos y sus partículas, dependerá del elemento que se trate cuantos protones tenga en su núcleo, cuantos electrones tenga en sus órbitas y como están distribuidos estos en el espacio circundante a cada núcleo. Como ejemplo, el Cobre que es un metal, tiene 29 electrones orbitando alrededor de su núcleo, el Carbono tiene 6 y el Helio que es un gas tiene 2, evidentemente cada configuración determinará las propiedades físicas y químicas de cada elemento.

Pero el interés del presente trabajo se centra en las propiedades eléctricas de los materiales.

No fue fácil para la ciencia poder determinar las cargas eléctricas de partículas tan pequeñas, pero algunos experimentos fundacionales permitieron elaborar las Leyes elementales de la electricidad, que son válidas aún hoy y que permitieron el desarrollo de la electrónica más sofisticada.

Fue el Físico Francés Charles Augustin de Coulomb quien en el año 1785 elaboró una Ley fundamental como lo es la Ley de las Fuerzas Electroestáticas.

Sin entrar en la matemática del caso, Coulomb demostró que entre dos cargas eléctricas de signos iguales (sean ambas negativas o ambas positivas) existe una fuerza de repulsión, es decir que ambas cargas tienden a alejarse aceleradamente y que entre dos cargas de signos diferentes (una positiva y otra negativa) existe una fuerza de atracción que termina juntándolas aceleradamente. Es cierto que estos fenómenos de partículas tan pequeñas son difíciles de imaginar, pero lo cierto que entre estas pequeñas cargas pueden generarse grandes fuerzas de atracción o repulsión. Quizás el ejemplo de atracción de cargas más entendible para el ser humano sea la caída de un rayo, donde los daños que puede ocasionar permiten dimensionar las fuerzas eléctricas descubiertas por Coulomb¹.

Como ya fue señalado cada elemento de la naturaleza tiene un tipo particular de átomo con sus dimensiones y su cantidad de protones y electrones. Alguno de estos elementos, denominados metales (Aluminio, Hierro, Cobre, Oro, Plata , etc) se caracterizan por tener un número de electrones que por estar débilmente ligados a sus respectivos núcleos pueden moverse libremente, a estos materiales se los suele denominar “conductores” y son “conductores” porque pueden conducir de manera natural, tanto el calor como “la electricidad”, que en adelante se explicará de que trata.

En oposición a los conductores, existen otro tipo de materiales, cuyos electrones, están fuertemente ligados a los núcleos y no pueden moverse libremente, a estos materiales se los llama dieléctricos o “aislantes” y los ejemplos más cercanos son los denominados plásticos (polietileno, polipropileno, teflón, etc) y los derivados del caucho, comúnmente llamados “gomas”. LOS AISLANTES NO PUEDEN CONDUCIR LA CORRIENTE ELECTRICA, y es por ello que habitualmente se los utiliza para proteger a las personas del “choque eléctrico” (denominado popularmente “patada”).

A los efectos del presente manual el interés está puesto en comprender el comportamiento de los materiales conductores y su rol en el transporte de cargas eléctricas.

Para ejemplificar: si se toma en un pedazo de Cobre hilado en forma de cilindro (un “cable”), cada átomo que lo conforma podrá “entregar” algunos electrones “libres”, los cuales tienen la posibilidad de moverse en direcciones aleatorias por la estructura del material, pero por supuesto sin salirse de él. (En la realidad física solo se mueven un trayecto denominado “camino libre medio”) (Ver Figura2).

¹ **Charles-Augustin de Coulomb** (Angoulême, Francia, 14 de junio de 1736 - París, Francia, 23 de agosto de 1806) fue un matemático, físico e ingeniero francés. Se lo recuerda por haber descrito de manera matemática la ley de atracción entre cargas eléctricas. En su honor la unidad de carga eléctrica lleva el nombre de coulomb (C)

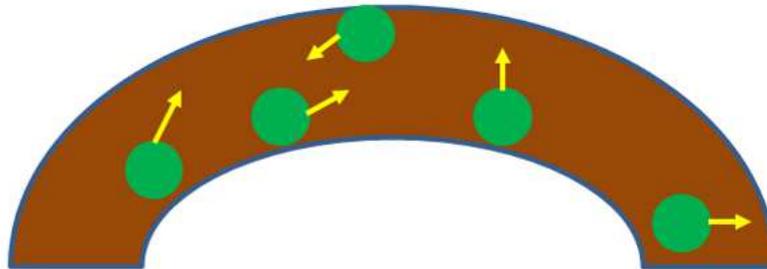


Figura 2: electrones libres en un "cable" de cobre, moviéndose aleatoriamente.

Evidentemente si estos electrones dentro del pedazo de cobre, no son sometidos a fuerza exterior alguna, se moverán cada uno aleatoriamente, sin ningún orden establecido.

Si en una segunda etapa, y a modo de ejemplo imaginario que permite comprender el fenómeno, se colocaran un número importante de cargas positivas en un extremo del cable y un número importante de cargas positivas en el otro extremo, la existencia de las Fuerzas Eléctricas de Coulomb, es decir la de repulsión entre cargas iguales y la atracción de cargas distintas, terminará por impulsar el movimiento de los electrones libres del cobre hacia las cargas positivas que ejercen atracción hacia ellas. (Ver Figura 3).

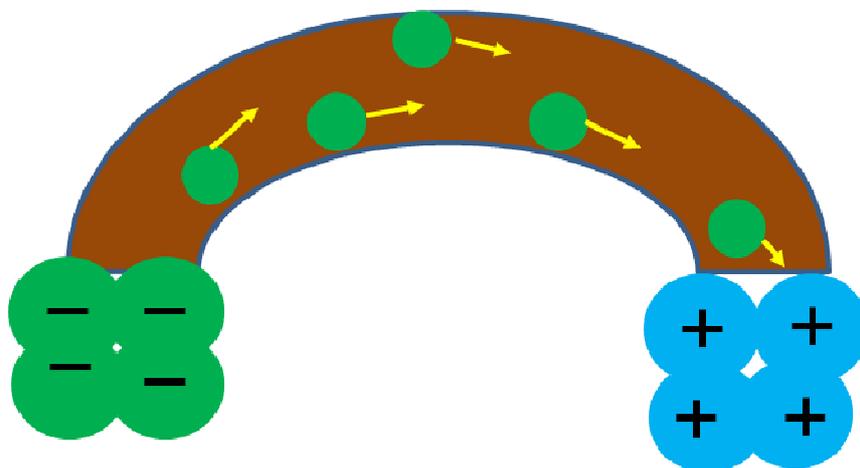


Figura 3: electrones libres en un "cable" de cobre, moviéndose ordenadamente por la fuerza de atracción.

Si efectivamente, este proceso de "extracción" de electrones de un material se consumara, el material resultante habría perdido una porción de materia, que serían los electrones que se recombinaron con las cargas positivas que los atraen; este proceso de pérdida de electrones es bien conocido y se lo denomina oxidación. La corrosión de los metales por estar a la intemperie es un buen ejemplo de este proceso (Ver Figura 4).

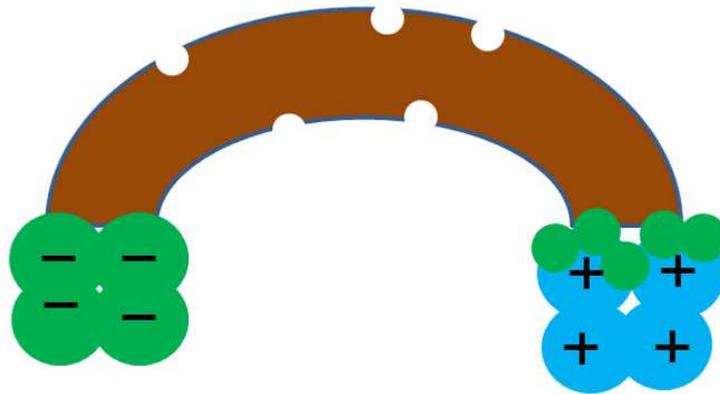


Figura 4: Material corroído por migración de electrones atraídos por las cargas positivas externas al material.

Todo el razonamiento anterior intenta construir la idea de poder influir de manera externa sobre los electrones libres que poseen los materiales que denominamos conductores. Claro que esa influencia NO PUEDE quitar los electrones del material degradándolo, puesto que se deterioraría el material al poco tiempo. Es observable de la realidad misma que los conductores de cobre duran decenas de años en las instalaciones eléctricas convencionales.

Pues entonces será pertinente idear un mecanismo, donde si se quiere ordenar el movimiento de electrones hacia una dirección determinada, por cada electrón que abandone el material por la atracción de cargas positivas, INGRESE al material un nuevo electrón que reemplace al que se perdió, teniendo como resultante SIEMPRE el mismo número de electrones dentro del material que se trate.

LA CORRIENTE CONTINUA

El fabuloso artefacto que permite quitar electrones por un extremo, reponiéndolos por otro y generando un movimiento continuo de electrones desde un punto a otro, existe desde el año 1800, y fue una genialidad de italiano Alessandro Volta² llamado PILA.

La existencia de la PILA permitió generar un movimiento continuo de electrones por un conductor sin que este se degrade, y a la cantidad de electrones que se mueven por segundo por un conductor, es lo que se denomina “corriente eléctrica” (Ver figura 5) y su unidad de medida es el Ampere³, en homenaje al físico francés del mismo apellido.

² **Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta** (Como, 18 de febrero de 1745 – ib., 5 de marzo de 1827) fue un físico italiano, famoso principalmente por haber desarrollado la pila eléctrica en 1800. La unidad de fuerza electromotriz del Sistema Internacional de Unidades ha llevado el nombre de volt en su honor desde 1881.

³ **André-Marie Ampère** (Lyon, 20 de enero de 1775 - Marsella, 10 de junio de 1836) fue un matemático y físico francés. Inventó el primer telégrafo eléctrico y, junto con François Arago, el electroimán. Formuló en 1827 la teoría del electromagnetismo

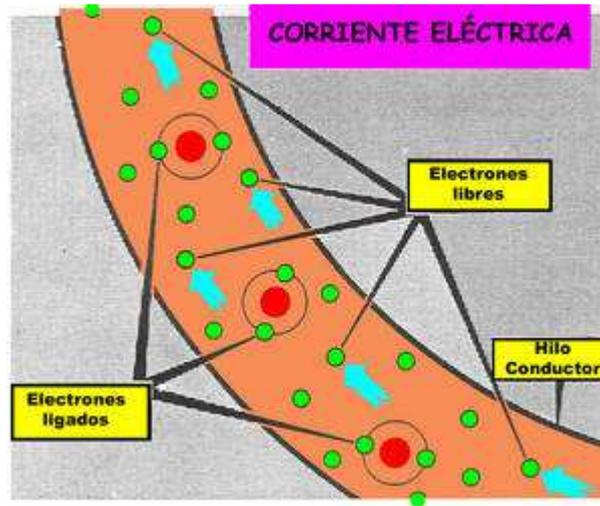
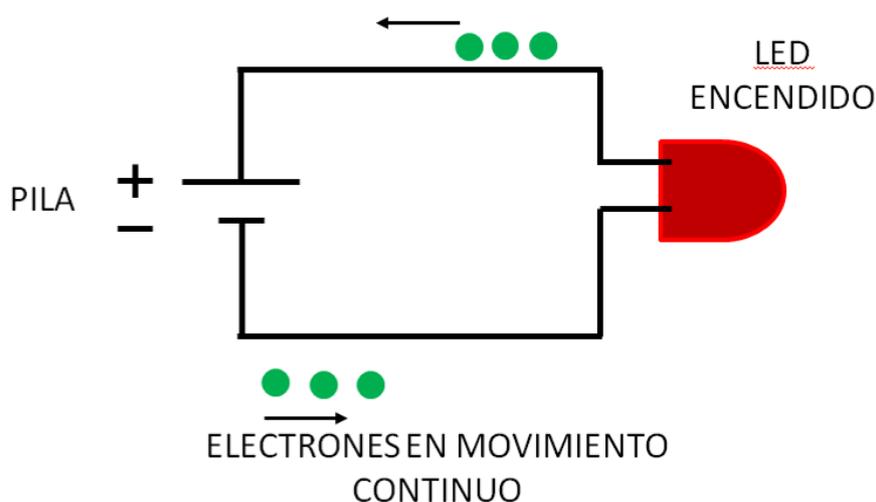


Figura 5: Corriente Eléctrica: movimiento ordenado de electrones libres por un conductor.

Ciertamente a esta altura, es lícito preguntarse, ¿cuál es el empeño por manipular los electrones libres en los conductores? o dicho de otra manera ¿para qué se sirven las corrientes eléctricas? y finalmente como generarlas.

Bien, la energía de estos electrones en movimiento, es decir la corriente eléctrica, sirve de manera primaria para iluminación, generación de calor, y fundamentalmente a LOS EFECTOS DEL PRESENTE APUNTE, generar CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS.

A modo de ejemplo de iluminación se presenta el siguiente circuito sencillo para generar luz mediante un dispositivo semiconductor de amplia difusión llamado Diodo de Emisión de Luz (de siglas en inglés LED: Light Emitting Diode)



En el circuito anterior puede apreciarse una PILA de Volta (en adelante una PILA convencional) que se conecta mediante dos conductores de cobre a un LED, el cual a partir de un cierto nivel de corriente, se encenderá generando una radiación óptica visible color roja.

El funcionamiento puede simplificarse como:

La PILA provee la fuerza necesaria para poner en movimiento los electrones libres de los conductores de cobre. A esta fuerza que provee la energía para mover a los electrones se la denomina TENSIÓN y su unidad de medida es el Volt. Al movimiento de electrones, como ya se mencionó se lo denomina CORRIENTE y su unidad de medida es el Ampere. Entonces, la tensión genera un movimiento continuo de los electrones (UNA CORRIENTE CONTINUA) que al pasar a través del LED provoca que éste emita una luz roja.

Si no hubiese TENSIÓN, ENTONCES NO HABRÍA movimiento de electrones (CORRIENTE) y el LED no emitiría luz, entonces queda claro que generar una corriente eléctrica tiene como una aplicación, entre tantísimas otras, poder generar luz mediante un dispositivo adecuado, en este caso un LED; pero bien podría aplicarse a una lámpara incandescente, un tubo fluorescente, etc. Los conceptos de TENSIÓN Y CORRIENTE son importantes y es preciso no confundirlos, mientras la TENSIÓN es la Fuerza que pondrá en movimiento los electrones, la CORRIENTE, es la cantidad de electrones que se están moviendo por unidad de tiempo. Como ejemplo cercano, una pila de 1,5 Volt, tiene menos fuerza para mover electrones que una batería de automóvil de 12 Volt, de la misma manera si por una estufa eléctrica circula 1 Amper calentará menos que si circularan 10 Amper.

En todos los ejemplos hasta aquí mencionados se ha supuesto un movimiento de electrones uniforme, es decir lo que se denomina técnicamente una CORRIENTE CONTINUA. La mayoría de los dispositivos electrónicos que nos rodean funcionan con corriente continua, una forma fácil de individualizarlos es cuando éstos funcionan a pilas o baterías, también por su indicación en inglés "DC", por ejemplo un dispositivo que dice funcionar con 12VDC, indica que necesita una tensión de 12 Volt de Corriente Continua y si dice consumir 1ADC, quiere decir que circula por él 1 Amper de Corriente Continua.

Como se mencionó precedentemente el efecto que más interesa para este apunte está vinculado a los Campos Eléctricos y Magnéticos. Una primera aproximación a ellos nos lleva a las observaciones de un gran científico llamado Hans Christian Oersted⁴

⁴ **Hans Christian Ørsted** (pronunciado en español **Oersted**; Rudkøbing, Langeland, 14 de agosto de 1777 – Copenhague, Capital (Hovedstaden), 9 de marzo de 1851) fue un físico y químico danés, influido por el pensamiento alemán de Immanuel Kant y también de la filosofía de la Naturaleza. Fue un gran estudioso del electromagnetismo. En 1813 ya predijo la existencia de los fenómenos electromagnéticos, que no demostró hasta 1820, inspirando los desarrollos posteriores de André-Marie Ampère y Faraday, cuando observó que una aguja imantada colocada en dirección paralela a un conductor eléctrico se desviaba cuando se hacía circular una corriente eléctrica por el conductor, demostrando así la existencia de un campo magnético en torno a todo conductor atravesado por una corriente eléctrica, e iniciándose de ese modo el estudio del electromagnetismo. Este descubrimiento fue crucial en el desarrollo de la electricidad, ya que puso en evidencia la relación existente entre la electricidad y el magnetismo

Oersted realizó un experimento sencillo que ilustra muy bien el fenómeno del Campo Magnético (Ver Figura 6).

