

Capítulo 1

Introducción

Autor: Walter Gustavo Fano

Biografía



Se recibió de ingeniero electrónico y de Dr. Ing. ambos en la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Actualmente es profesor e investigador y dirige el Laboratorio de Radiación Electromagnética de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Fué profesor de la UNPSJB, del ITBA y de la EST. Escribió tres libros, y siete capítulos de libros, y publicó numerosos trabajos en revistas y conferencias técnicas. Es senior member de IEEE, fué fundador y presidente del capítulo conjunto de EMC, Antenna and Propagation de IEEE de Argentina, vicepresidente del capítulo de Broadcasting Technology de IEEE Argentina. Coordinador de la región 9 de IEEE EMC. Chair de IEEE GEMCCOM 2016, presidente del congreso IEEE AP EMC 2013, y chair of Advances in Antenna Test and Measurement IEEE 2011 y organizó numerosas conferencias. Dirigió proyectos de investigación en temas de propagación electromagnética de VLF, y actualmente dirige el proyecto: *Interacción de ondas electromagnéticas con distintos suelos, para estudiar sus propiedades eléctricas y la exploración por debajo de la superficie.*

Resumen

En este capítulo se reseña brevemente la interferencia electromagnética que se divide en interferencia artificial producida por el ser humano y la interferencia natural, que en gran medida proviene del sol y de otras estrellas. Se explica acerca de las ondas electromagnéticas, su espectro de frecuencias y se comenta acerca de las primeras transmisiones de radio que se hacían con descargas y chispas, y producían abundante ruido electromagnético. Luego se tratan las transmisiones de onda corta con los generadores de alta potencia en Argentina. Con el avance de la tecnología, el empleo de los radares, el descubrimiento del transistor y la tecnología digital se masificaron los dispositivos electrónicos, y se produjo un aumento paulatino del ruido electromagnético asociado.

Además de la interferencia artificial se encuentra la interferencias natural, como la radiación solar, los eventos solares, las fulguraciones y las tormentas solares, las descargas eléctricas atmosféricas. También se puede encontrar el ruido galáctico que es externo al sistema solar. Estas fuentes radiadas son incoherentes, no intencionales y por lo general son fenómenos de banda ancha. Se explica como se desarrolló la radioastronomía, y como fué el evento Carrington de 1859 donde se observó un evento solar importante a simple vista.

1.1. Reseña histórica

1.1.1. Ondas. Espectro electromagnético

En la naturaleza se pueden distinguir ondas como las ondas mecánicas, que son aquellas perturbaciones que viajan a través de un material o substancia llamado medio, las partículas que forman el medio experimentan desplazamientos de varios tipos, dependiendo de la naturaleza de la onda, como habitualmente se puede observar cuando se arroja una piedra en una pileta, que se genera una perturbación en la superficie del líquido por dicha piedra, luego se forman circunferencias concéntricas que se van ampliando con el transcurso del tiempo, es decir que las ondas se propagan.

En el caso de un pistón que ejerce presión en un líquido, los movimientos de las partículas del medio van y vienen a lo largo de la misma dirección en que viaja la onda, y por eso se denominan ondas longitudinales. Si se tiene una cuerda de un instrumento musical como la guitarra, que vibrará a una determinada frecuencia de acuerdo a la presión que tiene la cuerda, las secciones sucesivas de cuerda pasan por el mismo movimiento que se le dio hasta el final de la cuerda, en sucesivos momentos posteriores, los desplazamientos de la cuerda (medio) son perpendiculares, por lo tanto estas se denominan ondas perpendiculares [1].

Las ondas mecánicas necesitan a la materia para propagarse, y todas

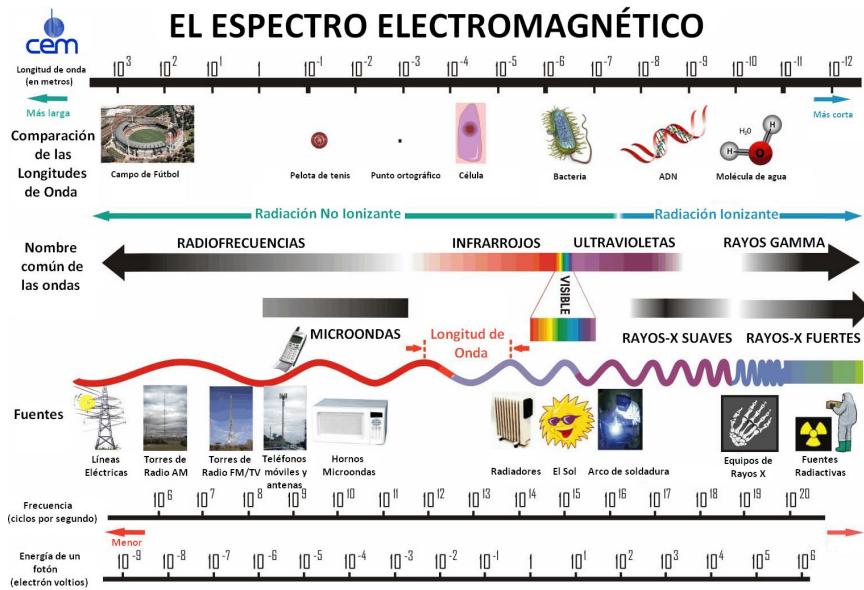


Figura 1.1: Fuente: CCEM <http://www.electromagneticos.es>

las ondas en general son solución de la misma ecuación diferencial de ondas [2]. El caso de las ondas electromagnéticas que se propagan en el aire, o en otro medio, se pueden propagar en el vacío. Sin embargo las ondas electromagnéticas, también son funciones de onda, pero no necesitan de medios materiales para propagarse, como por ejemplo las ondas de la luz que provienen del sol, éstas son ondas electromagnéticas de frecuencias ópticas en la región del visible. Las ondas mecánicas tienen una velocidad que dependerá del medio en el cual se propaga, y lo mismo sucede con las ondas electromagnéticas cuya velocidad dependerá también del medio de propagación, que para la propagación en el vacío la velocidad es la velocidad de la luz $c \cong 300,000 km/s$.

El espectro de las ondas electromagnéticas se puede observar en la Figura 1.1, que va desde muy bajas frecuencias del espectro de radiofrecuencias, cuyas longitudes de onda son del tamaño de un estadio de fútbol, y a medida que la frecuencia de la onda aumenta, pasa por el rango de frecuencias infrarrojas, ultravioletas hasta llegar a los rayos gamma. La longitud de onda se va a ir reduciendo hasta dimensiones tan pequeñas como del tamaño de una molécula. La energía asociada de la onda electromagnética será proporcional a la frecuencia mediante la constante de Planck, por lo tanto a medida que aumenta la frecuencia va aumentando la energía, así es que se habla de *radiaciones no ionizantes* desde la parte inferior del espectro hasta luz ultravioleta aproximadamente $10^{16} Hz$, y a partir de allí cuando sigue aumentando la frecuencia se las denomina *radiaciones ionizantes*, porque la energía asociada a la onda electromagnética es capaz de ionizar átomos, ver

Figura 1.1.

La International Telecommunication Union (ITU)¹, provee las asignaciones de frecuencias para el espectro radioeléctrico, como se puede observar en la Tabla 1.1, que se divide el espectro en bandas de frecuencias, para longitudes de onda que se expresan como 10^n (m), donde n varía desde valores 10 hasta -7. Las bandas de frecuencias que se corresponden a esas longitudes de onda se pueden escribir como $3 \cdot 10^m$ donde el exponente m varía desde -2 hasta 15. Las bandas de frecuencias extremadamente bajas del espectro (ELF) que se encuentran en la parte inferior de la tabla, se han agregado por la parte de la “International Union of Radio Science”(URSI). En esta Tabla 1.1, se pueden observar ademas del nombre de la banda, en la ultima columna de la derecha se encuentran los usos y aplicaciones frecuentes, que son útiles cuando se mide señales que provocan interferencia

1.2. Interferencias artificiales

La interferencia electromagnética producida por el ser humano, comienza con los primeros telégrafos inalámbricos, que eran dispositivos de banda ancha que dificultaban captar una señal clara si había más de un transmisor operando dentro del alcance del receptor. La introducción del oscilador de tubo de vacío en 1912, hizo posible las comunicaciones de radio de banda angosta y redujo en gran medida las instancias no intencionales, e interferencia entre transmisores de radio. Sin embargo, los transmisores de radio de banda angosta permitieron la transmisión de la comunicación de voz, lo que resultó en la proliferación de estaciones de radio comerciales.