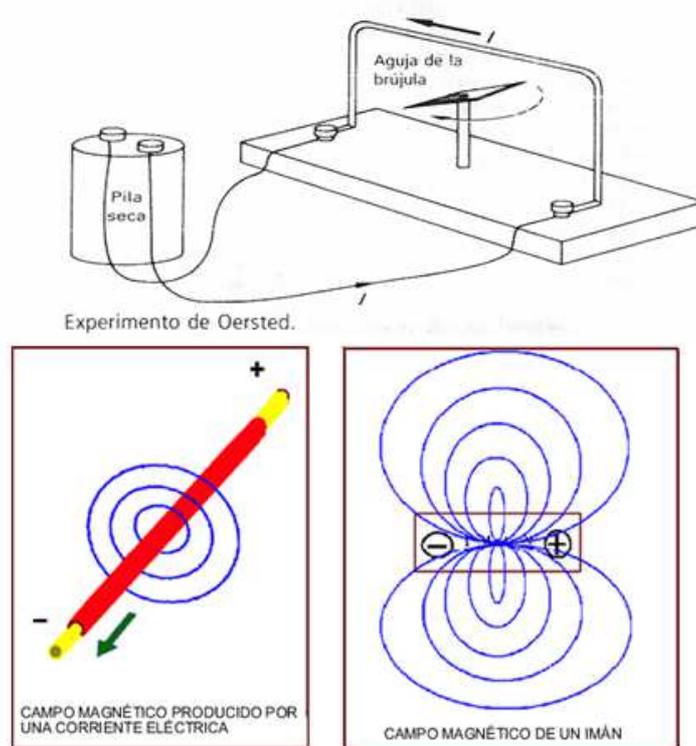


Figura 6: Experimento de Oersted, y formas del Campo Magnético alrededor de un conductor con corriente y de un imán.

El experimento es sencillo, se toma una brújula que en posición normal señala el norte magnético, y se la acerca a un conductor por el que circula una Corriente Continua; en esta segunda situación la aguja se orienta perpendicular al sentido del conductor (y por consiguiente de la corriente), si se interrumpiera la corriente, la brújula retornaría a señalar el norte magnético.

La observación de lo sucedido puede ser sencilla pero no menor. Si la aguja se movió cuando había corriente y no hay contacto alguno entre la brújula y el cable, el movimiento de la aguja tiene que ser causado por una fuerza que aparece alrededor del conductor, PERO SOLO SI POR EL CIRCULA CORRIENTE. Si bien Oersted no pudo ir más allá, había allanado el camino para quienes desarrollaron toda la teoría electromagnética.

Lo que realmente sucede es: que al igual que en las cercanías de un imán natural aparecen unas fuerzas que son capaces de atraer partículas metálicas hacia él, alrededor de un conductor por donde circula una corriente eléctrica, también aparecen estas fuerzas de manera concéntrica MIENTRAS CIRCULE LA CORRIENTE. Estas Fuerzas van disminuyendo a medida que nos alejamos del conductor, de la misma manera que la atracción del imán solo ocurre a corta distancia.

Al espacio circundante tanto del conductor por el que circula corriente como del imán, DONDE SE MANIFIESTAN ESTAS FUERZAS MAGNÉTICAS SE LO DENOMINA CAMPO MAGNÉTICO.

Los Campos Magnéticos de los imanes o de las cercanías de los conductores por donde circula CORRIENTE CONTINUA, son Campos cuyo valor no varía con el tiempo (SI CON LA DISTANCIA) y por lo tanto se los denomina campos estáticos.

LA CORRIENTE ALTERNA

Si el fenómeno de la Corriente Continua no fue tal complejo de entender, ahora será tiempo de hacer un esfuerzo para entender la importancia de otra forma de corriente.

Uno de los grandes hallazgos vinculados al experimento de Oerted, fue el definitivo y fundamental aporte del inglés Michael Faraday⁵.

Hasta aquí se había considerado que la Fuerza que hacia mover los electrones (Tensión) era provista por un dispositivo electroquímico llamado PILA. Lo que descubrió Faraday, fue otra manera de generar Tensión que consistía de manera sencilla en variar un campo magnético sobre un conductor arrollado al que denominamos bobina (Ver Figura 7).

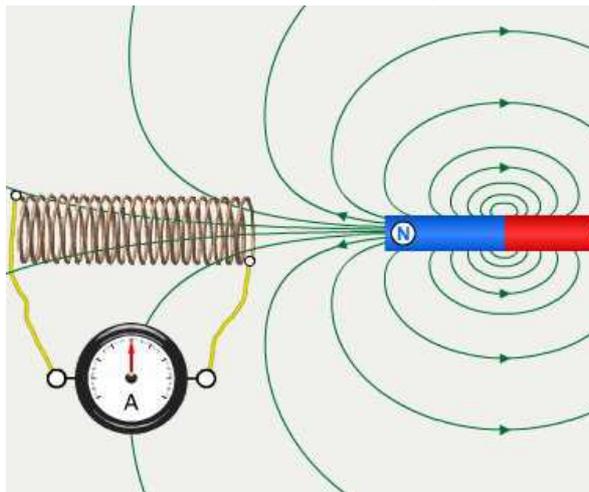


Figura 7: Representación esquemática del experimento de Faraday

⁵ **Michael Faraday**, FRS (Newington, 22 de septiembre de 1791-Londres, 25 de agosto de 1867), fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Sus principales descubrimientos incluyen la inducción electromagnética, diamagnetismo y la electrólisis. A pesar de la escasa educación formal recibida, Faraday es uno de los científicos más influyentes de la historia. Fue debido a su estudio del campo magnético alrededor de un conductor por el que circula corriente continua que Faraday estableció las bases para el desarrollo del concepto de campo electromagnético. Faraday también estableció que el magnetismo podía afectar los rayos de luz y que había una relación subyacente entre ambos fenómenos. Descubrió, también, el principio de inducción electromagnética, diamagnetismo, las leyes de la electrólisis e inventó algo que él llamó *dispositivos de rotación electromagnética*, que fueron los precursores del actual motor eléctrico.

Lo que Faraday pudo observar, es que mientras el imán estuviese quieto (o sea el CAMPO MAGNÉTICO SEA CONSTANTE) el indicador de corriente (Amperímetro) conectado al conductor arrollado no indica nada (cero Amper) pero si el imán comenzara a moverse, suponiendo que se acerca y se aleja alternativamente a cualquier ritmo pues lo importante es que esté en movimiento, el amperímetro comenzará a indicar algún nivel de corriente.

¿Pero qué ha sucedido, si no hay nada conectado y el imán ni siquiera llega a tocar la bobina?

El descubrimiento de Faraday fue que si el Campo Magnético es variable (si es constante NO SUCEDE), estas fuerzas magnéticas comienzan a mover los electrones libres en el conductor y eso, como ya se estudió anteriormente, es una corriente eléctrica. PERO EXISTE UNA DIFERENCIA FUNDAMENTAL, COMO LA FUERZA QUE MUEVE ESTOS ELECTRONES ES VARIABLE PORQUE EL CAMPO MAGNÉTICO SE ACERCA Y SE ALEJA, LA CORRIENTE QUE SE GENERA TAMBIÉN ES VARIABLE, NO ES UNA CORRIENTE CONTINUA, Y A ESTAS CORRIENTES VARIABLES SE LAS DENOMINA CORRIENTES ALTERNAS.

Para entender cómo se mueven los electrones dentro de un conductor hay que hacer un esfuerzo adicional. En la Corriente Continua todos los electrones se movían ordenadamente y de manera constante desde un extremo del circuito (el negativo), hasta el otro extremo (el positivo), pero la corriente alterna no es tan sencilla, es decir, en una porción de tiempo los electrones se mueven en una dirección del circuito y transcurrido un tiempo esta dirección se invierte (como si el polo negativo se hubiese vuelto positivo y viceversa) (Ver Figura 8)

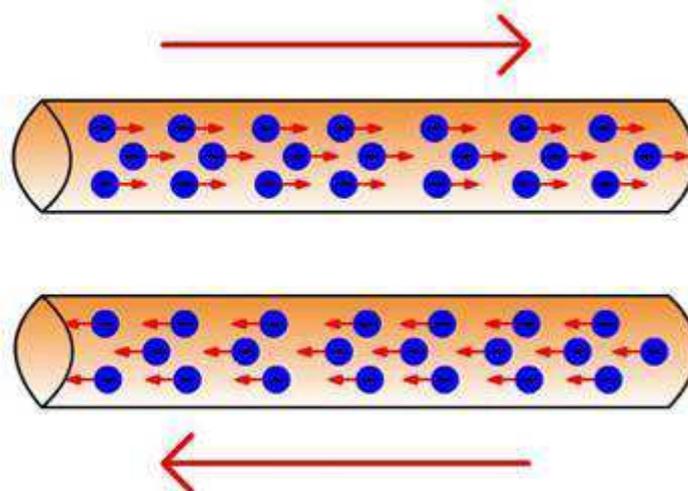


Figura 8: Movimiento de electrones para una Corriente Alterna

El lector tendrá todo el derecho a preguntarse ¿por qué si todo era más simple con la Corriente Continua hay que complicarse la existencia con la Corriente Alterna? Lamentablemente hay varias razones de peso. Se explicarán las dos más importantes.

1) Para transportar energía eléctrica desde donde se genera (supongamos una represa) hasta donde se consume (supongamos una ciudad); debido a las grandes distancias es conveniente hacer esa conexión en niveles de tensión altos y niveles de corriente bajos. A principio de siglo XX se hacía muy difícil (hoy ya no) generar Altas Tensiones para Corrientes Continuas y contrariamente, era relativamente sencillo (aún hoy) generar Altas Tensiones de Corriente Alterna, dado que los generadores de Corriente Alterna son sencillamente Campos Magnéticos (imanes) que rotan (impulsados por una turbina de Gas o el movimiento de una turbina movida por el paso de agua en el caso hidroeléctrico) en medio de bobinados donde se inducen tensiones a la antigua manera de Faraday (Ver Figura 9).

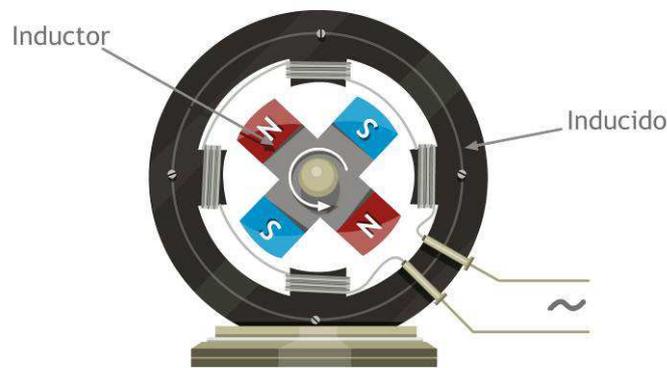


Figura 9: Esquema Básico de un Generador de Corriente Alterna

2) Como se explicará más adelante las Corrientes Alternas tienen asociados Campos Magnéticos y Eléctricos que también son variables de igual forma que las corrientes que lo generan, y estos campos tienen la formidable propiedad de PROPAGARSE, es decir trasladarse por el espacio a la velocidad de la luz, y es precisamente este punto, el concepto físico más importante de este apunte.

LA FUNCIÓN MATEMÁTICA SENO COMO REPRESENTACIÓN DE LA CORRIENTE ALTERNA.

Por lo general la función matemática seno está asociada, únicamente, a la relación trigonométrica de dos catetos en un triángulo rectángulo; concretamente al cociente entre el cateto opuesto y la hipotenusa. Entonces el seno del ángulo alfa, se expresa como $\text{sen}(\alpha) = \text{opuesto}/\text{hipotenusa}$.

Si para un triángulo rectángulo de hipotenusa unitaria (valor uno), se calculase el $\text{sen}(\alpha)$ para valores desde 0° a 360° , y se representaran los resultados, se encontrará que por ejemplo: para $\alpha=0^\circ$ el seno vale cero, que para $\alpha=90^\circ$ el seno vale uno, para $\alpha=180^\circ$ el seno vuelve a valer cero y que para $\alpha=270^\circ$ el seno vale menos uno (-1). De modo más general, si se graficaran todos los valores del $\text{sen}(\alpha)$ obtenidos se obtiene el gráfico siguiente (Ver Figura 10).

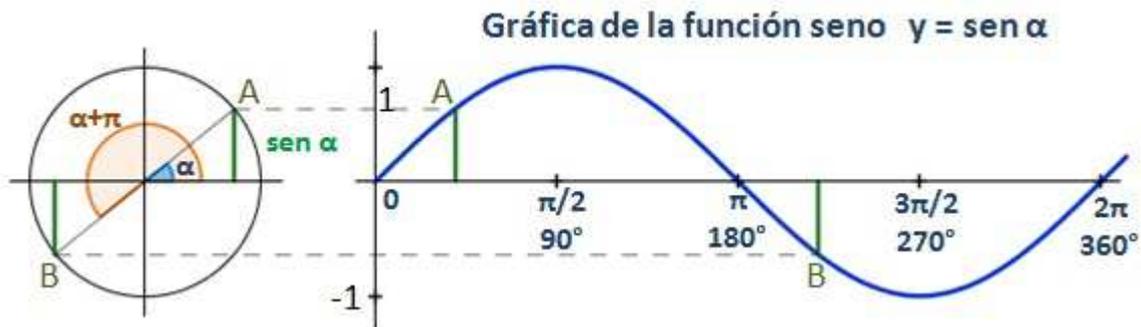
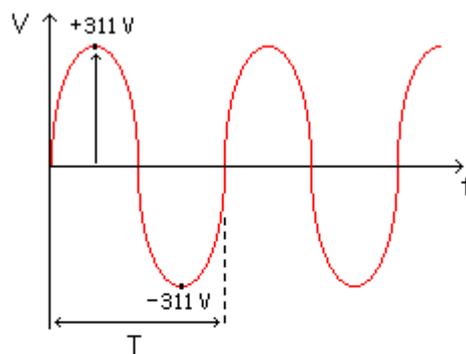


Figura 10: Onda Senoidal, representación de los valores del sen (α), para ángulos entre 0° y 360° .

A la representación anterior se la conoce como onda senoidal y su utilidad es mucho más amplia que la representación de la relación geométrica ya descrita.

Este tipo de forma de representación (que en adelante llamaremos Senoidal) permite describir matemáticamente diversos fenómenos, a saber: fenómenos oscilatorios diversos, fenómenos de rotación, ondas mecánicas como las de presión sonora, señales eléctricas de corriente alterna como por ejemplo la energía eléctrica domiciliaria y las ondas electromagnéticas que permiten las comunicaciones radioeléctricas, entre otros tantos fenómenos. En todos los casos citados lo que ha de cambiar es la magnitud que ocupará el eje de las ordenadas (eje y) y la magnitud que ocupará el eje de abscisas (x). Como ejemplo se muestra la representación senoidal de la señal de tensión eléctrica domiciliaria para la República Argentina (Ver Figura 11).



220 $V_{eficaces}$ = 220 V_{rms} (root mean square, raíz cuadrática media)

$$V_m = V_p \quad V_{ef} = V_m \quad V_m = V_{ef} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

Figura 11: Onda Senoidal, de la señal de tensión eléctrica domiciliaria para la República Argentina.

Para la onda senoidal presentada podemos ver que en el eje de ordenadas está representado el valor de la Tensión, mientras que en eje de abscisas se representa el valor del tiempo. Como puede verse de manera simple, la tensión alterna tiene un valor variable, incluso vale cero volt en algunos instantes y la parte negativa de la representación ha de marcar la inversión del valor de la

tensión, lo que en la práctica representa que los electrones circularán en sentido inverso respecto al tiempo que la onda tenía valores positivos.

Pero cualquiera sea el fenómeno representado, la onda senoidal tiene unos valores característicos que deben explicitarse. En principio, la onda senoidal es una señal periódica, que por una cuestión de comodidad solo se suelen dibujar uno o dos ciclos, no más, hay que suponer que de manera teórica se extiende desde el infinito negativo de los tiempos, hasta el infinito futuro de los tiempos, siempre repitiendo la misma forma. Un ciclo es aquella circunstancia donde la situación ha de repetirse, en el caso de la Figura 11, un ciclo tiene una duración de tiempo "T" al que se denomina PERÍODO, a la vez la onda senoidal tiene un "valor pico" positivo, en este caso es de 311Volt, un "valor pico" negativo, en este caso es de -311Volt (las señales senoidales SIEMPRE poseen igual valor pico positivo y negativo en módulo).

Un parámetro FUNDAMENTAL de las señales senoidales es lo que se denomina FRECUENCIA. La frecuencia es LA CANTIDAD DE VECES QUE SE REPITE UN CICLO (UN PERÍODO) EN UN SEGUNDO. Como ejemplo, vamos a suponer que en la señal de la Figura 11 el tiempo T es de 20 milisegundos, entonces en un segundo de tiempo se repetirá el PERÍODO 50 VECES, la unidad de medida de cuantos ciclos entran en un segundo es el Hertz⁶ (se abrevia Hz) y por lo tanto nuestra onda senoidal posee una FRECUENCIA DE 50Hz. Si la cantidad de ciclos que entraran en un segundo fueran miles, se estila usar para la frecuencia el prefijo "kilo" (significa mil) y si entraran millones se estila usar el prefijo "mega" (significa millón). Como ejemplo una señal senoidal que repite 870.000 ciclos en un segundo se dice que tiene una frecuencia de 870kHz (kilohertz) y una señal que repite sus ciclos 98,7millones de veces en un segundo se dice que tiene una frecuencia de 98,7MHz (megahertz).

Volviendo al caso de la Figura 11, falta enumerar un valor característico que es importante en las señales eléctricas y es el denominado Valor Eficaz (también conocido en inglés como RMS⁷). El Valor Eficaz de una señal eléctrica de corriente alterna senoidal, es el valor de Tensión o Corriente que "tendría" una Tensión o Corriente Continua para producir la misma potencia calórica. Para el caso de la señal senoidal, este valor se calcula como $V_{ef} = V_{pico} / \sqrt{2}$, que para este caso resulta ser de 220Volt. Es decir que cuando coloquialmente se hace referencia a una tensión de 220Volt, 50Hz, se está refiriendo a una señal senoidal de corriente alterna, cuyos ciclos se repiten 50 veces en un segundo, cuyo valor pico positivo es de 311Volt y que puede desarrollar una potencia calórica equivalente a la que desarrollaría una señal de corriente continua de 220VDC.