1.2.1. Transmisiones de radio

Las estaciones de radio comerciales generaron ingresos, lo que impulsó el rápido desarrollo de la tecnología de radio y también, como era previsible, aparecieron ejemplos generalizados de un nuevo fenómeno conocido como *interferencia electromagnética intencional*. A medida que más estaciones de radio comerciales comenzaron a aparecer en áreas pobladas, la competencia comercial por los oyentes se volvió importante. Una forma de aumentar la participación del mercado era mejorar el contenido de las transmisiones de radio. Otra forma era transmitir una fuerte señal de RF para bloquear la recepción de la transmisión de un competidor. A medida que este fenómeno se hizo más común, diferentes países establecieron entidades para regular las transmisiones de radio intencionales [3].

En la Figura 1.2 se puede observar el transmisor sincrónico de chispas rotativa de alta potencia para radiotelegrafía de larga distancia de Fessenden

¹Recommendation ITU-R V.431-8 (08/2015) Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications

Cuadro 1.1: Espectro radioeléctrico ref: International Telecommunication Union ITU

Nombre de la banda	Abreviación	Número de banda ITU	Frecuencia y longitud de onda	Ejemplos de uso
Frec. extremadamente bajas	ELF	-1	0,03–0,3Hz 10^7 – 10^6 km	Corrientes Geomagnéticas
Frec. extremadamente bajas	ELF	0	0,3–3Hz 10^6 – 10^5 km	Resonancias de Alfven y Schumann
Frec. extremadamente bajas	ELF	1	3–30Hz 10^5 – 10^4 km	Resonancias de Schumann, comunicaciones submarinas
Frec. super bajas	ELF	2	30–300Hz 10^4 – 10^3 km	Comunicaciones submarinas
Frec. ultra bajas	ULF	3	300–3,000Hz 10^3 – 10^2 km	Comunicaciones submarinas, comunicaciones en minas
Frec. muy bajas	VLF	4	3–30kHz 10^2 – 10^1 km	Navegación, Comunicaciones con submarinos, monitores de ritmo cardíaco, geofísica
Frec. Bajas	LF	5	30–300kHz 10–1km	Navegación, señales temporales, radiodifusión de onda larga de AM (Europa y Asia), RFID, radioaficionados
Frec. medias	MF	6	300–3,000kHz 1,000–100m	Radiodifusión de ondas medias de AM, radioaficionado, balizas de avalancha
Frec. altas	HF	7	3–30MHz 100–10m	radiodifusión de onda corta, banda ciudadana, radioaficionado y comunicaciones aeronáuticas, RFID, radar sobre horizonte, automatic link establishment (ALE) / near-vertical incidence skywave (NVIS) comunicaciones de radio, radiotelefonía marina y móvil
Frec. muy altas	VHF	8	30–300MHz 10–1m	FM, teledifusión, comunicaciones por línea de vista, comunicaciones móviles y comunicaciones móviles marítimas, radioaficionado, pronóstico de radio
Frec. ultra altas	UHF	9	300–3,000MHz 1–0,1m	Televisión, horno de microondas, dispositivos de microondas, radioastronomía, telefonía móvil, redes LAN, Bluetooth, ZigBee, GPS y radios de doble vía, radios FRS y GMRS, radioaficionado, radio satelital, Sistemas de control remoto, ADSB

Cuadro 1.2: Cont. Espectro radioeléctrico ref: International Telecommunication Union ITU

Nombre de la banda	Abreviación	Número de banda ITU	Frecuencia y longitud de onda	Ejemplos de uso
Frec. super altas	SHF	10	3–30GHz 100–10mm	Radioastronomía, dispositivos de microondas, redes inalámbricas LAN, DSRC, radares, comunicaciones satelitales, CATV y TV satelital, DBS, radioaficionado, radio satelital
Frec. extremadamente altas	EHF	11	30–300GHz 10–1mm	Radioastronomía, sensado remoto por microondas, radio aficionado, armamento, scanner de ondas milimétricas, redes inalámbricas LAN (802.11ad)
Terahertz	THz	12	300–3,000GHz 1–0,1mm	Imagenes médicas para reemplazar rayos X, dinámica molecular ultrarrápida, física de la materia condensada, espectroscopía de dominio del tiempo y Terahertz, computadores y comunicaciones por Terahertz, sensado remoto, radioastronomía
Terahertz		13	3–30THz 0,1–0,01 mm	Detección de defectos en tabletas, inspección de productos industriales, espectroscopía, caracterización de materiales, detectores de armas en aeropuertos, detección de cáncer, aplicaciones militares
Terahertz		14	30–300THz 0,01–0,001 mm	Aplicaciones militares
Terahertz		15	300–3000THz 1–0,1μm	Aplicaciones militares



Figura 1.2: Fotografía de un transmisor de chispa rotativa de alta potencia para radiotelegrafía de larga distancia de la planta transmisora de Brant Rock Massachusetts.

en la planta transmisora de Brant Rock, MA.[4].

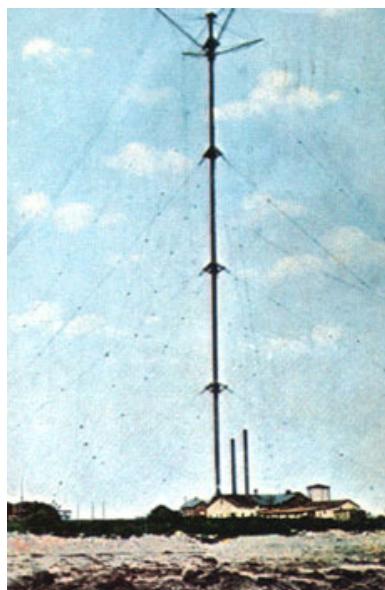


Figura 1.3: Fotografía de la antena de la planta transmisora de Brant Rock Massachusetts.

El transmisor de alta frecuencia en amplitud modulada (AM) fabricado por General Electric (la compañía de Edison) y el ingeniero eléctrico sueco Ernst Alexanderson, operaba con una frecuencia de 50 kiloherzios (kHz), mejorado por Fessenden. Con éste transmisor se llevó a cabo el primer programa radiofónico de la historia [4]. Fué Fessenden además el inventor del

generador de onda continua, que permitió reemplazar los ruidosos generadores rotativos.



Figura 1.4: Fotografía de Fessenden con los colaboradores y su hijo en Brant Rock, Massachusetts, Enero de 1906.

La República Argentina fué pionera mundial en radiodifusión, siendo el tercer país del mundo en realizar sus primeras emisiones regulares el 27 de agosto de 1920 y el primer país de habla hispana y de América Latina de radioemisiones diarias. Entre los hechos históricos relacionados con la radiofonía argentina, pueden mencionarse las primeras transmisiones deportivas de boxeo y fútbol en la década de 1920 y el radioteatro en las décadas de 1930 y 1940 [5].

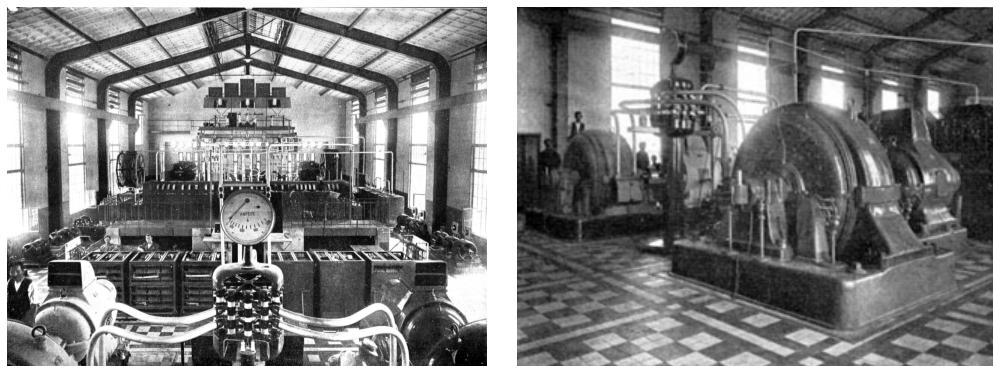


Figura 1.5: Imagen de Planta de Transradio, Buenos Aires, Argentina

En la Figura 1.5, puede observarse la planta transmisora de Transradio S.A. donde había una sala con generadores en Monte Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta era una estación transmisora de onda corta que se utilizaba para comunicaciones con EEUU y Europa, y como puede

apreciarse tenia generadores de energía propia. Esas instalaciones emitían ruido electromagnético.