⁶ **Heinrich Rudolf Hertz** (Hamburgo, 22 de febrero de 1857 – Bonn, 1 de enero de 1894) fue un físico alemán descubridor del efecto fotoeléctrico y de la propagación de las ondas electromagnéticas, así como de formas de producirlas y detectarlas. La unidad de medida de la frecuencia, «Hertz» lleva ese nombre en su honor.

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$$

⁷ Root Mean Square, o valor cuadrático medio definido por la expresión

Del mismo modo que la Corriente Continua se suele expresar en los equipos de consumo con las letras DC, la corriente alterna se suele simbolizar (en inglés) con las letras AC, entonces una señal de tensión alterna senoidal en electrodomésticos domiciliarios suele notarse como 220VAC-50Hz, el anexo de la frecuencia es importante porque existen otros países donde la frecuencia de la tensión eléctrica domiciliaria es de 60Hz.

Es menester dejar claro que la función seno tiene un papel fundamental en varios campos de la Física y de la Electrónica, particularmente en el campo de las Telecomunicaciones, pero la comprensión profunda y acabada de la utilidad de la función seno, necesita de herramientas de la Matemática Superior que exceden los alcances del presente apunte; no obstante no puede dejar de mencionarse que toda la teoría matemática de las señales de comunicaciones se apoya en el Análisis Matemático Fundamental desarrollado por el genial matemático francés Joseph **Fourier**⁸ hacia 1822 en un estudio sobre la Teoría Analítica del Calor.

CAMPO ELÉCTRICO, MAGNÉTICO Y ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

CAMPOS ESTÁTICOS

El concepto de Campo es un entidad física y matemática que necesita de manera imperiosa un ejercicio de abstracción por parte del estudiante, sencillamente porque tanto las Fuerzas Eléctricas y Magnéticas no son perceptibles y existen pocos experimentos simples que ayuden a su correcta comprensión.

Con el fin de poder explicar los Campos Eléctricos y Magnéticos de manera individual, se debe necesariamente recurrir a la condición “estática” es decir donde las cargas eléctricas no se aceleren (un ejemplo sencillo sería considerarlas quietas) o donde las corrientes sean continuas.

La aclaración anterior no es menor porque como se mostrara en la sección posterior, cuando existen tensiones o corrientes alternas LOS CAMPOS NUNCA SE MANIFIESTAN DE MANERA INDIVIDUAL, ES DECIR EL CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO SE ENCUENTRA CONCATENADO Y NO EXISTE MANERA DE QUE EXISTA UNO SIN EL OTRO.

Entonces a los fines didácticos, se comenzará por describir el Campo Eléctrico de una situación estacionaria.

A manera de una definición sencilla, el Campo Eléctrico puede entenderse como un volumen del espacio donde se verifica la existencia de las Fuerzas Eléctricas (también llamadas Fuerzas de

⁸ **Jean-Baptiste Joseph Fourier** (Auxerre, Francia, 21 de marzo de 1768 - París, 16 de mayo de 1830), matemático y físico francés conocido por sus trabajos sobre la descomposición de funciones periódicas en series trigonométricas convergentes llamadas Series de Fourier, método con el cual consiguió resolver la ecuación del calor. La transformada de Fourier recibe su nombre en su honor. Fue el primero en dar una explicación científica al efecto invernadero.

Coulomb). Estas fuerzas se originan por la presencia de cargas eléctricas (no importa si son positivas o negativas) en algún punto del espacio, SIN IMPORTAR SI ESTÁN CERCA O LEJOS del lugar que se esté estudiando. Si bien no es fácil de imaginar, una acumulación de cargas positivas, supongamos en la luna, va a generar un campo eléctrico cuyos efectos, por pequeños que sean, llegarán a la tierra. ¿Cómo se verificaría la existencia de este campo originado en la luna?, pues bien, si se soltara una carga eléctrica negativa aquí en la tierra, esta carga aceleraría en sentido a la luna, poniendo de manifiesto con su aceleración que existe una fuerza de atracción originada en la luna. Si la carga que se soltara en la tierra fuese positiva, la misma aceleraría en sentido opuesto a la luna, poniendo de manifiesto la existencia de una fuerza originada en la luna, pero en este caso de repulsión dado que las cargas son iguales. En la Figura 12 se muestra una forma típica que toma en Campo Eléctrico, en forma de líneas de Campo, para un sistema teórico elemental (que busca solamente un fin didáctico) de dos cargas de signos iguales y dos cargas de signos opuestos. Puede observarse como en el caso de signos iguales las líneas divergen, mientras que con signos distintos, las líneas nacen en una carga para morir en la contraria.

Claramente no es algo fácil de asimilar.

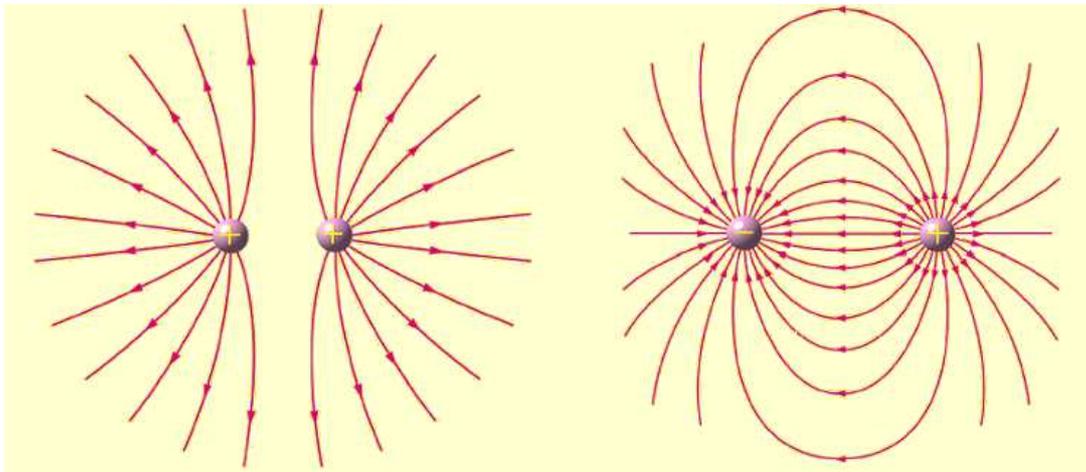


Figura 12: Líneas de Campo Eléctrico para un sistema elemental de dos cargas, en un caso iguales, en el otro opuestas.

Como resumen puede decirse que existe un Campo Eléctrico (es decir Fuerzas Eléctricas en un volumen del espacio) cuando se verifica en algún lugar, supóngase cercano, la presencia de una acumulación de cargas eléctricas. La magnitud de estas Fuerzas y por lo tanto del Campo Eléctrico decrece fuertemente con la distancia, y por lo tanto sus efectos no son detectables a grandes distancias.

Acaso el ejemplo más sencillo de apelar para este Campo Eléctrico estático, sea la acumulación de cargas en las nubes durante una tormenta eléctrica. Las condiciones termodinámicas en la formación del fenómeno meteorológico terminan por generar una acumulación de cargas en las nubes (pueden ser positivas o negativas), estas circunstancias provocan que cargas de signo

contrario que se encuentran sobre la superficie terrestre se acumulen justamente debajo de ellas; entre estos dos conjuntos de cargas opuestas (Ver Figura 13) se establece un Campo Eléctrico muy intenso cuya fuerza de atracción podría, en ciertos casos, erizar los cabellos de una persona que este caminando sobre la superficie terrestre. Cuando la masa de aire que separa éstas cargas no puede “soportar” la intensidad de este Campo Eléctrico, se provoca una ionización que termina con un tránsito violento de electrones de un lado al otro conocido comúnmente como “rayo” o descarga atmosférica.



Figura 13: esquema básico de una descarga atmosférica

El Campo Magnético estático, acaso sea más fácil de comprender. Quizás sea lo antiguo e intuitivo de lo que realiza un imán frente a materiales ferromagnéticos, por ejemplo el hierro, níquel o aleaciones de ellos. El imán “atrae” las piezas ferrosas. ¿Pero qué es lo que realmente sucedió? La constitución atómica de la piedra del imán (óxido ferroso-di férrico Fe_3O_4) con momentos magnéticos acoplados, termina por generar Fuerzas Magnéticas Estáticas (Ver Figura 6) a su alrededor que resultan en fuerzas de atracción o repulsión según el material que se le acerque, por caso un trozo de hierro experimenta, si se lo acerca lo suficiente, una fuerza de atracción que termina por pegar el trozo de hierro contra el imán. Otra manera de generar Fuerzas Magnéticas Estáticas en un volumen del espacio (Campo Magnético), es haciendo circular una corriente continua por un conductor, alrededor del mismo también aparecerá en Campo Magnético Estático y al igual que el del imán su intensidad irá decreciendo a medida que nos alejemos de la fuente que lo produce. Un experimento sencillo para verificar la existencia del Campo Magnético Estático es la construcción de un “electroimán”, que es sencillamente un dispositivo por el cual circula una Corriente Continua por un conductor arrollado, típicamente sobre un material ferroso que oficia de “concentrador de líneas de campo” y éste Campo Magnético Estático “concentrado” por el núcleo ferroso es el que ejerce la atracción sobre los metales que se le acerquen (Ver Figura 14).

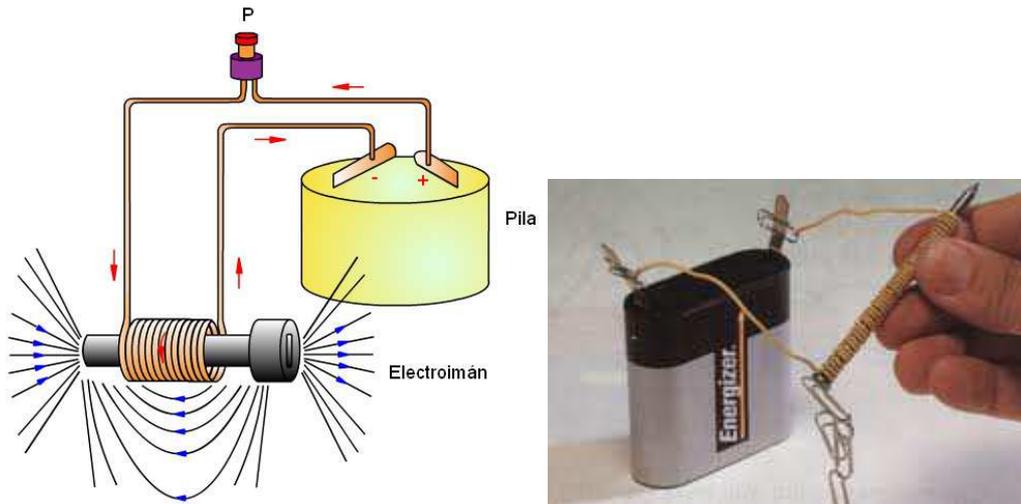


Figura 14: ejemplo de electroimán.

CAMPOS VARIABLES

Los conceptos anteriores buscan la comprensión conceptual del Concepto de Campo Eléctrico, Magnético y quienes lo generan. A modo de introducción se trató de los fenómenos estáticos, pero a los efectos del presente apunte, los campos que interesan son aquellos que llamaremos campos variables en el tiempo. De manera análoga al caso estático, se puede afirmar que los Campos Eléctricos variables en el tiempo, son producidos por cargas eléctricas también variables en el tiempo, y que los Campos Magnéticos variables en el tiempo son producidos por corrientes eléctricas, también variables en el tiempo, típicamente, corrientes alternas de forma senoidal.

Es preciso hacer notar que cargas eléctricas variables en el tiempo y corrientes son sinónimos y por lo tanto la existencia de corrientes variables en el tiempo (típicamente de forma senoidal) han de generar Campos Eléctricos y Magnéticos a la vez. La relación indivisible entre la existencia del Campo Eléctrico y Magnético y las corrientes variables en el tiempo fue el gran aporte que realizó a la Teoría Electromagnética el Inglés Michael Faraday. Este fenómeno está íntimamente relacionado con la vida cotidiana, la existencia de dispositivos para la elevación o reducción de niveles de tensión, conocidos como transformadores, y la de motores eléctricos que transforman energía eléctrica en movimiento rotatorio, son consecuencia directa de la relación de los campos eléctricos y magnéticos generados por corrientes alternas.

Alrededor de los conductores de transporte y distribución de energía eléctrica de 50Hz se distribuyen Campos Eléctricos y Magnéticos a causa de la Corriente Alterna que por ellos circula, estos campos, sin embargo, no poseen gran intensidad, debido a que las corrientes de consumo típicas, difícilmente supere los 30A en un domicilio y la tensión es conocida de 220VAC o a lo sumo 380VAC, y como se explicó precedentemente su magnitud decae con la distancia.

En las dos figuras (Figuras 15 y 16) siguientes se presentan gráficos de distribución de Campos Eléctricos y Magnéticos, para una línea de 50Hz de 400kV y 3000A.

Como puede apreciarse la intensidad de los campos decaen rápidamente y sus valores más intensos se encuentran en las cercanías de los conductores. Se presentan estos gráficos de una línea de alta tensión y corriente a modo de explicitar que en una instalación domiciliaria, donde la tensión y corriente son marcadamente más pequeñas, ambos valores de Campo también disminuirán en la misma proporción.

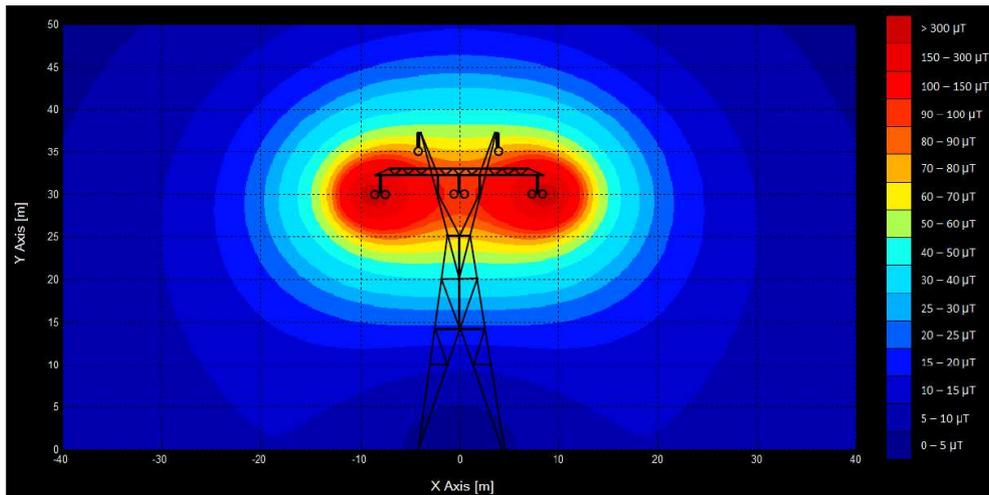


Figura 15: Distribución de Campo Magnético en una línea de alta tensión de 50Hz

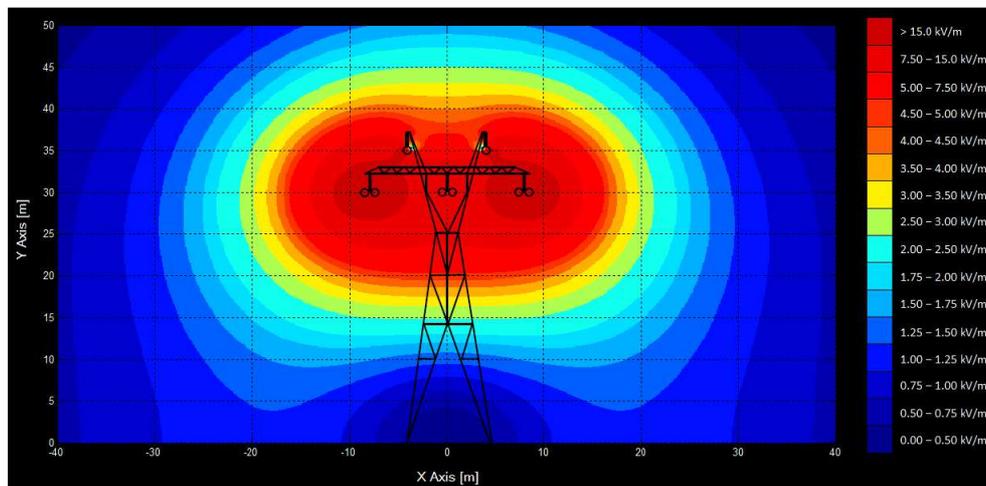


Figura 16: Distribución de Campo Eléctrico en una línea de alta tensión de 50Hz

EL FENÓMENO DE LA PROPAGACIÓN.

La otra diferencia, y fundamental, de los Campos Variables con los Campos Estáticos, reside en la característica que poseen los campos variables de propagarse por el espacio, es decir: pueden evolucionar por el espacio, a medida que transcurre el tiempo.

El fenómeno merece explicarse cuidadosamente.