Los primeros registros de problemas de interferencias, datan de 1920 aproximadamente, donde aparecen artículos técnicos de interferencia en receptores de radio que provenían desde fuentes externas u oscilaciones propias del dispositivo receptor, que fueron solucionadas en diseños mejorados. La interferencia en los receptores de radio provenía de motores eléctricos, trenes eléctricos o señales eléctricas en general[6].

1.2.2. Radar



Figura 1.6: Fotografía de "the British chain home radar".

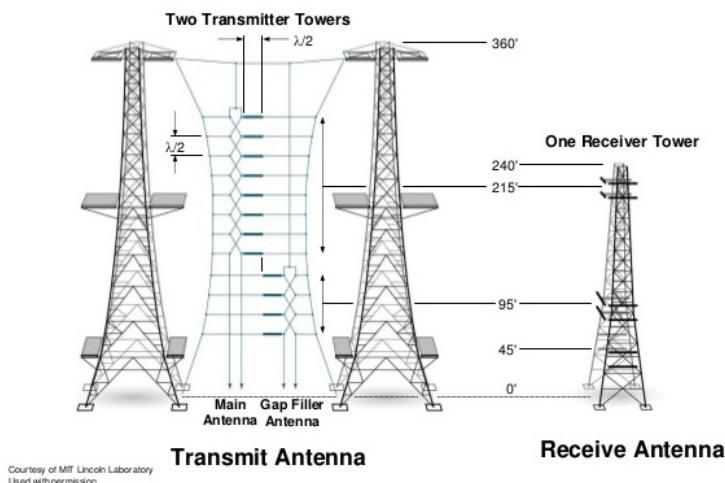


Figura 1.7: Esquema de las antenas transmisoras y receptoras de "the British chain home radar" Ref: IEEE.

Antes de la segunda guerra mundial ya se hicieron varias experiencias con interefencia de señales para detectar aviones y barcos como el Ingeniero alemán Christian Hullsmeyer en 1903, que experimentó la detección de ondas reflejadas en barcos y obtuvo la patente en 1904 [7].

L. A . Hyland en Junio de 1930 en el Naval Research Laboratory (NRL) en Estados Unidos, detectó un avión accidentalmente mientras estaba encendido un transmisor de $33MHz$ y un aparato que indicaba la dirección (direction finder) lo detectaba con el receptor.

El que pudo llevar a la práctica la invención del Radar fué Robert Watson Watt en Reino Unido [8].

Durante y después de la guerra, Watson-Watt de la Figura 1.8 ² trabajó en una estación meteorológica que utilizaba la radio para localizar tormentas eléctricas y en 1927, esta estación se fusionó con otra para formar la Radio Research Station. Watson-Watt y sus colegas usaron tubos de rayos catódicos para monitorear la atmósfera y medir su altura.



Figura 1.8: Fotografía del inventor del radar Sir Robert Watson Watt.

1.2.3. Pulso electromagnético

Los pulsos electromagnéticos (EMP) son pulsos intensos de energía electromagnética pueden ser causados por energía solar o por dispositivos nucleares que son pulsos artificiales. El EMP nuclear tiene efecto más ubicuo debido a la combinación de su naturaleza de banda ancha y gran área de cobertura. El EMP nuclear tiene el potencial demostrado de interrumpir, dañar o destruir una amplia variedad de equipos eléctricos y electrónicos.

²<https://ethw.org/RobertWatson-Watt>

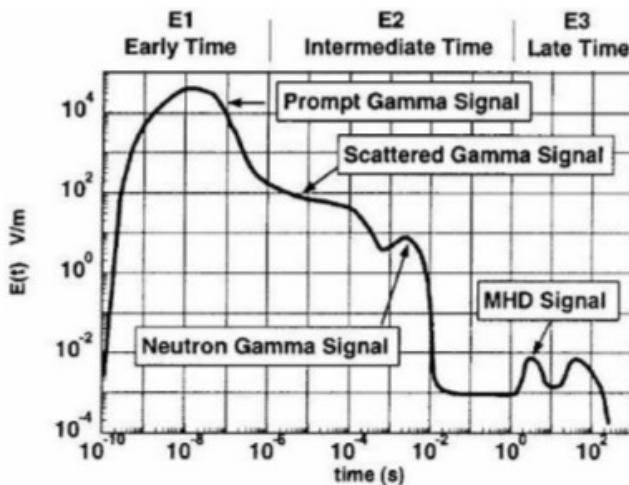


Figura 1.9: Pulso electromagnético EMP Environment: DOD MIL-STD-464A

La intensidad y la cobertura del EMP nuclear dependen del tipo y rendimiento de la cabeza nuclear, la altitud y latitud del detonación. Un dispositivo nuclear detonado a altitudes entre 30 y 400 kilómetros genera un EMP con amplitudes de decenas de kilovoltios por metro, tendrá un radio de efectos de cientos a miles de kilómetros. El EMP de gran altitud (también conocido como HEMP) puede interrumpir los sistemas eléctricos y electrónicos en general, y presenta los riesgos más altos para las redes extensas, incluidas la energía eléctrica y las comunicaciones de larga distancia.

La forma de onda de un pulso HEMP tiene tres zonas: E1, E2 y E3 como se puede observar en la Figura 1.9. La forma de onda E1 es un pulso de banda ancha rápida (tiempo de subida de hasta cientos de nanosegundos), que interrumpe los sistemas en general, computadoras, sensores y sistemas de control basados en electrónica. La forma de onda E2 es más larga y de amplitud mucho más baja que la forma de onda E1 y se manifiesta incrementando la corrientes en líneas de transmisión largas del orden de los microsegundos y milisegundos. Los pulsos de corriente E2 son comparables a las corrientes inducidas por los rayos. La forma de onda E3 es un pulso de baja amplitud y larga duración, que persiste durante cientos de segundos que induce corrientes en líneas de alimentación y comunicaciones largas, dañando los equipos conectados como: transformadores y controladores de línea de comunicación de estado sólido. Los efectos de la forma de onda E3 son comparables a los de los efectos geomagnéticos y solares [9]. En los años 50 y 60 del siglo XX, y en el contexto de la guerra fría se llevaron a cabo varias detonaciones de armas nucleares, tanto en EEUU como en la Unión Soviética, y se comprobó que realizando las detonaciones a mayor altura aparecen importantes efectos

destructivos de los pulsos electromagnéticos (EMP) en la electrónica. Este efecto disminuye notablemente si la detonación se realiza en la superficie de la tierra [10].

1.2.4. Dispositivos electrónicos

Durante la Segunda guerra mundial se incrementó el uso de dispositivos electrónicos, y la interferencia entre las radios y los dispositivos de navegación fueron en aumento. Esto se corrigió fácilmente mediante la reasignación de frecuencias de transmisión en un espectro no congestionado. Se colocaron los cables mas lejos de las fuentes de emisión de ruido, para evitar que los cables reciban o induzcan esas emisiones electromagnéticas.

Las válvulas electrónicas permitían que una señal pequeña controlara una corriente mucho más grande, estas válvulas de vacío se utilizaban en los circuitos electrónicos.



Figura 1.10: Imagen del creadores del transistor, de izquierda a derecha: John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain, ref: San José State University <https://www.sjsu.edu>

La válvula de vacío funcionaba correctamente, pero era voluminosa y consumía mucha energía eléctrica, que se disipaba como calor, lo que acortaba su vida útil. El transistor fué una solución adecuada para las necesidades de la electrónica, porque es un dispositivo pequeño, consume mucha menos energía que la válvula de vacío y disipa poco calor, por lo que el transistor falla menos que la válvula de vacío.

John Bardeen y Walter Brattain cuya foto se muestra en la Figura 1.10, descubrieron el transistor de punto de contacto de Germanio en Diciembre de 1947, que funcionó como amplificador en los Laboratorios Bell de Nueva Jersey, junto a William Shockley ³. El transistor de punto de contacto se puede observar en la Figura 1.11, ref: www.computerhistory.org.

³1947: Invention of the Point-Contact Transistor John Bardeen and Walter Brat-

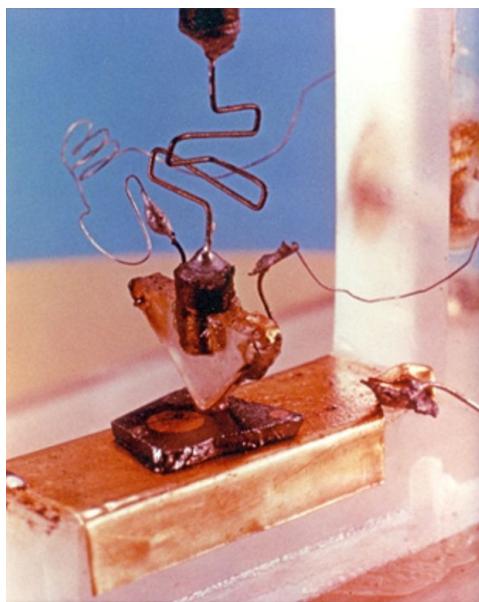


Figura 1.11: Imagen del primer transistor de punto de contacto.

William Shockley había estado trabajando en la teoría de dispositivos durante más de diez años, mientras que Bardeen y Brattain trabajaron en ingeniería y desarrollo, lo que les tomó dos años más crear el transistor de "punto de contacto". Posteriormente, Shockley diseñó el transistor "bipolar" que era superior al tipo de contacto de punto, y lo reemplazó. Así, el transistor fué, en gran parte, una creación de William Shockley.

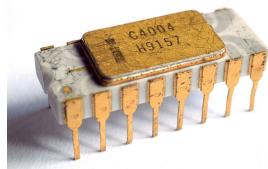


Figura 1.12: Imagen del primer circuito integrado del Microprocesador Intel 4004

En 1968, Gordon Moore y Bob Noyce dejaron la empresa Fairchild para formar Intel Corporation, una foto de los inventores se muestra en la Figura 1.13.

El enfoque de Intel en ese momento era el desarrollo de chips de memorias, pero la historia de Intel cambió para siempre con los eventos que llevaron al desarrollo del 4004 para la empresa de calculadoras Busicom.

tain achieve transistor action in a germanium point-contact device in December 1947.
<https://www.computerhistory.org>



Figura 1.13: Imagen de Gordon Moore (izquierda) y Bob Noyce (derecha) fundadores de Intel Corporation

El primer circuito integrado que se fabricó, fué el Intel 4004 completamente funcional estaba disponible en marzo de 1971, y fué anunciado en noviembre de 1971 [11]. Intel en 1974 creó el microprocesador Intel 8080, que es considerado el primer procesador de propósitos generales de la historia. En el año 1975 este microprocesador Intel 8080 es usado para construir la primer computadora personal, que hasta ese momento eran computadoras con un CPU central y terminales. En 1986 aparece el microprocesador Intel 8086 convirtiéndose en un estándar para la industria. En 1979 Bob Noyce recibe la medalla de las ciencias en EEUU y en 1983 va al salón de la fama, ya que Intel formó parte de las 100 mejores compañías de América ⁴.

Se puede observar en la Figura 1.14 el kit para armar de la primer computadora personal de la historia como lo anunciaba la revista Popular Electronics de 1975 ⁵, que empleaba un procesador Intel 8080 de 8bits.

El microprocesador, evolucionó a partir de los inventos del transistor y del circuito integrado (IC), es hoy un ícono de la era de la información. El invento del microprocesador en esta era va mucho más allá de la imaginación en el momento de crear el primer microprocesador. Desde las computadoras más rápidas hasta los juguetes más simples, el microprocesador continúa encontrando nuevas aplicaciones. El microprocesador hoy representa la aplicación más compleja del transistor, con más de 10 millones de transistores en algunos de los más potentes microprocesadores. De hecho, a lo largo de su historia, el microprocesador siempre ha impulsado la tecnología, y la búsqueda de mayor rendimiento ha llevado a mejorar la tecnología, y surgieron los microprocesadores más complejos. Los avances en los procesos de fabricación de IC, la arquitectura de la computadora y las metodologías de diseño han

⁴<https://www.intel.com/content/www/us/en/history/historic-timeline.html>

⁵<https://www.americanradiohistory.com/Popular-Electronics-Guide.htm>

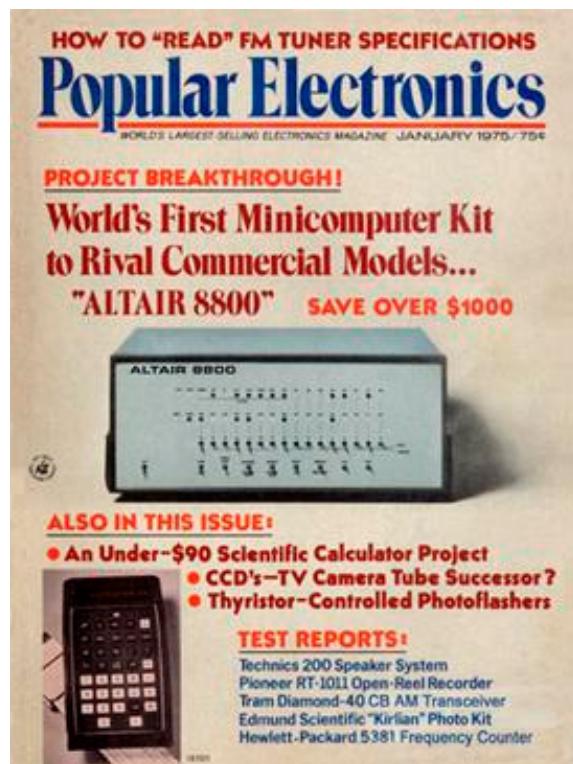


Figura 1.14: Imagen del kit para armar que se vendía de la primera computadora personal de la historia en 1975, que empleaba el microprocesador Intel 8080 de 8 bits, ref: Popular Electronics 1975

sido importantes para crear el microprocesador actual [11].

Con el nacimiento del microprocesador, los microprocesadores comenzaron a aparecer en los dispositivos de consumo, y se masificaron debido a los bajos costos de desarrollo, pero también causaron nuevos problemas de Compatibilidad Electromagnética. En ese momento también se crearon estándares y pautas para abordar los problemas causados por todos estos nuevos dispositivos electrónicos [12].

En la década de 1980, el surgimiento de la computadora personal trajo nuevos problemas de EMC al frente, pero también les dió a los ingenieros la capacidad informática para analizar y resolver estos problemas. Tanto la FCC como la Unión Europea adaptaron extensas regulaciones de EMC para reducir la transmisión de emisiones no intencionales de dispositivos electrónicos. Las empresas se vieron obligadas a comenzar a pensar en EMC en el proceso de diseño de sus productos. A partir de esto, nació toda una nueva industria. Se estaban creando nuevos procedimientos y estándares de prueba que resultaron en una reducción significativa de los problemas relacionados con EMC [12].

Sin embargo, los aumentos más significativos en el problema de interferencias ocurrieron con los inventos del transistor bipolar en la década de 1950, el circuito integrado en la década de 1960 y el chip microprocesador en la década de 1970. La frecuencia del espectro también se congestionó más con la mayor demanda de transmisión de voz y datos. Esto requirió una planificación considerable con respecto a la utilización del espectro que continúa en la actualidad.

Existen muchas fuentes artificiales de interreferencia a los equipos y sistemas electrónicos, que se generan en distintas frecuencias, como:

- Bujías de autos
- Relays
- Motores
- Tubos fluorescentes
- Pulsos de Radar
- Computadoras
- Fuentes de switching

Otras fuentes de interreferencia pueden ser de banda angosta:

- Líneas de alta tensión de 50Hz
- Emisoras de AM

- Emisoras de FM
- Emisoras de HF y VHF
- Radio bases de telefonía celular
- Transmisores de WIFI
- Transmisores de comunicaciones (Microondas terrestres)
- Descargas electrostáticas (ESD)⁶

1.3. Emisiones naturales

Además de las fuentes artificiales que se vieron en la sección anterior, también existen fuentes de interreferencia que son producidas por fenómenos naturales como:

- Radiación solar
- Eventos solares: fulguraciones, tormentas solares, otros..
- Descargas eléctricas atmosféricas, descargas eléctricas atmosféricas entre nubes (relámpagos) y entre nube y tierra (rayos).
- Ruido galáctico y fuera del sistema solar.

Estas fuentes radiadas son incoherentes, no intencionales y de banda ancha.

1.3.1. El sol. Emisiones solares

Nuestro planeta tierra se encuentra dentro de la heliosfera, y por lo tanto cualquier actividad que ocurra en el sol, traerá importantes problemas a la tierra. El sol está radiando energía continuamente al espacio, por la oscilación de los campos eléctricos y magnéticos, que viajan a la velocidad de la luz en el vacío $c \cong 300,000 km/s$, y como la distancia desde el sol a la tierra es de aproximadamente $150,000,000 km$ que también se denomina unidad astronómica, un rayo de luz emitido en el sol tarda un tiempo de $498 s$ en llegar a la tierra [13].