Como ya fue expuesto, los Campos Eléctricos son generados por tensiones, y los Magnéticos por Corrientes. También se mencionó que en caso de poseer un corriente alterna, es decir variable en el tiempo, esta generará un Campo Magnético y Eléctrico a la vez. Pero aún hay más para forzar la capacidad de abstracción, y vaya que es importante comprender.

Fue el Físico Escocés, James Clerk Maxwell⁹, quien revolucionaría toda la física sobre finales del siglo XIX, con su postulado complementario al de Faraday, que aseguraba que un Campo Eléctrico variable generaba un Campo Magnético variable ortogonal a él y de la misma frecuencia. Maxwell no terminó ahí, demostró de manera teórica (murió sin ver el resultado práctico de su revolución de la Física) que ambos Campos se movían en conjunto en el espacio libre a la velocidad de la luz.

Una reducción extrema de la teoría podría ser la siguiente: si en algún punto del espacio existiera una corriente variable en el tiempo, esta generará un campo magnético variable de la misma frecuencia, pero según demostró Faraday, un Campo Magnético variable generará a su alrededor un Campo Eléctrico variable de la misma frecuencia, y es aquí donde Maxwell propone que alrededor de este Campo Eléctrico variable se generará un Campo Magnético variable de la misma frecuencia y así se repite la cadena de concatenaciones (Ver Figura 17). Este fenómeno transcurre a la velocidad de la luz y por lo tanto para el ser humano es imperceptible el tiempo que transcurre entre el punto donde se genera la corriente y la manifestación de ambos Campos a distancias que pueden ir desde los metros hasta la lejanía del espacio profundo.

A este fenómeno de propagar una perturbación (en nuestro caso ambos Campos) por el espacio a medida que transcurre el tiempo se lo suele llamar fenómeno de onda electromagnética o radiación electromagnética.

Estas características de los Campos comienzan a hacerse evidentes cuando las corrientes que la generan alcanzan (y superan) frecuencias del orden de los 100kHz (se extienden estas propiedades en términos clásicos hasta las Radiaciones ópticas). No es que a frecuencias menores la teoría no funcione, sino que para hacerse evidentes necesitarían de circuitos eléctricos de una longitud de miles de kilómetros.

⁹ **James Clerk Maxwell** (Edimburgo, Reino Unido; 13 de junio de 1831-Cambridge, Inglaterra; 5 de noviembre de 1879) fue un físico británico conocido principalmente por haber desarrollado la teoría electromagnética clásica, sintetizando todas las anteriores observaciones, experimentos y leyes sobre electricidad, magnetismo y aun sobre óptica, en una teoría consistente. Las ecuaciones de Maxwell demostraron que la electricidad, el magnetismo y hasta la luz, son manifestaciones del mismo fenómeno: el campo electromagnético. Desde ese momento, todas las otras leyes y ecuaciones clásicas de estas disciplinas se convirtieron en casos simplificados de las ecuaciones de Maxwell. Su trabajo sobre electromagnetismo ha sido llamado la «segunda gran unificación en física»

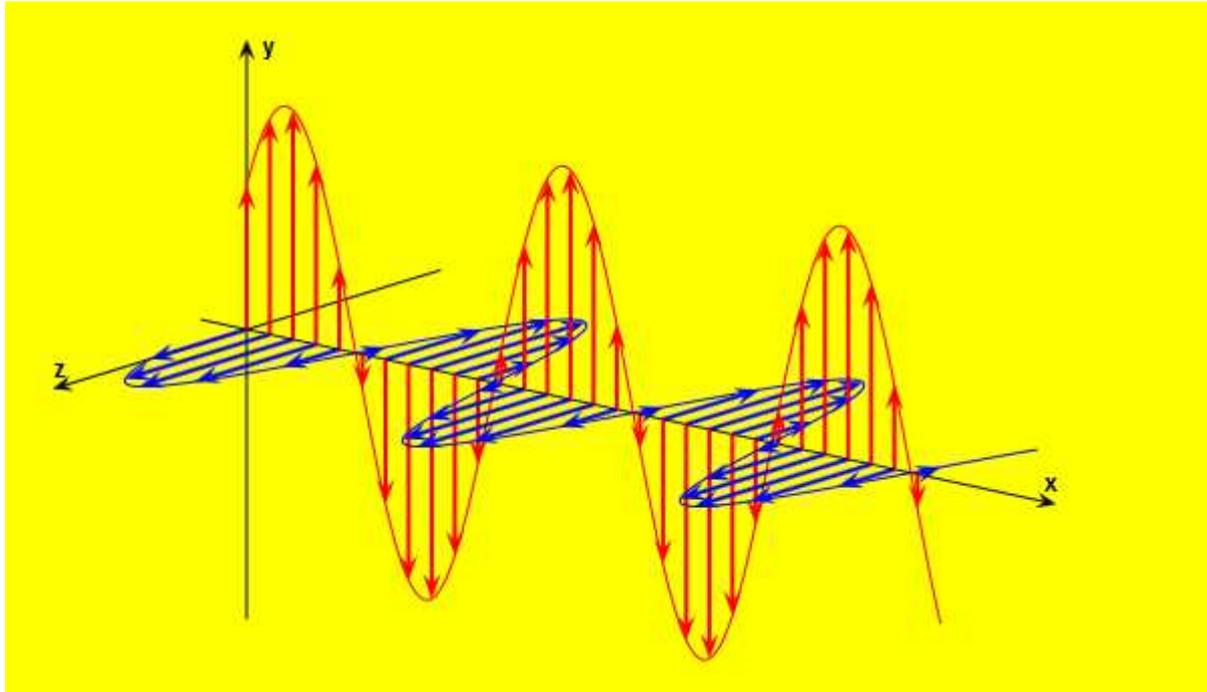


Figura 17: Onda Electromagnética. Campo Eléctrico en rojo y Campo Magnético en azul

Es importante señalar que el Campo Electromagnético (que es la Conjunción de los Campos Eléctrico y Magnético) si se lo genera de manera continua, es decir si la corriente que lo genera no se interrumpe, transporta su energía a lo largo de todo su recorrido, no solo en su frente de avance, es decir que una persona que se encuentre cerca de la corriente que lo genera y alguien que esté más lejos ambos podrán detectar, con el instrumento conveniente, la presencia de la onda, por supuesto con mayor intensidad para quien está más cerca, puesto que, como ya se señaló, la intensidad de los campos decae proporcionalmente con la distancia.

La propiedad del Campo electromagnético de propagarse, es sobre lo que apoyan todos los servicios de comunicaciones inalámbricas. Así, con distintas frecuencias de la corriente que lo generan, se establecieron por ejemplo: servicios de Radiodifusión por AM en frecuencias entre los 530kHz y 1750kHz, servicios de Radiodifusión por FM en frecuencias entre los 88MHz y los 108 MHz, Servicios de Televisión Analógica y Digital en todos los casos por sobre los 150MHz y Servicios de Telefonía móvil fundamentalmente entre los 850MHz y los 2500MHz, entre otros tantos. Como podrá asociarse de manera intuitiva, **la frecuencia que genera el Campo Electromagnético será un condicionante para el alcance útil del mismo y para el tipo de servicio que desee prestarse.** Como ejemplo intuitivo, una emisora de FM (de frecuencia del orden de los 100MHz) difícilmente pueda escucharse más allá de los 100km, mientras que el Teléfono móvil que utilizan las personas en frecuencias del orden de los 1800MHz difícilmente pueda funcionar si no tiene una radiobase en un radio de 2000m (sí 2 km).

EL ROL DE LA ANTENA

Si pudiese hacerse una analogía, a la antena podría comparársela con un parlante en un equipo de audio, es decir: el mejor equipo de audio con un parlante de baja calidad, es un mal equipo.

Algo similar sucede con la antena, ya sea al momento de generar campos electromagnéticos o de recibirlos. La antena es un elemento dual, tiene el mismo comportamiento tanto para transmitir como para recibir, por eso el análisis de sus características es exactamente el mismo para ambos casos.

Un primer acercamiento a la dimensión física de una antena, es relacionarla con la frecuencia de la corriente a la que será conectada o al campo que se pretende recibir. El parámetro físico utilizado para este fin es lo que se denomina longitud de onda, que se simboliza con la letra lambda (λ) y se calcula como: $\lambda = \text{velocidad de la luz (m/s)} / \text{frecuencia (Hz)}$, entonces para una emisora de Radio AM de 870kHz la longitud de onda es de 344m, para una de Radio FM de 98,7MHz es de 3,04m y para un sistema de telefonía móvil de 1850MHz es de 16cm. Estos cálculos permiten explicar que una antena para recibir FM pueda ser una varilla metálica de menos de un metro en el techo de un auto y que la antena de un teléfono móvil, pueda montarse de manera sencilla dentro de un teléfono móvil.

La antena es en esencia el elemento que se encuentra entre el sistema electrónico de transmisión o recepción y el medio de propagación, que para el caso del presente apunte, siempre será el aire. Su función principal es disponer de la circulación de la corriente alterna de la frecuencia del equipo en cuestión, de una forma geométrica tal, que el Campo Electromagnético generado por la circulación de corriente por la misma, tome una forma y distribución en el aire, que sea útil para la función del equipamiento a que pertenece la misma.

Algunos ejemplos sencillos, ayudarán a esclarecer la idea anterior. Si se tiene un equipo para comunicarse con un satélite, es de esperar que la antena del mismo dirija la energía hacia el cielo (Ver Figura 18), puesto que toda energía dirigida hacia otro lugar nunca llegara al satélite y por lo tanto será un desperdicio. Otro caso, si en la terraza de un edificio alto se encuentra una radiobase que brinda servicio de telefonía móvil, es conveniente que los campos que emiten esas antenas estén dirigidos al área circundante y apuntando hacia la tierra (Ver Figura 19), va de suyo que los usuarios del sistema de telefonía móvil o están por las calles o en los edificios cercanos.

A la forma geométrica que toma el Campo emitido por una antena se lo denomina Diagrama de Radiación y es este diagrama el que determina claramente para qué tipo de servicio es adecuada cada antena. La capacidad que tiene una antena de concentrar la energía en un volumen del espacio determinado se denomina Directividad y esta es más grande a medida que la antena puede distribuir la energía en un ángulo más pequeño. Para el caso del presente apunte, la Directividad será considerada igual a la Ganancia, y la Ganancia de una antena es la capacidad

que tiene esta de concentrar energía en una porción del espacio, respecto de una antena ideal QUE NO TIENE ESA CAPACIDAD E IRRADIA LA MISMA INTENSIDAD PARA TODAS LAS DIRECCIONES, a esta antena teórica se la denomina “Radiador isotrópico”. Así las cosas, la Ganancia de una antena se mide en dBi, que quiere decir “que capacidad tiene una antena de concentrar energía en el espacio, respecto del radiador isotrópico” (Ver Figura 20). Como ejemplo, una antena de radiobase de teléfono móvil tiene una ganancia de 10dBi, lo cual indica que puede concentrar energía 10 veces mejor que un radiador isotrópico, es decir que posee una buena directividad (Nota importante: coincide que 10dBi son 10 veces, pero recordar que los decibeles son una magnitud logarítmica, y entonces 3dBi NO SON 3 veces, son solo 2, cuidado!)

A modo de cierre, la existencia de un campo electromagnético que se propaga depende fundamentalmente de la existencia de una corriente alterna que lo genere y de una antena que permita transmitir este campo “al aire” con la mejor distribución geométrica posible.

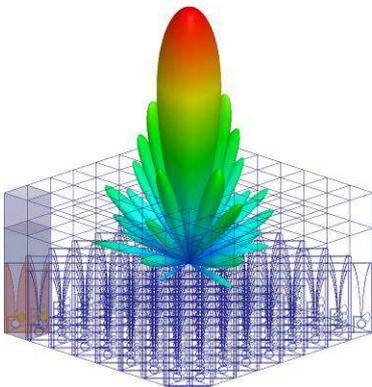


Figura 18: haz hacia el cielo.

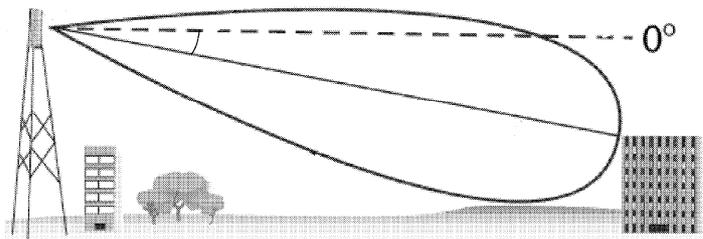


Figura 19: haz de radiación de una radiobase de telefonía móvil

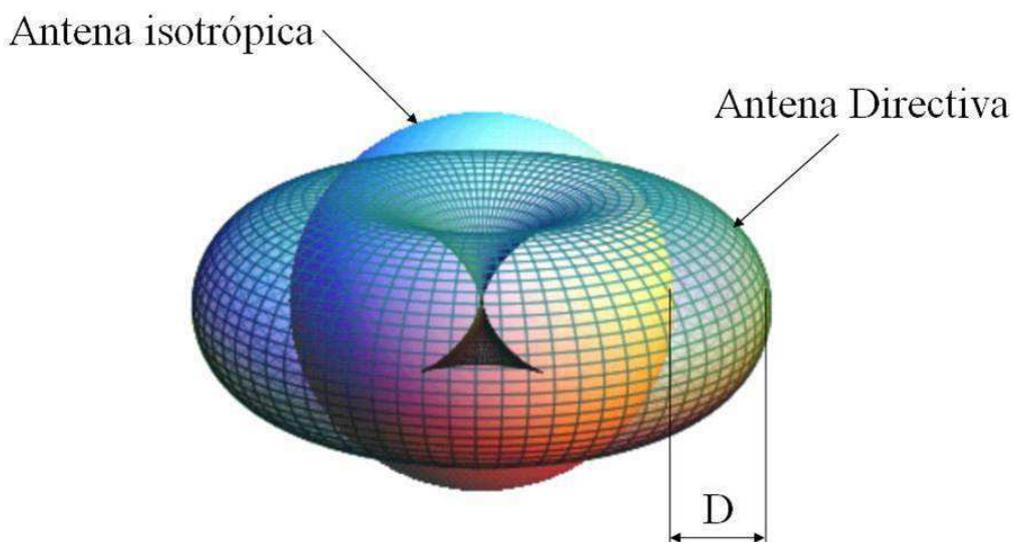


Figura 20: Diferencia entre un Diagrama isotrópico y un diagrama más direccional

2- DESCRIPCIÓN DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

El uso de la energía electromagnética se ha incrementado de manera más que geométrica en los últimos 50 años. Esto ha sucedido gracias al sostenido avance científico-tecnológico que permitió su aplicación en los más diversos campos. Las comunicaciones, emisoras radiales y de TV, la informática, la generación y transporte de energía eléctrica y otros usos industriales, la salud e investigación, los sistemas de navegación, la detección remota, los sistemas de defensa y otras aplicaciones menores relacionadas con sistemas de control, son ejemplos de algunos de ellos.

Las radiaciones electromagnéticas involucradas en los sistemas antes mencionados son conocidas como **“RADIACIONES NO IONIZANTES” (RNI)** puesto que la energía fotónica asociada a estas radiaciones es diez a millones de veces menor que la necesaria para romper un enlace molecular (decenas de electrón-Volts) o “arrancar” el electrón más débil de un átomo y así dar lugar a la formación de un ion; de ser éste el caso estaríamos frente a una “Radiación Ionizante”.

Para entender la diferencia, las RADIACIONES IONIZANTES (RI) son aquellas, cuyo efecto más importante, según el mismo término lo describe, es la ionización de los átomos de la materia, debido a su longitud de onda más corta y por ende de mayor energía fotónica asociada. A modo de ejemplo, mencionaremos entre ellas a la Radiación X, la Radiación Gamma y a la Radiación Cósmica. Los riesgos asociados con el uso de la Radiación X y Gamma, tanto en sus aplicaciones médicas como industriales han sido estudiados con mucho detalle y sus efectos son bien conocidos. Algunos de ellos pueden ser de extrema gravedad, y como consecuencia de ello, han merecido una preocupación especial, desarrollándose toda una disciplina, llamada Protección Radiológica. Así, se han elaborado Normas de Seguridad y establecido los Límites de Exposición para proteger tanto a las personas que por su tarea están expuestas a ellas, denominadas personas ocupacionalmente expuestas, como al público en general y al paciente cuando se trata de exposiciones médicas.

El tema de las Radiaciones Ionizantes se desarrolla en un capítulo aparte con todos los detalles necesarios.

EL COMIENZO

El interés científico sobre la interacción entre campos electromagnéticos y sistemas biológicos, disciplina que más tarde se conocería como “Radiaciones no Ionizantes” puede interpretarse como una consecuencia no esperada de la implementación de uno de los sistemas más elaborados y geniales de la historia de la guerra electrónica; la radiodetección y estimación de distancias, más conocido por sus siglas en inglés: **RADAR (Radio Detection And Ranging)**. La teoría del RADAR y sus primeras implementaciones prácticas datan del año 1935, pero es en el

año 1940, con la invención del magnetrón, cuando el RADAR adquiere la dimensión y utilidad práctica que hoy se le conoce

Estos primeros sistemas eran de onda continua (CW) y fueron emplazados sobre la costa del Canal de la Mancha por los Ingenieros de la **Royal Air Force** obedeciendo a las necesidades bélicas del momento. Eran sistemas de doble antena fija, pues el RADAR pulsado con antena giratoria, llegaría algunos meses más tarde. En ambos casos, y debido a la tecnología circuital de Frecuencia Ultra Elevada (UHF) de la cual se disponía (lámparas de alto vacío de emisión termoiónica conocidas como “válvulas”) y teniendo en cuenta el nivel de señal “eco” necesario para validar un “blanco”, (estrictamente relacionado con la sensibilidad de los receptores) se hacía imprescindible la utilización de grandes potencias del orden de los cientos de kilowatts.