⁶Este caso merece un párrafo aparte, ya que aún siendo un fenómeno no periódico de baja energía, y de carácter electrostático, puede causar desde leves molestias, mal funcionamiento e incluso daños irreversibles. Esta descarga se debe al intercambio de electrones entre superficies de dos objetos (combinación de materiales sintéticos) o entre el cuerpo humano y un objeto, por disruptión del aire que produce un pulso de tensión de decenas de nanosegundos y una amplitud de varios kV. Este fenómeno de muy baja energía, que se produce especialmente en ambientes de baja humedad, pueden producir desde chispas que provoquen incendios a daños irreversibles en circuitos integrados (ruptura de dieléctricos en transistores MOS).

El sol está siempre cambiando, es una estrella turbulenta. Las manchas solares, las fulguraciones y otros signos de actividad solar sobre el sol están siempre manejado por el campo magnético.

Las emisiones solares tienen un impacto directo en el ambiente y la atmósfera terrestre. Pueden ocurrir:

- Interrupciones en las líneas de alta tensión
- Daño en los satélites
- Interrupción en las comunicaciones

Todo esto provoca un impacto económico y social en la tierra.

Hacia 1890 en Estados Unidos, a sus 24 años, George Ellery Hale, cuya foto aparece en la Figura 1.15, que diseñó el espectrohelioígrafo, este instrumento resulta de unir un telescopio con un espectroscopio, como se puede observar en la Figura 1.16. Esto permitió sacar fotografías del sol en una longitud de onda, y estudiar la constitución de las estrellas y del sol [14].

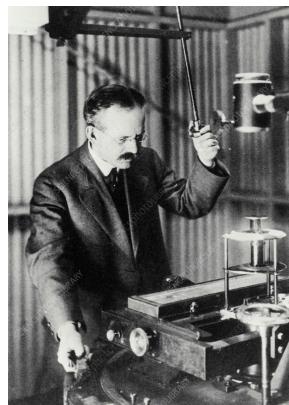


Figura 1.15: Imagen de G.E. Hale, inventor del espectrohelioscopio

Al observar el sol con el helioscopio [14], se encuentra que la fotósfera no es homogénea sino que es granulada,

Manchas solares

Las manchas solares usualmente forman grupos y tipicamente de pocas semanas a un mes, desde el año 1750 se viene llevando el registro de la cantidad de manchas solares por año, y se ha obtenido que cada 11 años se produce el máximo de manchas solares, como se observa en la Figura 1.17. La razón que las manchas solares aparecen oscuras es que esa zona se encuentra más fría ($4000K$), respecto al resto de la fotósfera de $5973K$. Esto ocurre debido a los intensos campos magnéticos de hasta $0,4T$ que suprimen las corrientes de convección que traen los gases calientes del interior del

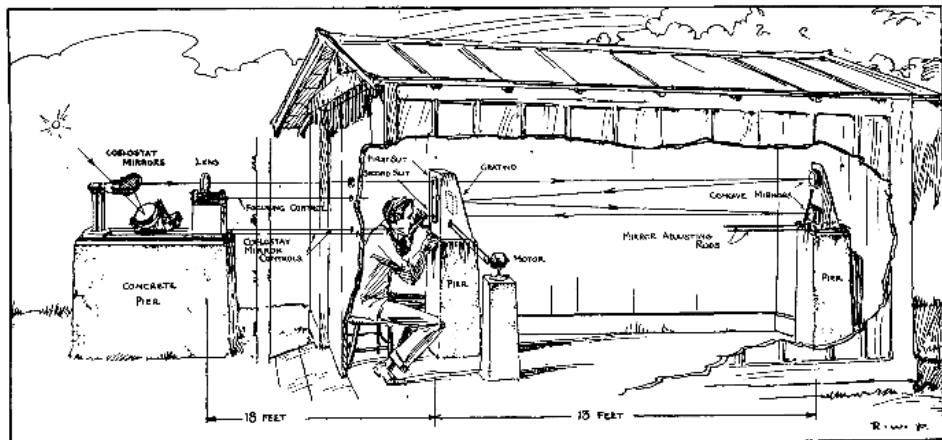


Figura 1.16: Imagen del telescopio Celostato y Espectrohelioscopio G.E. Hale [14]



Figura 1.17: Imagen de manchas solares, fuente Nasa.

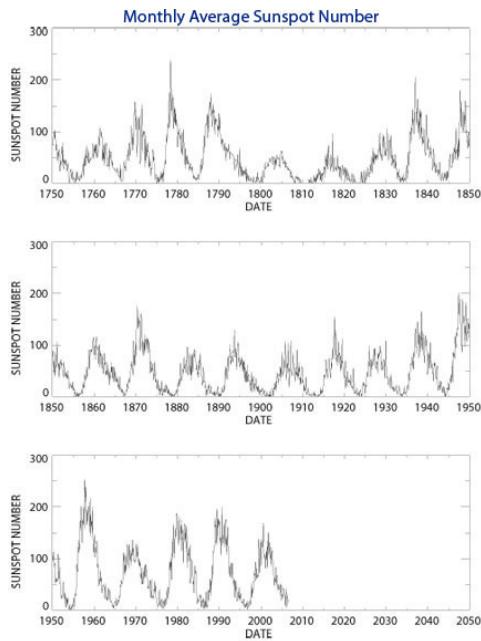


Figura 1.18: Gráfico de manchas solares por año. Fuente Marshall Space Fligth Center Nasa.

sol. Respecto a las dimensiones de las manchas solares puede llegar a tener excepcionalmente hasta unos 50000km de diámetro aproximadamente, es decir mas grandes que nuestro planeta. El sol es más brillante con máximo de manchas solares y es menos brillante con el mínimo de manchas solares. Los máximos de las manchas solares contribuyen a una mayor radiación solar sobre la ionósfera, y su efecto es mejorar la propagación ionosférica en la banda de radio aficionados y de radiodifusión de HF.

Eventos solares

Los eventos solares son varios, a modo de ejemplo se puede observar un evento extraordinario como es la prominencia eruptiva solar con ejección de masa de la corona de la superficie del sol en la Figura 1.19, y durante estos eventos habrá una gran actividad en el sol que provocará las emisiones. En la Figura 1.20 se muestra un resumen de la emisiones electromagnéticas y de partículas que produce el sol sobre la tierra.

La radiación electromagnética en todas las bandas prácticamente estarán presentes todo el tiempo, aunque por ejemplo en las prominencias eruptivas (flares) ocurren muchas mas emisiones aún. Afortunadamente no todas las emisiones y eventos que ocurren en el sol llegan hasta la tierra, pues estas emisiones salen en distintas direcciones y son pocas la veces que impactan en la tierra, ya que la tierra representa un ángulo de un minuto para el sol

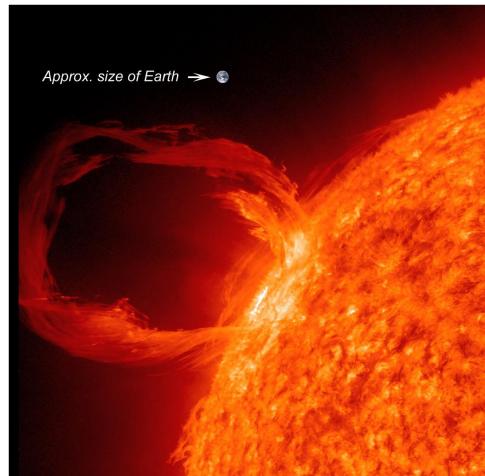


Figura 1.19: Fuente:Foto obtenida por el Satélite SOHO.

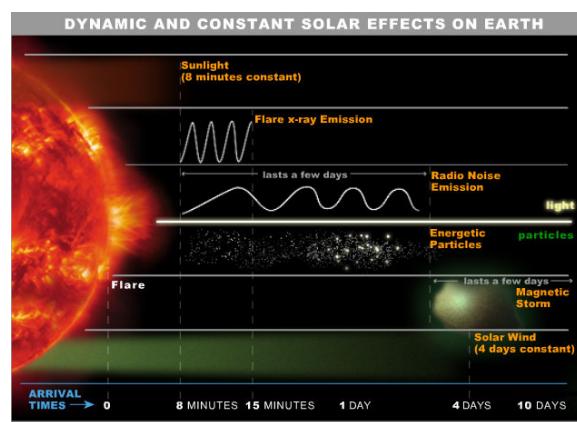


Figura 1.20: Efectos del sol sobre la tierra. ref: Nasa.

sobre los 360° posibles.

Radioastronomía

El conocimiento del universo fuera de la tierra llegó de observaciones astronómicas en longitudes de onda óptica. Comenzando hace milenios con técnicas puramente visuales, la astronomía avanzó rápidamente después de la invención del telescopio óptico a principios del siglo XVII y la aplicación de métodos fotográficos en el siglo veinte. Todas las observaciones fueron hechas en longitudes de onda visibles del espectro electromagnético en una banda de una octava de ancho, pero con las observaciones astronómicas en longitudes de ondas de radio se creó una nueva rama de la astronomía llamada radioastronomía [15].

Tanto la astronomía óptica como la radioastronomía se encuentran en las bandas transparentes de la atmósfera terrestre. Estas bandas transparentes se conocen comúnmente como las ventanas de óptica y de radio. La ventana óptica se encuentra entre $0,4\mu m$ y $0,8\mu m$, mientras que la ventana de radio es mucho más amplia y se extiende desde aproximadamente $1cm$ a $10m$. Pero debido a los agujeros en la ionosfera y la transparencia en la región milimétrica, se puede extender de $1mm$ a $150m$, prácticamente 17 octavas. El límite de la longitud de onda corta es una función de la composición atmosférica, las nubes, etc., mientras que el límite de la longitud de onda larga depende de la densidad electrónica en la ionósfera.

La astronomía se divide en dos ramas: la óptica y la de radio, es una consecuencia del hecho de que casi todas las observaciones hasta la fecha han sido con base en la tierra, con la atmósfera de la tierra interpuesta entre la fuente celestial y el observador. Con la llegada de los satélites es posible realizar observaciones astronómicas sobre la atmósfera y abrir el espectro electromagnético completo desde ondas de radio de bajas frecuencias hasta rayos gamma de alta energía que la atmósfera de la tierra filtra [15].

Incluso en las frecuencias de radio para las cuales la atmósfera y la ionósfera son esencialmente transparente, hay ventajas importantes para un observatorio espacial, ya que la absorción, la refracción y los efectos de ruido son menores. Otra razón es que la interferencia de los transmisores de radio terrestre pueden reducirse. En la actualidad, existe una mayor polución electromagnética con más servicios entre los que se cuentan la TV, telefonía celular e internet, que emplean radiaciones electromagnéticas, y amenazan seriamente la radioastronomía en la tierra. J. D. Kraus y G. Reber que han trabajado intensamente en el tema, explicaron que aunque la radioastronomía terrestre podría continuar a pesar de la interferencia, puede ser necesario colocar radiotelescopios con la máxima sensibilidad en estaciones espaciales que orbitan la tierra o ubicaciones más silenciosas, como un observatorio en la parte posterior de la luna, que operen durante la noche lunar.

La ciencia de la radioastronomía tuvo sus inicios en los experimentos de Karl G. Jansky en 1931, que era un ingeniero de radio de la empresa Bell Telephone Laboratories en Holmdel, Nueva Jersey, USA. Le habían asignando el problema de estudiar la interferencia estática, para poder mejorar la relación señal a ruido del sistema de radiotelefonía transoceánico, y diseñar las antenas, para tener una mínima respuesta en esta dirección. Para estudiar el problema, Jansky construyó una antena con polarización vertical con un haz unidireccional, del tipo cortina, como se muestra en la Figura 1.21. La antena de unos 30 m de largo por 4 m de altura, se montó sobre cuatro ruedas que permite girar en una pista horizontal para que la antena pueda girar en acimut. Operando en una longitud de onda de 14,6 m (20,5 MHz), la antena estaba conectada a un receptor sensible con la salida conectada a una registradora de papel que registró lo que se muestra en la Figura 1.22 [16].

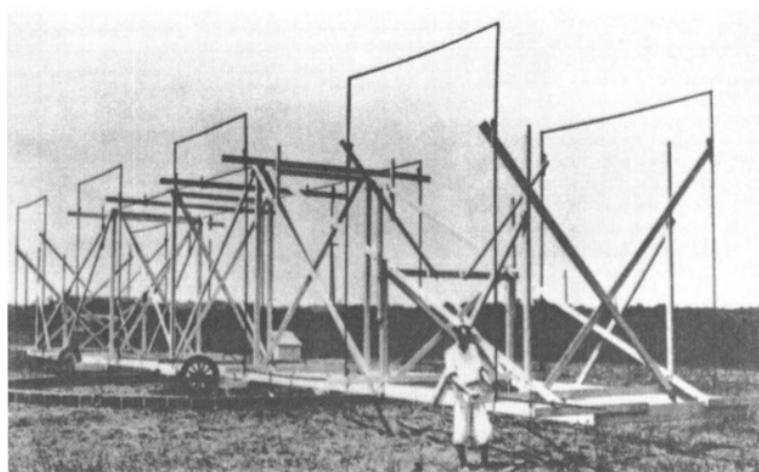


Figura 1.21: Antena creada por Karl Jansky, ref: [15]

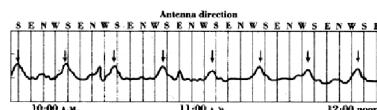


Figura 1.22: Imagen de las mediciones obtenidas por K.G Jansky ref: ref: [15]

Jansky en 1932, informó los primeros resultados con su equipo, y luego en su tercer trabajo publicado que apareció en octubre de 1935, Jansky [17] demostró que las radiaciones más importantes se reciben cuando la antena apunta hacia el centro de la galaxia en las bandas de 14.6 m y 10 m.

Luego Grote Reber, que era un ingeniero de radio que vivía en Wheaton,



Figura 1.23: Imagen de la antena de Reber en su casa de Wheaton, Illinois, USA ref: [18]

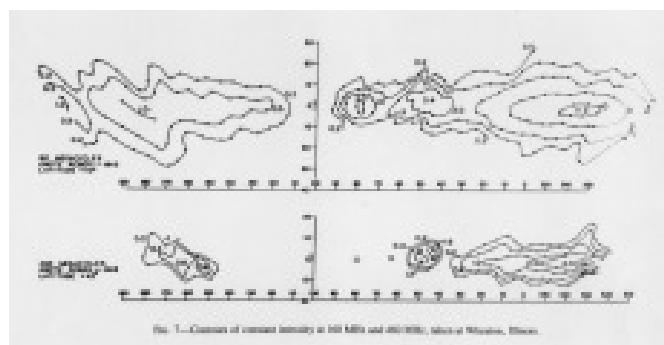


Figura 1.24: Imagen de radiación del cielo de Grote Reber ref: [https : //www.nrao.edu/whatisra/hist_reber.shtml](https://www.nrao.edu/whatisra/hist_reber.shtml)

Illinois, en 1937 se interesó en el trabajo de Jansky y construyó una antena con un reflector parabólico de 9,5 m de diámetro en el patio trasero de su casa, con su antena obtuvo aproximadamente 12 grados entre los puntos de media potencia, como se muestra en la Figura 1.23, mientras que la antena de Jansky tenía 30 grados [15]. Así Reber construyó el primer radio telescopio [18], con el que obtuvo los primeros mapas del cielo como se vé en la Figura 1.24.

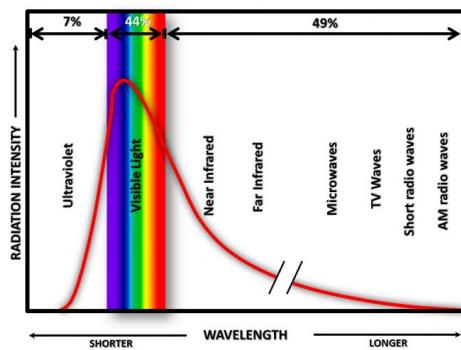


Figura 1.25: Radiación electromagnética del sol, fuente Nasa.

Las ondas electromagnéticas que son emitidas por el sol prácticamente ocupan todo el espectro electromagnético, desde ondas de radio pasando por las ondas visibles hasta las radiaciones de alta energía como rayo x y gamma. En la Figura 1.25, ref:<http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>, se puede observar el espectro de emisión solar, sin la intervención de la atmósfera, en esta Figura se ve que el máximo de radiación solar ocurre en la longitud de onda visible del espectro. Los ojos del ser humano tienen su máximo de sensibilidad en el máximo del sol.