Fue en aquellos primeros operadores de RADAR de la Royal Air Force, inconscientemente expuestos a altos campos electromagnéticos provenientes de las antenas, donde se pudieron verificar los primeros efectos adversos a la salud atribuidos a estos campos electromagnéticos. La estadística era simple, la mayoría de ellos presentaba disfunciones visuales, reproductivas y sensaciones de calor intenso, lo cual luego de los primeros estudios arrojó una de las conclusiones más sólidas y aún vigentes sobre el tema: la existencia de **“efectos térmicos”**.

Mas de diez años después (hacia 1956), y del otro lado de la “cortina de hierro” se verificaba otra situación preocupante en el extremo inferior del espectro electromagnético (50/60Hz). Observaciones sobre la alteración en el “comportamiento” de los animales y aparentes cambios en la reproducción de los mismos, en particular aquellos que habitaban bajo las líneas de transporte de energía eléctrica en las extensas estepas de la antigua Unión Soviética, llamaron la atención de los científicos Soviéticos

Dado que la proporción era llamativa, el entonces gobierno Soviético, decidió comenzar un minucioso y extensivo programa de investigación científica que involucraba el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos tanto en seres humanos como en animales. Como los niveles de campo electromagnético medidos eran bastante pequeños, éstos no eran capaces de provocar elevación térmica alguna en los tejidos biológicos (a diferencia de los campos emitidos por los RADARes). Por tal motivo, a los efectos asociados a campos electromagnéticos de baja intensidad se los denominó **“efectos no térmicos”**.

Estos efectos, a veces denominados, “efectos etológicos” (alteraciones en las costumbres o en el comportamiento), fueron sostenidos por los científicos Soviéticos (actualmente Rusos y otros), y rechazados históricamente por la mayor parte de la comunidad científica internacional que investiga las RNI, debido a la escasa repetición de ciertos resultados (pilar del método científico). Sin embargo la polémica continúa abierta aún hoy, y son numerosos los estudios científicos que buscan corroborar la existencia de los efectos “no térmicos”, fundamentalmente a largo plazo. Estos estudios se conocen como estudios de bajo nivel de exposición (a las RNI) pero de largo plazo (Long-time, low level exposition). Atendiendo a que los mencionados estudios están

desarrollándose actualmente, y que los resultados podrán evaluarse durante los próximos diez o quince años, los principales organismos internacionales dedicados a la investigación de las RNI has adoptado distintas *políticas de manejo de los riesgos*, que se presentarán, en la sección correspondiente.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Magnitudes y Unidades

Las Radiaciones no Ionizantes están constituidas por una forma de energía, capaz de propagarse en el espacio libre o dentro de un material (radiarse), conocida como Campos Electromagnéticos (CEM). El campo electromagnético esta formado por dos magnitudes vectoriales llamadas: campo eléctrico y campo magnético que, en la situación más sencilla, se encuentran desfasados espacialmente 90 grados, lo cual es conocido como condición de “onda plana” (Ver Gráfico I).

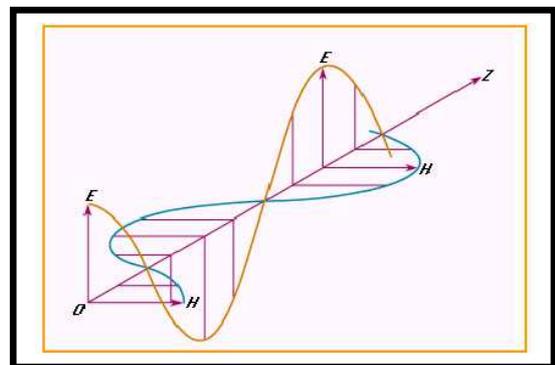
El estudio de las RNI requiere del conocimiento de las magnitudes y unidades relacionadas con caracterización del campo electromagnético o de los campos eléctricos y magnéticos en forma individual. Para ello se presentan a continuación las siguientes definiciones y sus correspondientes unidades expresadas entre corchetes [], en el sistema MKS..

▪ Magnitudes y sus definiciones

λ : **Longitud de onda**: distancia que avanza una onda en el tiempo correspondiente a un ciclo, para el caso de una señal monotonal periódica [m].

f: **Frecuencia**: Cantidad de ciclos por segundo.[Hz]

c: **velocidad de la luz en el vacío** = $3 \cdot 10^8$ [m/s]



Ver Gráfico I

$$\lambda = c / f$$

E: Magnitud vectorial Campo Eléctrico [V/m].

H: Magnitud vectorial Intensidad de Campo Magnético [A/m]

B: Magnitud vectorial Inducción Magnética, se utiliza como unidad el Tesla [T] y el Gauss [G] cuya relación es $1T=10^4$ G. Para el espacio libre (aire) podemos compararla con la intensidad de campo magnético H a través de la siguiente equivalencia: $H=0,8$ A/m equivale a $B = 1 \mu$ T.

Esta magnitud es utilizada en la medición de campos magnéticos de frecuencia industrial (50/60 Hz).

J: Magnitud vectorial densidad de corriente [**A/m²**]

ε: Magnitud compleja, permitividad eléctrica [**F/m**]. En el caso particular del espacio libre su valor es $\epsilon_0=8,85 \text{ pF/m}$.

μ: Magnitud compleja, permeabilidad magnética [**H/m**]. En el caso particular del espacio libre su valor es $\mu_0=400\pi \text{ nH/m}$.

S: Magnitud vectorial densidad de potencia o vector de Poynting, resultante de la operación vectorial **E x H** medida en [**Watts/m²**]

η: Magnitud compleja, impedancia de onda [**Ω**], resultante de la operación vectorial **E / H** que para el caso de una onda en modo transversal electromagnético (TEM o sea campos **E, H** perpendiculares entre sí) en el espacio libre posee el valor $\eta_{00} = 120\pi \approx 377 \text{ } \Omega$

SAR (Specific Absorption Rate) ó Tasa de absorción específica (en español):

Es la magnitud (escalar) fundamental que se utiliza para cuantificar la interacción entre la energía electromagnética transportada por los campos y los sistemas biológicos. Esta magnitud tiene una importancia fundamental en el análisis de los efectos de las RNI provenientes de fuentes de Radiofrecuencias y Microondas. La tasa de absorción específica mide la energía electromagnética absorbida por unidad de masa del tejido biológico en la unidad de tiempo. Haciendo referencia a las Radiaciones Ionizantes, SAR sería equivalente a la Tasa de Dosis en RI. Es una magnitud de origen "térmico", pues supone una alta correlación entre la energía absorbida y la transformación de esta, en energía cinética atómico-molecular que conlleva a un incremento de la temperatura del tejido en cuestión.

Como es de suponer, modelizar el conjunto de sistemas biológicos que constituyen el cuerpo humano es altamente complejo; en el mejor de los casos puede suponerse, con bastante error, que se trata de un dieléctrico con pérdidas, no homogéneo y altamente anisótropo. Por esto el SAR se constituye en una medida claramente estadística, pues se comprueba que la absorción específica depende no solamente de la parte del cuerpo que se considere sino que, también, sufre grandes variaciones con la frecuencia, la edad y el sexo de las personas entre otros factores. Dada la necesidad de mensurar la interacción entre campos electromagnéticos y sistemas biológicos, se ha tomado un valor promedio (determinado por complejos estudios biológicos que tienen en cuenta los distintos biotipos) a fin de poder elaborar normas de protección con los límites correspondientes.

Se retomará el tema SAR, más adelante, cuando se haga mención de las normas de protección.

Con el objeto de brindar una definición formal se recurre a “Prospección de Radiación Electromagnética Ambiental no ionizante” (Portela, Skvarca y otros) y a Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas IEEE C95.1, que definen el SAR como: “la derivada temporal del incremento de energía absorbido por un diferencial de masa contenido en un diferencial de volumen que posee una densidad ρ ”

$$\text{SAR (CAE)} = d / dt (dW / \rho dV) \quad [W / Kg.]$$

▪ Referencia de unidades

[m]: metro [kg.]: Kilogramo [s]: segundo [V]: Volt [A]: Ampere [W]: Watt [F]: Farad [H]: Henry [Hz]: Hertz [G]: Gauss [T]: Tesla [Ω]: Ohm

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.

Se define al espectro electromagnético de las RNI como el *rango continuo de frecuencias que se extiende a partir de la corriente continúa (sin incluirla), hasta frecuencias pertenecientes a la radiación Ultravioleta B, cuya energía asociada es del orden de las decenas de electrón – volts.* (Ver Gráfico).

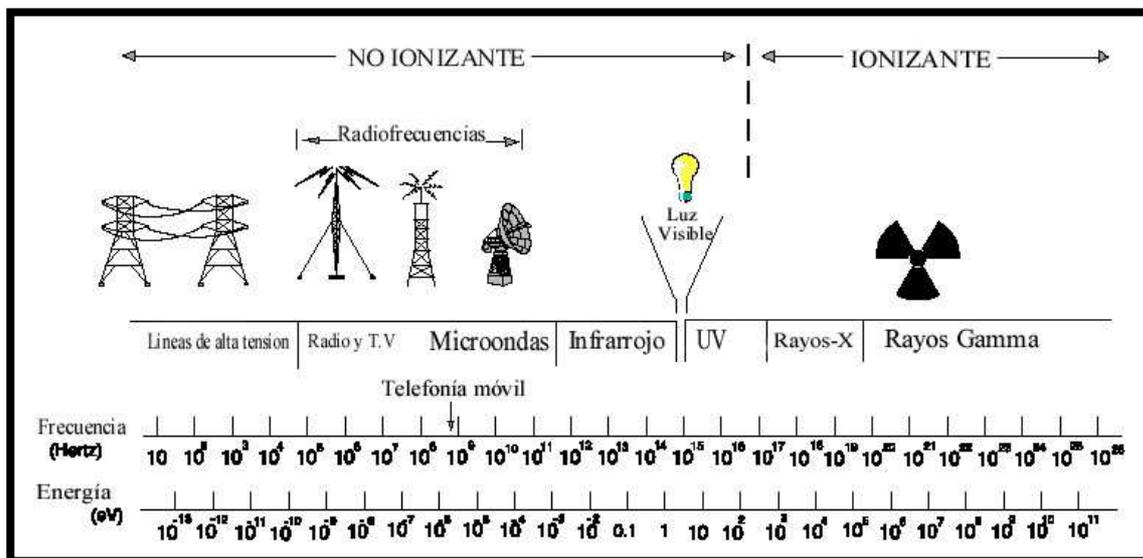


Gráfico II: Espectro electromagnético: algunos servicios fundamentales, sus energías y frecuencias. (Fuente FCC)

Regiones Y Subregiones Del Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético esta dividido en rangos de frecuencias. Estos rangos fueron establecidos, en su origen, por ciertas similitudes en el comportamiento de las señales que integran dichos rangos.

El posterior estudio detallado de señales dentro de un mismo rango espectral pudo encontrar diferencias entre señales perteneciente a un mismo rango o "banda" de frecuencias, pero a los fines prácticos es útil la división del espectro en bandas de frecuencias como las que se presentan a continuación.

Es conveniente aclarar que para las señales de mayor frecuencia del espectro de las RNI, esto es: la radiación Infrarroja, la radiación Visible y la radiación Ultravioleta, los rangos se expresan en unidades de longitudes de onda (típicamente nanómetros), y no de frecuencia por cuestiones de orden práctico (la magnitud de las frecuencias es muy elevada de orden de 10^{16} Hz).

Comenzando por las radiaciones de frecuencias más elevadas tenemos:

Radiación Ultravioleta (UV), Radiación Visible (Luz), Radiación Infrarroja (IR), Microondas (MO) y Radiofrecuencias (RF).

También suele definirse como Radiación Óptica a la mencionada en las tres primeras (UV, Visible e IR), correspondiendo a las longitudes de onda entre 1nm hasta 1.000.000 nm (1mm)

Radiación Ultravioleta (UV)

Se subdivide a su vez en tres bandas:

UV-A315 a 400 nm

UV-B280 a 315 nm

UV-C100 a 280 nm (no pertenece al espectro de las RNI)*

*Las Radiaciones UVC cuyas longitudes de onda son menores a 180nm son absorbidas por el aire, por lo tanto carecen de interés práctico para el estudio de la protección, es por eso que también puede definirse el espectro de UVC entre 180 a 280nm

Las fuentes de radiación Ultravioleta son artificiales con una sola excepción, el sol. En general todas las fuentes son de emisión no coherente, pero existen fuentes de emisión coherente conocidas como LASERes (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que se tratarán más adelante.

El uso de la radiación UV, es sumamente amplio y corriente a saber: esterilización de instrumental, purificación de aire o agua por acción germicida (UVC), lámparas de fotocopiadoras, análisis de materiales ("magnaflux"), iluminación para decoración ("luz negra"), iluminación

fluorescente (irradia en distintas proporciones radiación UV, IR y Visible), tratamiento de la soriasis, bronceado (“camas solares”), polimerización, ataques de circuitos impresos, etc...

Radiación Visible y LASERes

Este espectro visible está comprendido entre los 400 y 760 nm.

Como ya se mencionó anteriormente los LASERes pueden abarcar además del espectro visible, el de UV (p. ej. **Excímeros-Excited Dimers**) y también el de IR (p. ej. CO₂). Hasta el siglo antepasado la fuente principal de radiación visible ha sido el sol, cuyo espectro de radiación es amplio, pero en la superficie terrestre esta formado por emisiones en el espectro Visible, Infrarrojo y Ultravioleta (A y B) en distintas proporciones.

Actualmente la radiación visible y los LASERes han multiplicado sus aplicaciones gracias a la invención de los más diversos dispositivos.

Como ejemplos de aplicación de radiación no coherente podemos mencionar: iluminación incandescente (“luz caliente”) y fluorescente (“luz fría”), activación de reacciones químicas fotosensibles, cine, televisión, VDU’s (**V**ideo **D**isplay **U**nits), etc...

Como ejemplo de aplicación de radiación coherente (LASER) agregamos: bisturí, punteros, impresión, dispositivos lectores de datos, herramientas industriales de corte y perforación, sistemas militares de guiado, emisores para cables de fibra óptica, etc..

A fin de categorizar los dispositivos LASER, por su potencia asociada, y por ende sus riesgos, se presenta la siguiente clasificación:

CLASE 1 Dispositivos de riesgo insignificante (Barras lectoras en cajas registradoras)

CLASE 2 Bajo riesgo, baja potencia, menor de 1mW (Punteros Láser)

CLASE 3a Bajo riesgo, potencia media entre 1 y 5 mW (Lasers Guía en Oftalmología).

CLASE 3b Riesgo moderado, potencia media menor de 0,5 W. (Telemetría y Medicina)

CLASE 4 Alto riesgo y gran potencia, mayor de 0,5 W. (Láseres Quirúrgicos e Industriales)

Radiación Infrarroja (IR)

Se subdivide en tres bandas:

IR-A 760 a 1.400 nm

IR-B.....1.400 a 3.000 nm

IR-C.....3.000 a 1.000.000 nm

También se llama Infrarrojo Cercano a la banda entre 760 y 3.000 nm (por estar cercano al espectro visible), Infrarrojo Medio a la que se extiende desde 3.000 a 30.000 nm e Infrarrojo Lejano a la porción desde 30.000 a 1 millón de nm.

Las aplicaciones de la radiación Infrarroja son variadas, pero la mayoría de ellas están relacionadas con la necesidad de producir calor, a saber: activación de procesos químicos o bioquímicos, procesos de fusión, calefacción, sistemas de detección de cuerpos a distintas temperaturas, comunicaciones ópticas de corto alcance, etc...

Radiofrecuencias (RF) y Microondas (MO)

El espectro de las Microondas (MO) se extiende desde los 1GHz (aprox.) hasta los 300GHz, a su vez está dividido en 3 bandas:

Extremadamente Alta Frecuencia (EHF en inglés) de.... 300 a 30 GHz - (1 a 10 mm de longitud de onda).

Súper Alta Frecuencia (SHF en inglés) de..... 30.0 a 3.0 GHz - (10 a 100 mm).

Ultra Alta Frecuencia (UHF en inglés) de3.0 a 0.3 GHz - (100 a 1000 mm).

Las Microondas tienen sus aplicaciones fundamentalmente en el campo de las comunicaciones civiles y militares, fijas y móviles, a saber: sistemas de Telefonía Celular Móvil, "trunking", RADARes, enlaces de datos terrestres y satelitales

El rango del espectro de Radiofrecuencia (RF) se divide en las siguientes bandas:

Muy Alta Frecuencia (VHF en inglés) de.....300 a 30 MHz - (1 a 10m de longitud de onda).

Alta Frecuencia (HF en inglés) de.....30 a 3 MHz - (10 a 100 m).

Frecuencia Media (MF en inglés) de.....3 a 0.3 MHz - (100 a 1000 m).

Frecuencia Baja (LF en inglés) de.....30 a 300 kHz - (1000 a 10000 m).

Frecuencia Muy Baja (VLF en inglés).....30 a 3kHz (10 a 100km.)