1.3.2. Evento Carrington

Durante la tarde del jueves 1 de septiembre de 1859, el astrónomo aficionado R.C. Carrington desde las afueras de Londres, Reino Unido, estaba observando el sol y las manchas solares con su telescopio como habitualmente lo hacia. La imagen que vió Carrington se puede observar en la Figura 1.26, donde el señala que una luz blanca extremadamente intensa provino de los puntos A y B, que se encontraba entre las manchas solares. Añade que fué intenso como observar el sol a simple vista. Luego de esto, aproximadamente a las cuatro horas, se desarrolló una gran tormenta magnética que se pudo observar en el hemisferio norte y sur [19]. Esa noche, las comunicaciones telegráficas en todo el mundo comenzaron a fallar, hubo informes de chispas en las máquinas del telégrafo, de los operadores impactados y los papeles que se incendiaban. Las auroras se observaron en todo el planeta, hasta en los trópicos, y se podía leer hasta un libro con ellas. Que había

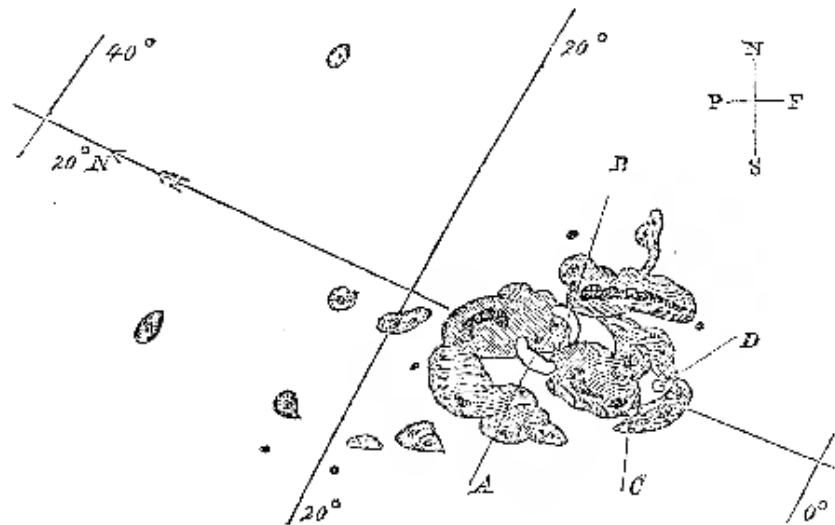


Figura 1.26: Imagen de la observación de las manchas solares realizada por R.C. Carrington y publicada en [19]



Figura 1.27: Imagen del observatorio de R.C. Carrington en RedHill, Surrey, London, Reino Unido, ref: [20]

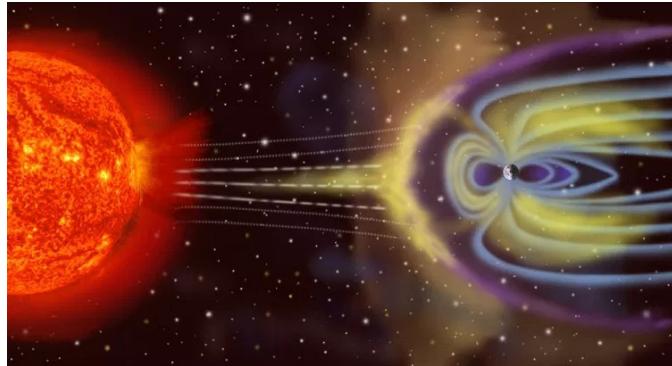


Figura 1.28: Imagen de las partículas que viajan del sol e impactan la magnetósfera de la tierra ref: [21]

pasado?. Carrington había descubierto la verdadera causa de los extraños acontecimientos: una erupción solar (solar flare) inmensa había ocurrido. Se produce una erupción solar, porque las líneas del campo magnético del sol se cruzan en la atmósfera solar. En un momento, los campos magnéticos se reorganizan y se libera una gran cantidad de partículas y radiación. Las llamaradas ocurren en tres etapas. Primero la etapa precursora, con una explosión de radiación de rayos X suave. Esto es seguido por la etapa impulsiva, donde los protones y electrones se aceleran fuera de la superficie del Sol. Y finalmente, la etapa de descomposición, con otra explosión de rayos X, a medida que la emisión se apaga. Estas etapas pueden ocurrir en solo unos segundos o prolongarse durante una hora. Las partículas arrojadas al espacio tardan varias horas o días en llegar a la Tierra e interactuar con la magnetósfera protectora de nuestro planeta, y luego podemos ver las auroras en el cielo. Estas tormentas geomagnéticas hacen que la magnetósfera de la Tierra se mueva, lo que impulsa las cargas a través de cables de un lado a otro, quemando circuitos, destruyendo satélites y sobrecargando las redes eléctricas. En 1859, no hubo grandes problemas porque la tecnología no había progresado más que en la telegrafía. En la actualidad toda la civilización depende de cables y el desastre podría ser muy importante [21]. En la Figura 1.27 se muestra el observatorio de R.C. Carrington en Redhill Surrey, Reino Unido, y en la Figura 1.26 se puede observar la imagen de las partículas y radiación solar que impactan sobre la magnetósfera.

1.3.3. Corriente geomagnética inducida

En las proximidades de la tierra, el geoespacio, se ve directamente afectado por el flujo de partículas cargadas que provienen del sol, llamadas plasma del viento solar. El viento solar tiene las partículas magnetizadas, comúnmente denominado campo magnético interplanetario, que interactúa directamente con el campo magnético de la tierra haciéndolo variar. Estas

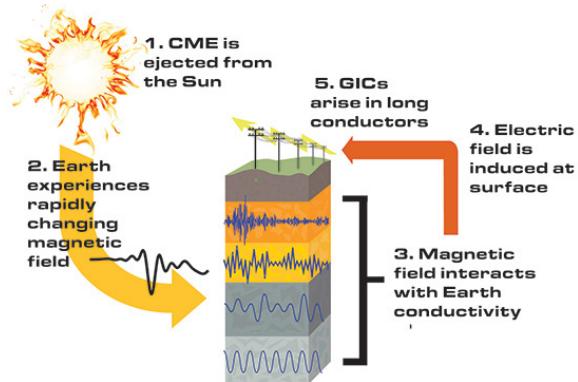


Figura 1.29: Corriente geomagnética inducida ref: [22]

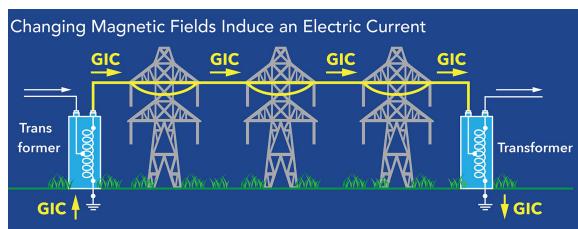


Figura 1.30: Corriente geomagnética inducida actuando sobre una estructura de transmisión de energía eléctrica

variaciones del campo magnético terrestre, generan corrientes inducidas en la superficie de la tierra como se observa en la Figura 1.29. Las instalaciones por las cuales circulan las corrientes inducidas de origen geomagnético (GIC) son grandes estructuras metálicas como por ejemplo cañerías de gas y petróleo, vías férreas y líneas de transmisión de energía eléctrica como se ilustra en la Figura 1.30, ver ref: <https://www.jpl.nasa.gov>.

Las corrientes geomagnéticas que circulan por las estructuras si no se encuentran con protección catódica, generará corrosión y por consiguiente se pueden dañar los sistemas y también se podrían producir interrupciones al servicio eléctrico. La medición de las corrientes geomagnéticas se puede ver en la Figura 1.31.

1.3.4. Descargas atmosféricas

El ser humano viene observando desde la antiguedad los fenómenos de descargas eléctricas atmosféricas, que se conocen como rayos, como se puede encontrar en los textos egipcios, y sumerios simbolizados por una flecha, inclusive en las estatuas. Luego de la segunda mitad del siglo XVIII Benjamin Franklin comenzó a hacer estudios científicos sobre la naturaleza de los rayos, cabe aclarar que hasta ese momento se podían separar las cargas

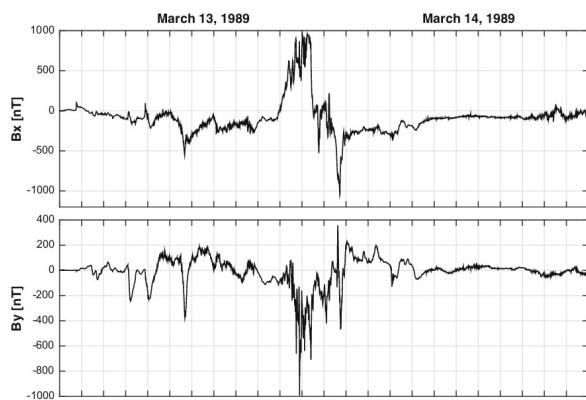


Figura 1.31: Variación del campo magnético con el tiempo en ejes x e y ref: [23]

eléctricas negativas de las positivas entre diferentes materiales, y se podían almacenar en una botella de Leyden que era un capacitor primitivo.