El espectro de Radiofrecuencias es utilizado para los servicios de Radiodifusión, Televisión, comunicaciones móviles y fijas de distancias cortas, medianas y largas, radio-enlaces punto a punto o punto multipunto, comunicaciones por rebote en la ionosfera y comunicaciones subacuáticas (fundamentalmente en la banda de VLF), aplicaciones en hornos y soldadoras industriales, fuentes de alimentación conmutadas ("switching") etc...

Radiación de Frecuencias Extremadamente Bajas (ELF)

Espectro electromagnético de Frecuencias Extremadamente Bajas: esta porción del espectro se divide en las siguientes bandas

Frecuencia de Voz (VF en inglés).....3000 a 300Hz (100 a 1000 km. de longitud de onda)

Frecuencia Extremadamente Baja (ELF en inglés).....300 a 30Hz (1000 a 10000 km.)

Frecuencia Sub-Extremadamente Baja (SELF).....menores de 30Hz

En esta región del espectro se debe destacar que las frecuencias de 50Hz y 60 Hz (dentro de la banda de ELF), son las utilizadas por los distintos países para la generación de energía eléctrica de uso industrial y residencial.

Por lo tanto los sistemas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica y muchos de los equipos conocidos como “electrodomésticos”, son en mayor o menor escala fuentes de campos electromagnéticos de ELF.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

Efectos Biológicos y los Efectos Adversos a la Salud.

El análisis de los efectos de las Radiaciones no Ionizantes es altamente complejo, debido a las distintas interacciones, que los campos electromagnéticos puedan tener con el tejido biológico, dependiendo fundamentalmente de su frecuencia, su potencia asociada y las características del tejido irradiado. Es por ello que se hace necesario una distinción terminológica básica:

Efectos Biológicos: (Definición OMS F/S N182) tienen lugar cuando la exposición a campos EM produce un cambio notable o detectable en un sistema biológico.

Efectos adversos a la Salud: (Definición OMS F/S N182), tienen lugar cuando un efecto biológico está por sobre el rango que el propio organismo puede compensar y de esta manera conllevan algún detrimento en la condición de salud.

Estudios Epidemiológicos sobre Efectos de las RNI.

Los estudios y análisis de las interacciones entre las Radiaciones no Ionizantes y los tejidos biológicos-en seres humanos con el fin de evaluar los potenciales efectos biológicos o nocivos de las RNI siguen dos caminos. El primero consiste en la irradiación de células o tejidos biológicos “in Vitro” (probetas) o “in vivo” (irradiación de seres humanos o animales). El segundo esta ligado al seguimiento y control estadístico de personas (voluntarios), y que convenientemente seleccionadas, sean representativas de la situación de exposición que se pretenda analizar. Esto último se conoce como estudios epidemiológicos y son una herramienta fundamental para evaluar

el potencial impacto de los distintos tipos de Radiaciones no Ionizantes sobre los diferentes tipos de grupos de personas que se deseen estudiar.

Es la epidemiología, toda una ciencia médica en si misma, la rama de la medicina que se encarga de estas observaciones mediante la aplicación de las leyes estadísticas clásicas.

La “estadística médica”, como también se la llama, no es más que la utilización de las mismas leyes de la estadística de señales solo que aplicadas a experimentos poblacionales cuyas salidas pueden ser: tasa de supervivencia, mortalidad, dosis máxima permitida, sensibilidad a un fármaco, toxicidad, etc. A manera de ejemplo, podemos citar los métodos estadísticos más utilizados por la medicina, a saber: test “t”, test chi-cuadrado, test de Wilcoxon o Mann-Whitney U.

La diferencia sustancial que plantea la estadística médica, respecto del uso corriente de la estadística en Ingeniería de señales, es la interpretación de los resultados.

Así, aparece el concepto de “significancia estadística e importancia clínica” que puede ser ilustrado por un simple ejemplo de probabilidad clásica: tenemos un universo de 100 pacientes con la misma patología (95% riesgo de muerte) y el mismo biotipo y probamos en ellos la *performance* de un nuevo fármaco para tratar dicha patología. Transcurrido el período de evaluación del experimento se verifica que 15 pacientes han sobrevivido y la patología aparece controlada.

Estadísticamente se aprecia que el medicamento posee un 15% de efectividad, lo cual en principio, no parecería ser, sino un fracaso. Sin embargo la interpretación clínica es muy distinta. “Todos los pacientes estaban prácticamente destinados a morir y la acción del fármaco pudo salvar la vida de 15 de ellos, es un éxito.”

Esta diferencia de apreciaciones es importante a fin de conocer los números que maneja la estadística médica para sostener sus apreciaciones e inferencias.

El otro aspecto, importante a considerar para la estadística médica, es la constitución de un **universo representativo del fenómeno a evaluar**, y que al momento de la comparación de estudios similares, los universos resulten no representativos. Un ejemplo de esta necesidad se encuentra ante ciertas afirmaciones tales como, “incremento del 100% de casos de muerte por la patología XX en el último año”, y el estudio que sustenta dicha afirmación cuenta con dos víctimas el último año y una el anterior.

Como se ha mencionado con anterioridad los efectos de las RNI dependen de diversos factores, de los cuales la frecuencia de la radiación es uno de los más importantes. Por tanto se describirán a continuación los efectos y estudios que poseen validez a la fecha de la presente publicación, clasificados según sus frecuencias en el espectro electromagnético.

Efectos de las Radiofrecuencias y Microondas (100 kHz-300 GHz)

La evaluación de los efectos biológicos y nocivos, en el espectro de Radiofrecuencias y Microondas nos remite, de manera directa, a la evaluación del comportamiento de la tasa de absorción específica SAR. Como se mencionó anteriormente la tasa de absorción específica (SAR) es una cantidad que sufre variaciones con distintos parámetros, a saber: la frecuencia del campo en cuestión, la parte del cuerpo irradiada, la edad y sexo del individuo entre los más importantes. A su vez fijando uno de ellos, por ejemplo la frecuencia, la tasa SAR será dependiente de la variación de los parámetros restantes. Es por estas razones y a fin de poder cuantificar la absorción, que se toma una medición promedio de un ser humano promedio.

Por tal motivo, para casos puntuales (por ejemplo: neonatos, mujeres embarazadas, ancianos, o personas sometidas a ciertos tratamientos médicos con fármacos especiales) la tasa de absorción debe ajustarse por algún factor de seguridad restrictivo, que compense la ponderación media antes mencionada.

Mediante el Grafico III se puede apreciar la variación de la tasa de absorción según la parte del cuerpo en cuestión; podrían obtenerse, de manera similar, la variación del SAR con la frecuencia para distintas edades.

Como se ha explicado el análisis de las variaciones del SAR y sus distintas interacciones vuelven necesario un estudio segmentado a fin de considerar los distintos fenómenos.

Se comienza por enumerar las distintas interacciones que pueden manifestarse por la absorción de energía electromagnética en el cuerpo humano.

Se reconocen como mecanismos de interacción principales: Interacción macroscópica, Interacción microscópica (molecular), Interacción celular, Interacción a través de fuerzas inducidas por el campo y otros tipos de Interacción intracelular actualmente bajo estudio.

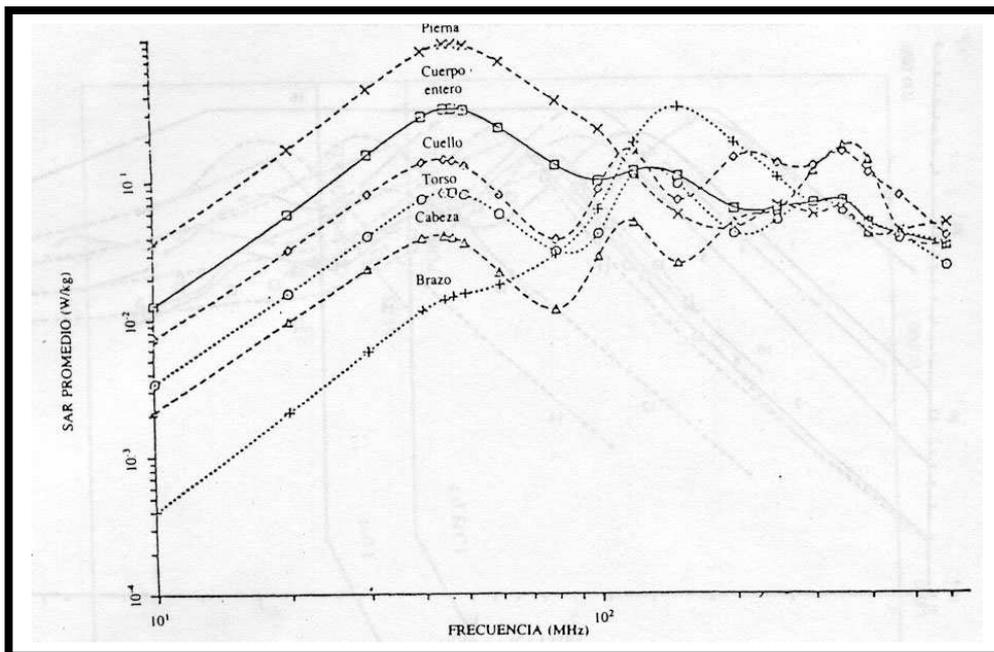


Grafico III: Variación de la tasa SAR promedio en función de la frecuencia y la zona del cuerpo radiada.

Dado que el mecanismo macroscópico (“térmico”) es el principal para la elaboración de la normativa vigente, desarrollaremos de manera sencilla, este punto. La interacción macroscópica puede explicarse por las leyes de la termodinámica, esto es: la energía electromagnética se transforma en energía térmica, debido a la característica dieléctrica que poseen los tejidos del cuerpo humano (aproximadamente el 75% del ser humano es agua), lo cual es cuantificable por la siguiente ley:

$\Delta T/\Delta t = k P_v$. (Hasta alcanzar la regulación de temperatura que citaremos a continuación)

Donde la ecuación expresa que el incremento térmico por unidad de tiempo es proporcional a la potencia absorbida (P_v) por el tejido, donde la constante k depende de la densidad y calor específico del tejido. Dentro del cuerpo esta energía térmica cuenta con dos mecanismos de propagación; convección y conducción. La conducción esta dada por el gradiente de temperatura, y la convección se produce por medio de la circulación sanguínea.

La función del sistema circulatorio es aquí de suma importancia, pues vemos que es el vehículo que permite el transporte de calor desde la fuente caliente hacia la fuente fría, **siempre y cuando la fuente fría exista y permita la disipación necesaria** para mantener una regulación de la temperatura corporal, que para un ser humano no debiera superar la temperatura normal (36.4° C) en algunas décimas de grado centígrado.

Como ya se ha mencionado, la absorción, depende (entre otros factores) de la parte del cuerpo radiada y por consiguiente es de esperar que donde la absorción es mayor exista suficiente caudal sanguíneo, para que por medio del mecanismo de convección, el calor pueda disiparse en otra parte del sistema circulatorio, que por su temperatura de contacto con el ambiente, se constituya en la “fuente fría”.

He aquí las primeras dos limitaciones para la existencia del mecanismo de regulación térmica:

1. La existencia de una parte del cuerpo que se constituya en la “fuente fría”.
2. La necesidad que aquellas zonas de mayor absorción cuenten con el caudal sanguíneo suficiente.

Si esto no ocurriese, la zona considerada elevaría su temperatura produciendo la muerte de las células del tejido en cuestión y de no reducirse o interrumpirse la exposición, la muerte celular masiva en un tejido puede terminar con la función (vital o nó) del órgano asociado.

Esto explica las primeras consecuencias físicas en los operadores de RADAR de la RAF, pues tanto el sistema visual como el sistema reproductor masculino poseen muy poca irrigación sanguínea por medio de vasos ultrafinos, lo cual no favorece en nada, el mecanismo de convección ya expuesto.

Como se ha mencionado precedentemente la tasa SAR es dependiente de la frecuencia, por lo tanto corresponde también señalar, algunos aspectos respecto de esta dependencia.

Puede dividirse el espectro de Radiofrecuencia y Microondas, en función del comportamiento de la tasa SAR en cuatro regiones:

1. Frecuencias desde 100 kHz-20 MHz: donde la absorción en el tronco decrece rápidamente con la frecuencia (ver Grafico III) pero puede existir absorción significativa en el cuello y en las piernas.

Si el tejido presenta características conductivas, pueden aparecer corrientes inducidas en frecuencias medias (MF).

2. Frecuencias entre 20 MHz-300 MHz.: con relativa alta absorción en el cuerpo entero o en partes del mismo. Se considera un área “resonante” por ser la zona de mayor absorción.

Esta absorción esta dada por la característica dieléctrica del tejido y por la geometría del mismo, puesto que a frecuencias del orden de 70MHz, la longitud de onda asociada es de 4m y por lo tanto sus submúltiplos mitad y cuarto, están relacionados con la altura promedio de un ser humano sobre el nivel del piso. O sea, para estas longitudes de onda, el ser humano se comporta como una antena receptora ideal.

Esta correlación geométrica pondría a la persona en una situación favorable para la transferencia de la energía electromagnética desde el aire hacia el tejido biológico propio.

3. Frecuencias entre 300 MHz-3GHz.: Aparecen áreas localizadas de absorción significativa, “puntos calientes”.

4. Frecuencias por encima de los 10GHz.: donde la energía absorbida se limita solamente a la superficie corporal.

De lo mencionado precedentemente, surge el interés por conocer, un **Nivel Aceptable de la Tasa de Absorción Específica (SAR)** que para una frecuencia determinada, no conllevará efectos adversos para la salud.

El conocimiento de este valor límite, permitirá establecer luego, lo que más adelante llamaremos valores de Máxima Exposición Permitida (MEP).

Los organismos internacionales han revisado con espíritu crítico la literatura científica, en particular aquellos trabajos con hallazgos positivos y adecuada información dosimétrica que fueran reproducibles.

Las evaluaciones fueron realizadas para establecer aquellos efectos biológicos que pudiesen ocasionar una amenaza para la salud.

Exposiciones agudas, inferiores a 1 hora, a un SAR promedio menor a 4 W/kg, no producen efectos adversos en la salud.

Consecuentemente, se ha estimado, como factor de seguridad, un valor diez veces inferior del SAR como permisible (o sea 0,4W/Kg.), para exposiciones prolongadas, de días o semanas.

Sin embargo un SAR promedio en todo el cuerpo de 0,4 W/Kg., produce en un hombre de 70 Kg. una

Potencia de 28 W, lo que se considerada excesivo si se localiza en una pequeña parte del cuerpo. Por lo tanto, las evaluaciones parciales deben considerar una limitada masa de tejido, dentro de la cual no habría un excesivo gradiente de depósito de energía y temperatura.

No obstante en las normativas que fijan los valores límites para la tasa SAR, estas siempre están referidas a la absorción de un cuerpo entero promedio, pues queda claro, que no causa el mismo efecto, distribuir una potencia en un área localizada, que en todo el volumen de un cuerpo.

Durante la vida diaria, la carga térmica generada por el metabolismo en reposo, la temperatura ambiente y la actividad física varían entre 1 y 10 W/Kg.

A su vez, estudios con voluntarios sanos (Pórtela y otros) , para establecer la relación entre el SAR y la temperatura, han determinado con un SAR de hasta 4 W/Kg. en todo el cuerpo, durante 20 a 30 minutos, un incremento de temperatura entre 0,1 y 0,5 ° C, que pueden ocasionar mínimos cambios en las tasas de respiración y presión arterial.

Efectos agudos, sólo se han observado en condiciones de exposición altas, es decir significativamente superiores a los límites establecidos internacionalmente por la Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP)* en 1998.

*EL ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes) es el Organismo científico Internacional en el cual la Organización Mundial de la Salud se basa para emitir sus recomendaciones sobre Radiaciones no Ionizantes.

Nota práctica:

Si bien hasta aquí se ha mencionado a la tasa de absorción específica SAR, como parámetro de medida, de los efectos de las RNI en Radiofrecuencias y Microondas, ésta, en la realidad, es de medición poco práctica.

La medición de la tasa SAR se realiza mediante “fantomas – maniqués” que simulan el comportamiento del cuerpo humano y experimentos “in vivo” con tejidos que son irradiados y que poseen sensores implantados para el registro de la elevación térmica.

En los trabajos del campo cotidiano y práctico, lo que se mide, es la Intensidad del Campo Eléctrico (**E**) y/o la Intensidad de Campo Magnético (**H**) y/o la densidad de potencia (**S**) asociada a ambos campos en los casos de “onda plana”.

Es por esta razón que cuando se mencionan los valores límites para estas radiaciones, éstos están expresados en Volt por metro (V/m) ó en Amper por metro (A/m) ó Tesla (T), ó en Watts por metro cuadrado (o submúltiplos) (W/m^2) o (mW/cm^2).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN PARA LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

Criterios y Bases para la fijación de Límites Máximos de Exposición a las RNI

El proceso de elaboración de un estándar que fije los valores límites de exposición para las Radiaciones no Ionizantes, en las distintas regiones del espectro que se han mencionado, puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1) Existencia de estudios biofísicos y epidemiológicos con resultados repetibles y concluyentes, que puedan caracterizar, con cierta exactitud, que nivel de la Radiación bajo estudio provoca un efecto biológico y que nivel provoca un efecto nocivo sobre un ser humano (niños, adultos y personas con hipersensibilidad al tipo de radiación bajo estudio).
- 2) Conocido el nivel de campo a partir del cual se manifiestan efectos nocivos (o adversos), se toma un coeficiente de seguridad restrictivo, cuyo valor, típicamente es de 10 veces. Como ejemplo: si los efectos se manifiestan a un valor de 70 unidades, el valor límite a fijar se establecerá en 7 unidades. A éste valor de 7 unidades se lo conoce como: valor de **Máxima Exposición Permitida (MEP)**.
- 3) Se definen los entornos de aplicación. Generalmente son dos (existen otros), y se los conoce como entorno ocupacional y entorno poblacional. Estos entornos definen claramente dos aspectos: el tiempo que puede estar expuesto una persona y el grado de conocimiento sobre la exposición que la persona posee.
- 4) Así el entorno poblacional esta compuesto todas las personas (público en general) que residen en un determinado lugar y no tienen porque estar informados sobre la

exposición a las RNI ni sus riesgos asociados, y por lo tanto deben poder estar expuestos las 24Hs, todos los días, sin consecuencia alguna. De modo que, el entorno poblacional, tiene asignado un valor de Máxima Exposición Permitida, que es 5 ó 10 veces menor (más estricto) que el límite ocupacional.

- 5) El entorno ocupacional es aquel integrado por trabajadores que están expuestos un tiempo limitado por la jornada laboral (8 o 6 Hs.), que poseen entrenamiento y conocimiento sobre Radiaciones no Ionizantes, y de ser necesarias, las contramedidas adecuadas para disminuir el nivel de exposición al que están sometidos (Ej.: anteojos o ropa adecuada).
- 6) Continuidad de los estudios biofísicos y epidemiológicos sobre las RNI, que de hallar nuevos efectos biológicos o adversos, deben utilizarse para la modificación de los Estándares existentes hasta ese momento.

ANTECEDENTES PARA REGULAR LA EXPOSICIÓN A LAS RNI EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Breve reseña histórica

Lo que hoy conocemos como “Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz” tiene su origen en el trabajo intenso y de vanguardia, que se llevó a cabo en nuestro país en la década comprendida entre 1976 y 1986. Fue precisamente en el Instituto de Investigaciones Biofísicas (INDEBIO) donde el equipo encabezado por el Sr. Adolfo Portela investigó y propuso los límites que figuran en el Estándar Nacional Vigente por Resolución Ministerio de Salud, Nº 202/1995 y que actualmente están en vigencia en la Republica Argentina.

El resultado de esa década de investigación quedó plasmado en dos manuales titulados "Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante" (Vol. I y II), en coautoría con el Ing. Jorge Juan Skvarca y otros, que fueron editados, no sin esfuerzo, en el año 1988.

Recién hacia el año 1995 una Resolución del Ministerio de Salud (la 202/95) tuvo en consideración “Que los efectos biológicos de las radiaciones no ionizantes, radiofrecuencias y microondas con frecuencias entre los 100 kHz. y los 300 GHz han sido ampliamente estudiados y requieren el establecimiento de Estándares Nacionales de Seguridad para la exposición a las mismas”. Y por lo tanto resolvió:

“..ARTICULO 1°.- Apruébase el Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz, conforme lo establecido en el "Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz" y "Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición", Volúmenes I y II respectivamente de **Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante**, publicaciones encuadernadas por la Imprenta del Congreso de la Nación, que se hallan en poder de la Secretaría de Salud del Ministerio de Salud y Acción Social y no pueden adjuntarse como anexos de la presente debido a su voluminosidad..”

Esta Resolución a la vez fue ratificada por la Resolución de la Secretaría de Comunicaciones (SC) N° 530/2000 que a su vez agregaba oportunamente que los Manuales “ ...pueden ser consultados en el Centro de Información Técnica de la COMISION NACIONAL DE COMUNICACIONES y en la SECRETARIA DE SALUD DEL MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL...”..pues las mencionadas publicaciones se habían transformado en un objeto de difícil hallazgo.

Cabe destacar que los valores límites, que a continuación se grafican (Gráfico IV), coinciden con las normas más avanzadas del mundo; por ejemplo la Australiana (año 2001).

La “única” diferencia es que el estándar Nacional fue elaborado 20 años antes, ahí estuvo la visión del Sr. Adolfo Portela y su equipo.

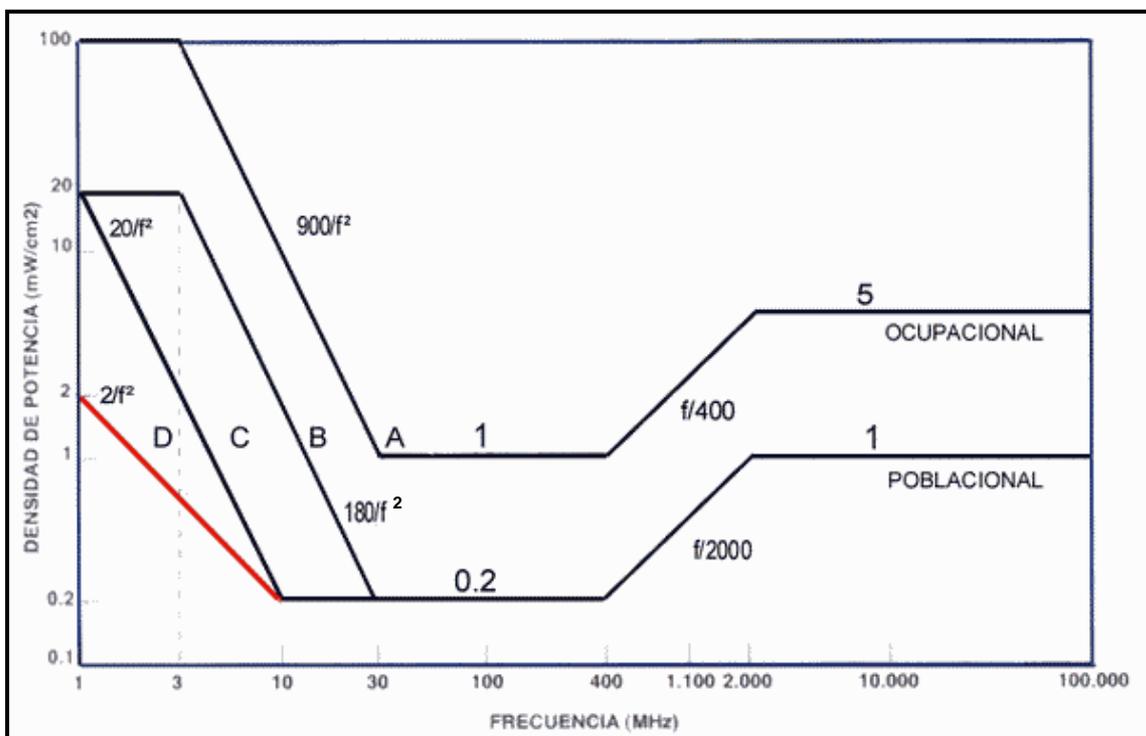


Gráfico IV: Valores límite para exposición de seres humanos a Radiofrecuencias y Microondas, establecidos por Resolución MS 202/1995 y Ratificados por resolución SeCom 530/2000 (Ambas en vigencia).

Observaciones al Gráfico IV:

La Curva “A” representa los valores límite de exposición para entornos ocupacionales, esto es una exposición diaria de 8Hs.

Las Curvas “B” y “C” representan los valores límites de exposición para entornos poblacionales, esto es una exposición diaria de 24Hs., a entrar en vigencia con el aumento planificado de nuevas fuentes radiantes, que significaran un mayor nivel de exposición para el público.

La Curva “D” solo se aplica a entornos poblacionales cercanos a campos de antenas (de Frecuencias Medias).

Los valores para contrastar con las curvas deben surgir del promedio medido durante 6 minutos para entornos ocupacionales y de 30 minutos para entornos poblacionales

f: Frecuencia medida en MHz

NORMAS OFICIALES DE REGULACIÓN DE RNI EN LA REPÚBLICA ARGENTINA.

Ámbito Poblacional (Ambiental)

En términos poblacionales (o ambientales) existen las siguientes normativas de interés:

Para el caso de las líneas de alta y media tensión y sus estaciones y subestaciones asociadas, los límites de exposición están establecidos por la **Resolución Secretaría de Energía 77/1998**, siendo éstos de 25 μ T para el Campo Magnético y de 3kV/m para el Campo Eléctrico. Siendo rigurosos en la interpretación de la presente norma, estos valores solo son válidos para sistemas cuya tensión de maniobra sea igual o mayor a 13,2kV. La duda surge de inmediato ¿Qué sucede para sistemas de baja tensión como los domiciliarios y comerciales?, pues bien, existe un vacío normativo y es de uso y costumbre utilizar los límites de la norma ya citada o referenciarse en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que para este caso en particular recomienda unos límites algo superiores a los valores nacionales (200 μ T para Campo Magnético y 5kV/m para Campo Eléctrico)

Para el Caso de las Radiofrecuencias existe coincidencias de límites entre la Resolución Base MS 202/1995 ratificada por la Resolución Secretaria de Comunicaciones 530/2004 y aplicada por la Comisión Nacional de Comunicación (actual ATIC) mediante Resolución CNC 3690/2204.

Algunos distritos has elaborado sus propias normas pero siempre han respetado los valores límites ya señalados. Como ejemplo la Provincia de Buenos Aires posee una interesante norma

sobre emplazamiento de generadores de Campos Electromagnéticos, desde una perspectiva ambiental que es novedosa y merece estudiarse, esta Resolución OPDS 87/2013 también respeta los límites de exposición antes mencionados.

También la Ciudad Autónoma de Buenos Aires posee una norma sobre emplazamientos y un protocolo de medición que se encuentra en vigencia mediante Resolución APRA 343/2008, la cual también respeta los límites mencionados que a su vez están armonizados con los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Importante:

*Debido al interés actual de la población general y a la trascendencia mediática que tiene la problemática asociada a la exposición de seres humanos a RNI provenientes de señales de telefonía móvil (celular, PCS, 3G, etc), se destacan los valores MEP a las frecuencias de operación de estos sistemas. Dichos valores pueden extraerse fácilmente del gráfico anterior.

TELEFONÍA CELULAR MÓVIL (800MHz) –PCS (1800MHz)

Valores Límite:

Res. CNC 3690/2004 y OPDS 87/2013:

$S = f/2000 \text{ mW/cm}^2$ (0,425 mW/cm² a 850MHz y 0,95 mW/cm² a 1900

Ámbito Ocupacional (Trabajadores)

Resolución Ministerio de Trabajo 295/2003 (En Vigencia)

Observaciones:

* La presente resolución “*se dicta en ejercicio de las facultades concedidas en virtud de lo normado por el Decreto N° 351/79*”, que es Decreto reglamentario de la Ley 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo

*La presente normativa es la primera a nivel nacional que abarca todo el espectro de las Radiaciones no Ionizantes, partiendo desde la corriente continua (recordar que no es una radiación) hasta la radiación Ultravioleta.

*Es una resolución ***solo aplicable a entornos ocupacionales.***

*Atendiendo la importancia de la presente Resolución para Profesionales del campo de la Seguridad y la Higiene Industrial, se presentarán a continuación los valores límites que fija la misma para las aplicaciones más importantes y se hará la comparación pertinente con los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Basados en las recomendaciones del ICNIRP) para cada espectro de frecuencias.

- Valores límite para Radiofrecuencias y Microondas (100kHz-300GHz)

Observaciones:

*Dado que el espectro de Radiofrecuencias y Microondas es demasiado amplio, la comparación se realiza mediante la superposición de los gráficos que representan los valores de Máxima Exposición Permitida (MEP) en función de la frecuencia.

*Sobre el gráfico (ver Gráfico V) se han señalado algunas de las aplicaciones mas comunes en las frecuencias que corresponde.

*La gráfica Roja corresponde a los valores MEP establecidos por la Resolución MT 295/2003. La gráfica Negra corresponde a los valores MEP establecidos por la Resolución MS 202/1995 que son coincidentes con los recomendados por OMS/ICNIRP.

*En la zona Verde, los valores MEP, coinciden.

Gráfico comparativo. Resolución MT295/2003-Valores OMS/ICNIRP

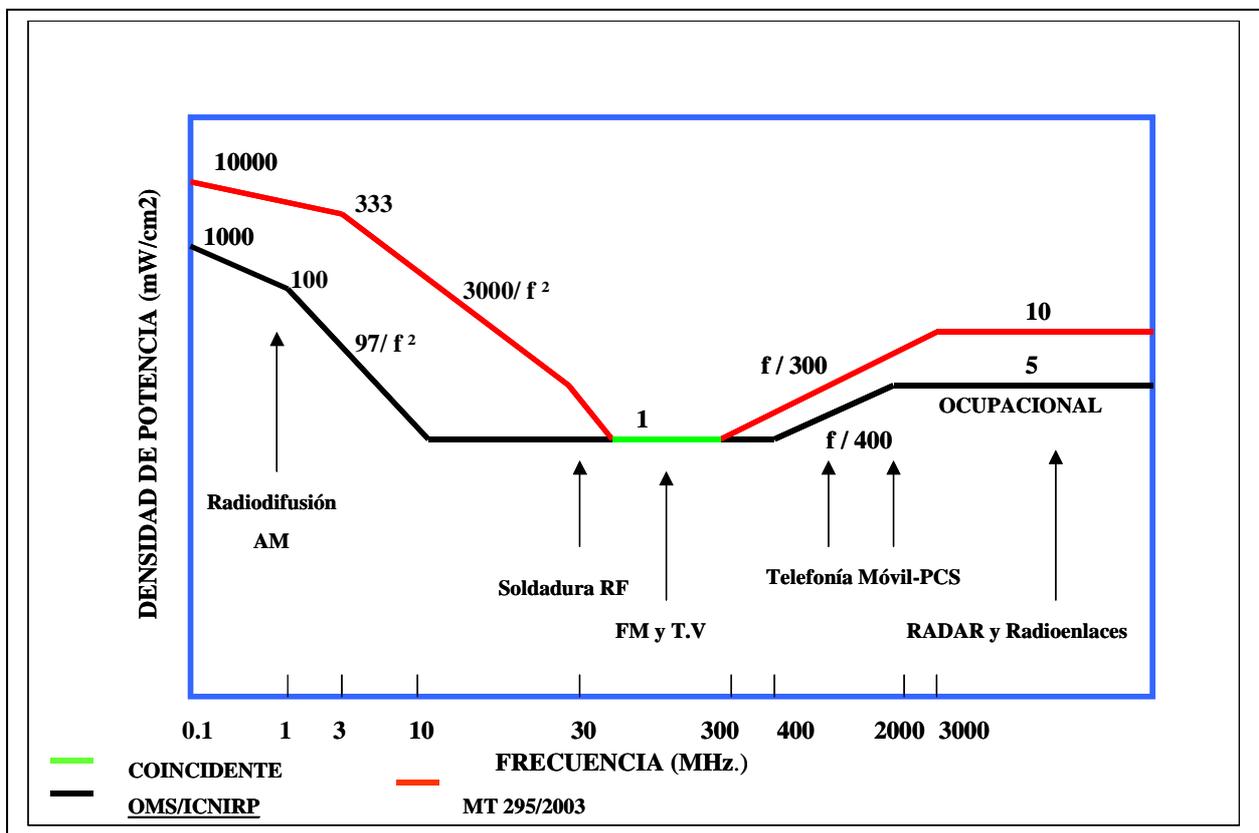


Gráfico V. Gráfico comparativo de los valores MEP de Res MT 295/2003 con los valores MEP de OMS/ICNIRP

Tabla para el cálculo de los valores límites de Campo Eléctrico, Campo Magnético y Densidad de Potencia que se ilustraron en el grafico anterior (Gráfico V)

Frecuencia	Densidad de potencia (mW/cm ²)	Intensidad del campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo Magnético H (A/m)	Tiempo medio E ² , H ² ó S (minutos)
30 kHz - 100 kHz	-	614	163	6
100 kHz - 3 MHz	-	614	16,3 / f	6
3 MHz – 30 MHz	-	1842/f	16,3 / f	6
30 MHz – 100 MHz	-	61,4	16,3 / f	6
100 MHz- 300 MHz	1	61,4	0,163	6
300 MHz - 3 GHz	f/300	-	-	6
3 GHz - 15 GHz	10	-	-	6
15 GHz - 300 GHz	10	-	-	616.000/f ^{1,2}

f: frecuencia en MHz

PERCEPCIÓN, ANÁLISIS Y POLÍTICAS DE MANEJO DE RIESGOS ASOCIADOS A LAS RNI

Frente a la exposición, cada vez más notoria, de seres humanos, a RNI, ha surgido la necesidad de establecer criterios de control de la exposición, aún cuando el nivel de ésta cumpla con los estándares internacionales actualmente en vigencia. Esta circunstancia se fue haciendo más evidente por la creciente demanda de la población sobre respuestas concretas vinculadas a los efectos de las RNI. La ausencia de éstas ha incrementado la ansiedad y en muchos casos dio lugar a conclusiones apresuradas y erróneas, sin sustento científico alguno.

Ante esta circunstancia cobraron utilidad tres criterios que buscan limitar la exposición (fundamentalmente poblacional).

Estos son:

Principio ALARA: criterio tomado de las Radiaciones Ionizantes y que busca la disminución de la exposición a niveles “tan bajos como sea razonablemente alcanzables”.

Principio de Precaución: buscar la disminución de la exposición, hasta tanto puedan encontrarse las respuestas científicas que aún faltan.

Principio de Evitar Prudentemente: consiste en tomar las medidas económicas y simples que puedan disminuir el nivel de exposición de las personas.

Ciertamente, estos conceptos, pueden ser interpretados con la subjetividad necesaria como para justificar medidas extremas, pero esto no es lo buscado.

La aplicación de estos principios busca disminuir la exposición innecesaria de las personas, y lograr convivir con los sistemas que provocan las RNI. A nadie se le ocurriría vivir sin electricidad y sin comunicaciones. Simplemente debe adoptarse una adecuada política de emplazamientos de los sistemas para evitar exponer personas de manera innecesaria.

También hay conciencia que deben preservarse instalaciones vinculadas a la salud y establecimientos educativos (ver Informe Stewart, 2000). Estos son algunos de los ejemplos, donde la aplicación de las políticas de manejo de los riesgos debe realizarse con responsabilidad y ética profesional.

A continuación se presentan algunas Observaciones referidas a las Comunicaciones de Telefonía Móvil.

Sobre la preocupación pública respecto de la Telefonía Móvil.

La preocupación por los potenciales efectos que causaría la telefonía móvil, es sin dudas, la arista más conocida de las Radiaciones no Ionizantes. Es cierto que los medios de comunicación se han encargado de reflejar y amplificar esta problemática, y en menor medida lo han hecho con los tendidos de energía eléctrica.

Conviene empezar por una sencilla descripción del sistema de Telefonía Móvil. Este sistema posee dos puntas, una, las radiobases (torres con antenas) que pueden verse en las ciudades y la otra el teléfono móvil que llevan las personas (Ver Gráfico VI).

La idea del sistema, en una ciudad, es que cada “celda” provea tráfico a una distancia del orden de los 300m a su redonda. En general las celdas están divididas en 3 sectores de 120° de cobertura donde cada uno de ellos debería poder atender menos de 100 abonados cada uno.

Evidentemente este radio de cobertura, hace necesaria la instalación de un número de antenas importante, muchas veces difíciles de disimular (Ver Fotos I y II), para poder brindar cobertura, sobre todo si el perfil de construcción de la ciudad es complejo, ya sea por la altura de sus obstáculos, como por el material que están contruidos los mismos. Evidentemente el impacto visual de las antenas, incomoda a cierta parte de la población y esto sumado a la difusión de información NO CIENTÍFICA (al menos a la fecha de redacción de este apunte, año 2015) que pretende vincular los teléfonos móviles con el cáncer, no ha hecho más que generar airadas protestas por diversos grupos denominados “ambientalistas”.

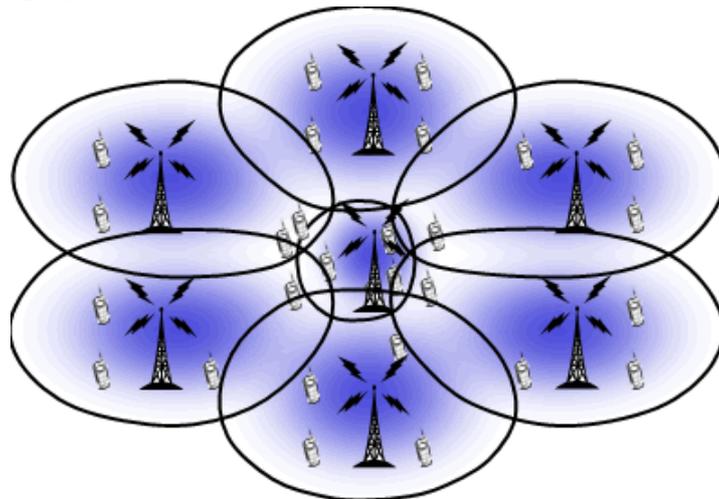


Gráfico VI: esquema del sistema celular



Foto I: Antenas montadas en Torre "Autosportada"



Foto II: Antenas montadas en Torre "monoposte"

Si bien las radiobases, transmiten con una potencia que puede ser 1000 veces superior a la del teléfono de mano, esta radiación está localizada en las antenas transmisoras y solo una muy pequeña parte es la que interactúa con las personas que transitan por la calle.

La porción de señal proveniente de la radiobase que incide sobre el cuerpo humano puede ser hoy día de 40 o 50 (o más) veces menor que la energía que genera el propio teléfono, cuando se lo utiliza para realizar o contestar una llamada. Por lo tanto una primera conclusión sería que la preocupación no debe centrarse en las radiobases, sino, más concretamente en los equipos de telefonía móvil; más aún, del total de radiaciones no ionizantes de radiofrecuencia que suele medirse en un gran ciudad (mas de 300.000 habitantes) MENOS DEL 20% PROVIENE DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL, SIENDO LA PORCIÓN MAS IMPORTANTE LAS RADIACIONES ASOCIADAS A LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN POR AM Y FM, PERO ESTO PARECE ESTAR FUERA DE LA PREOCUPACIÓN DEL PÚBLICO (Ver Gráfico VII)

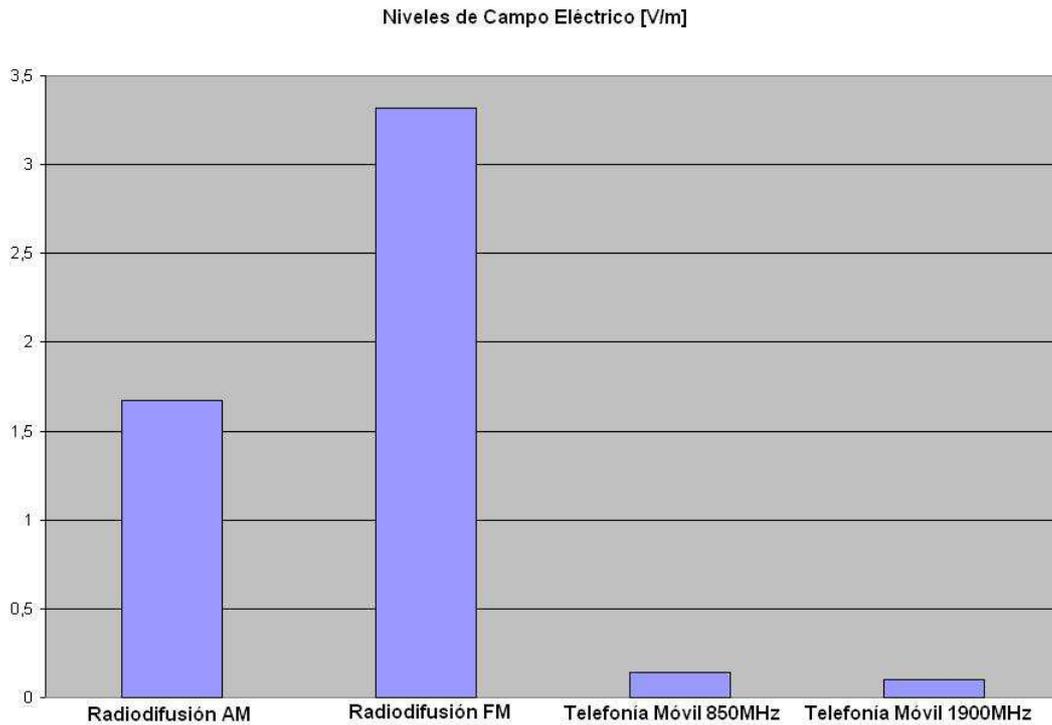


Gráfico VII: Niveles de Campo por Servicio, para la Ciudad de Buenos Aires (horario laboral)

El Gráfico VII, posee además otra utilidad, al ser éste el registro de una gran ciudad, estos valores pueden tomarse como valores de “cota máxima”, esto es, en ciudades más pequeñas, no solo disminuyen los niveles de Campo Electromagnético medido, sino que el PORCENTAJE CORRESPONDIENTE A LA TELEFONÍA MÓVIL ES MENOR AÚN. La razón de esta circunstancia es la menor densidad de antenas que necesita el sistema para funcionar.

Tal vez la preocupación pública por las radiobases, esté ligada más a un impacto visual, que a la radiación que éstas emiten. Por el lado del teléfono, las compañías están en una carrera de fabricar equipos cada vez más pequeños y con baterías más duraderas, circunstancia que favorece ampliamente a la disminución de potencia de los mismos. A esto se suma un creciente despliegue de lo que considera “una solución al problema de las antenas”, esto es los sistemas distribuidos, que no es más que pequeñas antenas pero en gran cantidad, lo más ocultas posibles, asociadas a equipos transceptores de potencia supuestamente menor (deben medirse), a los efectos de llegar con señal donde las macroceldas no pueden dar cobertura. Esta solución debe mirarse con atención, podría ser una salida de corto plazo, pero el crecimiento del piso de ruido electromagnético futuro, no debería dejarse fuera de control.

También debe señalarse que el teléfono móvil, junto con el secador de cabello y las camas solares (entre otros dispositivos) son las fuentes de RNI, a las que las personas se exponen por decisión propia, por lo tanto el propio usuario puede convertirse en ejecutor del Principio de Precaución.

Con la finalidad de aclarar ciertas dudas típicas respecto de los teléfonos móviles y sus posibles efectos se citan a continuación las principales conclusiones, aún vigentes, de uno de los estudios científicos más difundidos y prestigiosos a este respecto conocido como “Informe Stewart” (año 2000)

“...el balance de la evidencia hasta la fecha sugiere, que la exposición por debajo de los estándares del ICNIRP y la NRPB no causa efectos adversos en la población general...”

“...sin embargo existe ahora evidencia la cual sugiere que podrían existir efectos biológicos en exposiciones por debajo de estos estándares....esto no significa que estos efectos puedan causar enfermedad...”

“...nosotros concluimos que no es posible al presente decir que la exposición, aun a niveles bajo los estándares internacionales, no tenga efectos adversos para la salud, y la brecha en el conocimiento es suficiente como para justificar la aproximación precautoria...”

***Se recomienda la lectura del Informe Stewart, en la dirección de Internet citada en las referencias.**

Como cierre del presente apunte, y atendiendo al estado del arte al momento de la redacción (Septiembre de 2015), el autor se permite algunas reflexiones, sobre el problema de las radiaciones no ionizantes asociado al sistema de telefonía móvil.

1) Es claro que para cierto público muy sensibilizado la única solución es prescindir del sistema. Es preciso aseverar que a la fecha el consenso científico internacional no ha encontrado efectos nocivos asociados a este servicio, pero el lenguaje científico a veces confunde a los no-especialistas y entonces hablar de efectos biológicos, que no es algo nocivo en sí mismo, termina por incentivar las posiciones más extremas. Sin entrar en tecnicismos, a la fecha, la Ley de los grandes números no ha brindado, AFORTUNADAMENTE, ningún indicio de correlación entre los teléfonos móviles y el cáncer en sus diversos tipos. También debe mencionarse que los estudios, de baja exposición y largo plazo, que son difíciles de realizar por los cambios en la tecnología del sistema y por cómo se utilizan los teléfonos (antes sobre la oreja, hoy día más como pantalla táctil), siguen su curso y es de esperar que con el correr del tiempo puedan alumbrar alguna conclusión sobre el real impacto de estos campos sobre el sistema biológico.

2) Así las cosas, el problema de las RNI en los sistemas de telefonía móvil, pasa a tener un componente más importante de ingeniería social que de ingeniería técnica. Al respecto la Organización Mundial de la Salud emitió una publicación (en papel y on-line) que merece consultarse. Su título es un mensaje en sí mismo: “Estableciendo un Diálogo sobre los Campos

Electromagnético”. Sobre quienes manifiestan preocupación debe establecerse un diálogo, por más dificultoso que sea, cualquier síntoma de silencio solo convalidará las teorías más delirantes. La mencionada publicación, brinda herramientas y argumentos de comunicación e información para poder enfrentar este gran desafío hasta que la ciencia pueda acercar alguna novedad.

3) El problema de Ingeniería Electromagnética queda asociado a poseer un sistema Profesional de control y monitoreo de las radiaciones. Como pudo notarse a lo largo de éstas líneas, la disciplina no es fácil, es preciso elevar el nivel de información y sobre todo de formación de Profesionales calificados en la materia, que al presente es un bien demasiado escaso. Es deseo del autor, que al menos estas líneas puedan despertar la curiosidad de algún lector y se constituya en una puerta de ingreso al complejo mundo de las radiaciones electromagnéticas.

Por Dios y La Patria

Anibal Aguirre, en Villa Elisa, sobre el final del invierno de 2015.

Sobre el Autor:

Anibal Aguirre es Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad de Buenos Aires y Especialista en Sistemas Avanzados de Información para la Seguridad y la Defensa de la Universidad Politécnica de Madrid.

Es Personal Científico del Ministerio de Defensa y Docente Universitario de Grado y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UBA y de la Universidad Tecnológica Nacional.



GLOSARIO

Distancia de Seguridad: La mínima distancia a la que se puede permanecer, durante un periodo determinado, sin riesgo de daño para la salud.

Onda Electromagnética: Onda caracterizada por oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos.

Densidad de Potencia: En una onda viajera es el cuadrado de la intensidad del campo eléctrico dividido por la impedancia del medio, también puede definirse como el flujo del vector de Poynting.

También:

Modulo del vector Poynting en un punto del espacio por unidad de área. (Watts/m²).

Campo: Región del espacio en la cual ocurren fenómenos descritos con cantidades escalares o vectoriales.

Espacio libre: Medio ideal, homogéneo, de constante dieléctrica relativa unitaria, sin reflexión, refracción ni absorción de energía (vacío)

Región de Campo Lejano: Región en que la distribución espacial del Campo es esencialmente independiente de la distancia a la antena (si hay cuadratura espacial entre los campos E y H se la llama onda plana).

Región de Campo Cercano: Región en que la distribución espacial del Campo es esencialmente dependiente de la distancia a la antena, para antenas lineales se verifican a distancias menores a 3λ , para antenas de superficie (por ejemplo "antenas parabólicas") esta situación se verifica a una distancia de $2D^2/\lambda$ donde D es la dimensión máxima de la antena (el diámetro del paraboloide).

Microondas: Rango de RF desde 1 GHz hasta 300 GHz.

Propagación: Desplazamiento de ondas a través o a lo largo de un medio.

Potencia Pico de pulso: Potencia en el máximo de un pulso

Potencia Media: Trabajo (o Energía), dividido por el tiempo en el cual se produce o absorbe. En fenómenos periódicos, potencia promediada en un ciclo.

Potencia Instantánea: Limite de Potencia Promedio en un intervalo infinitesimal de tiempo.

Impedancia Característica: Cociente ente la onda de tensión y la de corriente en una línea de transmisión infinita de dos conductores ($Z = V/I$)

Isotrópico: De iguales propiedades en todas direcciones.

Antena Isotrópica: Antena ideal que transmite o recibe de igual forma en cualquier dirección.

Campo Magnético: Campo vectorial cuyo modulo en cada punto es la Intensidad de Campo Magnético.

Campo Eléctrico: Campo vectorial de intensidad de Campo Eléctrico o de Densidad de Flujo Eléctrico.

Energía Electromagnética: La Energía de una onda electromagnética o de un Campo Electromagnético (Joule)

Ganancia de Potencia: Razón de Potencia transmitida por una Antena a la Potencia absorbida por una Impedancia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y SITIOS DE INTERNET

“Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante” Volumen I y II, Adolfo Portela, Jorge Skvarca y otros, 1988. <http://www.radiacionesni.com.ar/descargas/>

Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. www.atic.gob.ar

ENTE NACIONAL DE REGULACIÓN DE LA ELECTRICIDAD – ENRE, Res 77/1998. www.enre.gov.ar

PROYECTO INTERNACIONAL SOBRE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS – Efectos en la Salud y el Medio Ambiente de la Exposición a Campos Eléctricos y Magnéticos Estáticos y Variables. www.who.int/peh-emf

OMS- Nota Descriptiva 193-Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles. Año 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>

RNI-Consultores Independientes. Grupo de Expertos Independientes en RNI. <http://www.radiacionesni.com.ar/>

IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to RadioFrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz (IEEE Std C95.1, 1999 Edition) <http://www.ieee.org>

U.S. Federal Communications Commission (FCC), <http://www.fcc.gov/>

Organización Mundial de la Salud, <http://www.who.int/es/index.html>

Environmental Health Criteria (EHC) 160: Ultraviolet radiation <http://www.who.int/uv/publications/EHC160/en/>

Health Protection Agency (HPA) <http://www.hpa.org.uk>

Servicio de Bioelectromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal, Madrid <http://www.hrc.es/bioelectro.html>

Environmental Health Criteria (EHC) 16: Radiofrequency and Microwaves <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc016.htm>

“Mobile Phones and Health”, Sir William Stewart.

Otros sitios de interés.

“IRPA Guidelines on Protection Against Non-ionizing Radiation” Duchene, Lakey, Repacholi

“Radiación Electromagnética”, Valentín Trainotti, Apuntes (1 al 6)

“Maximum exposure levels to radiofrequency fields —3kKHz to 300 GHz”, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

“Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields”, Robert F. Cleveland, Jr. Jerry L. Ulcek. FCC Bulletin OET 56

“Establishing a Dialogue on Risks from electromagnetic Fields” OMS -2002 http://www.who.int/peh-emf/publications/emf_handbook_spanish.pdf?ua=1 (en español)

Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP) www.icnirp.org

Russian National Committee on non-ionising radiation protection (RNCNIRP)
<http://www.pole.com.ru/>