Figura 1.32: Fotografía de la descarga de un rayo

La imagen de Benjamin Franklin, que se vé en la Figura 1.33⁷, contemporáneo de la época de la revolución de las colonias americanas del imperio británico, y es considerado en Estados Unidos un ciudadano ejemplar y patriota. Franklin fué un gran comerciante, y probablemente ningún otro estadounidense, excepto Thomas Jefferson, ha sido tan multifacético. Durante su vida, Franklin se ocupó de asuntos tan diferentes como estadista, la fabricación de jabón, la impresión de libros, el cultivo de coles, el aumento de las mareas, la caída de los imperios. También inventó una estufa eficiente y demostró que el relámpago es un fenómeno eléctrico. Como estadista, Franklin se situó en el primer lugar de las personas que fundaron Estados Unidos, siendo la única persona que firmó los cuatro documentos clave en la

⁷<http://storiesofamericanhistory.com>



Figura 1.33: Imagen de Benjamin Franklin.

historia de Estados Unidos: la Declaración de Independencia, el Tratado de Alianza con Francia, el Tratado de Paz con Gran Bretaña y la Constitución de los Estados Unidos.

Franklin fué el primero en pensar que los rayos podían ser como los denominó un "fluído eléctrico". En ese momento el estableció un experimento donde extendió una varilla de hierro de unos 30 pies, por sobre la puerta, siendo esa varilla de terminación afilada. Sobre el piso dentro de la casa se dispuso un aislador y arriba de el estaba parado un hombre que agarraba la varilla con su mano, y deberia estar electrificado y despedir chispas. De esta manera se comprobó que las nubes de tormenta contienen cargas eléctricas, y este experimento se repitió en Francia, Inglaterra, Belgica y Rusia con éxito [24]. Luego realizó otro experimento que fué famoso, sustituyó la barra de hierro por una cometa eléctrica que podia alcanzar una mayor elevación, esto lo alcanzo a probar en una tormenta eléctrica de 1752, para ello empleó un hilo conductor que en su parte inferior estaba atado por una llave, y luego un hilo aislador. Entonces pudo verificar la descarga eléctrica entre la llave y los nudillos de su mano como se muestra en la Figura 1.34, ref: www.theguardian.com. Cabe destacar que la aplicación de conducir el rayo por un conductor metálico, denominado pararrayo (lightning rod), fué la primer aplicación de la electricidad que se usó para proteger las estructuras, casas y edificios de las descargas eléctricas que se producían durante las tormentas que provocaban destrucciones e incendios, ya que en esa época no existían tecnologías relacionadas con la electricidad y mucho menos con la electrónica. El descubrimiento del pararrayo marcó una época, y llega hasta nuestros días.

El rayo y los mecanismos ocurrentes dentro de una tormenta eléctrica siguen siendo en la actualidad fenómenos complejos no del todo aclarados



Figura 1.34: Dibujo del experimento del cometa de Benjamin Franklin en una tormenta en el año 1752.

y todos los modelos tanto de generación del rayo como de su forma de protección eficaz (basada en un conjunto de dispositivos de protección que comienzan con el pararrayo) se basan en la teoría probabilística. La descarga atmosférica, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra (rayo) o, entre nubes (relámpagos). A partir de un complejo movimiento de ascensión del aire húmedo y tibio desde la superficie terrestre, la distribución de cargas en las nubes cumulonimbos (nubes en forma de yunque) resultan en positivas en su parte superior (a unos 6 km de la superficie) y negativas en su parte inferior (a unos 3km de la superficie). La carga negativa inferior es suficientemente grande como para producir diferencias de potencial de varios millones de volts entre nube y tierra, superando el valor de rigidez dieléctrica del aire ($3 \cdot 10^6 V/m$). Cuando se produce la ruptura, se ioniza el aire y se forma un camino conductor que transporta estas cargas negativas a la tierra. Es decir, la nube y la tierra ambas cargadas eléctricamente, es un esquema análogo a un capacitor con dieléctrico de aire, que se carga, y a medida que se aumentan las cargas, aumenta la diferencia de potencial hasta que se realiza la ruptura dieléctrica, y ocurre la descarga, y la circulación de la corriente. En el inicio de la ruptura del dieléctrico, las cargas eléctricas negativas van abriendo un canal o líder precursor e iniciando el descenso en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos. Cuando esta guía escalonada está a unos 100 metros del suelo (o sea, unos milisegundos después de su inicio), debido al intenso campo eléctrico que se establece entre el extremo del canal iniciado por esta carga líder y la superficie terrestre, aparece una carga positiva ascendente desde las irregularidades del terreno u objetos puntiagudos, que son concentradores de carga (efecto corona), que termina por conectar con el camino trazado por el líder. En ese momento la nube queda al mismo potencial que la tierra y se produce una intensa descarga de corriente eléctrica, denominada descarga de retorno, que se propaga de forma continua hacia la nube. La intensidad de la descarga es del orden de decenas hasta cientos de kiloamperios y en este proceso se transfiriere

a tierra la carga de la nube en unos pocos milisegundos. La carga se dispersa entonces por el terreno, pudiendo provocar elevadas caídas de voltaje en su camino. Estas diferencias de tensión o tensión de paso es la causante de víctimas humanas y animales, no alcanzados por el impacto directo. De acuerdo a lo descripto sobre el descenso del líder, la probabilidad de impacto directo sobre una zona determinada aumenta con la altura de las estructuras en dicha zona. La temperatura del canal por el que se transfiere la carga, de apenas unos centímetros de diámetro, llega a alcanzar temperaturas de 30.000 °C y la brusca expansión del aire a esta temperatura genera una onda sonora o trueno.

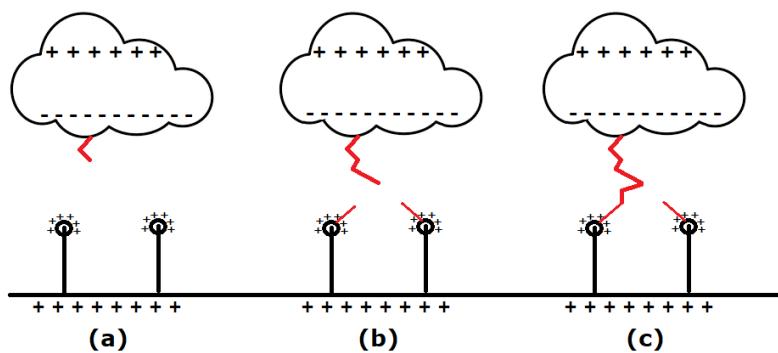


Figura 1.35: Fig. (a) Inicio del precursor líder descendente desde la nube y acumulación de carga en objetos puntiagudos. (b) Inicio de cargas ascendentes positivas. (c) Conexión entre precursores (caída del rayo).

Luego de la primera descarga, existen descargas secundarias, con intervalos de decenas a cientos de milisegundos. La primera descarga es la que tiene mayor amplitud. Ese tiempo entre descargas puede ser ocupado por una corriente constante de cientos de amperios (corriente continua). La descarga inicial, al alcanzar un valor máximo de decenas de kA en microsegundos (impacto corto de duración total de pocos milisegundos), provoca una intensa variación del campo magnético alrededor de la zona de impacto, induciendo corrientes impulsivas en todo elemento conductor que esté en la zona y sea concatenado por las líneas de campo magnético. La corriente continua, por otro lado (impacto largo de décimas de segundo) es la causante de las sobre-elevaciones de temperatura e incendios. Por eso resulta de suma importancia un sistema de protección que pueda dirigir la mayor parte de la descarga a través de un camino de muy baja impedancia a tierra, mediante un pararrayos (para seguridad de vidas y bienes) y dispositivos de protección secundaria que atenúen las corrientes impulsivas inducidas sobre los sistemas eléctricos y electrónicos. Todos los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo que, producidos por acoplamientos resistivo, inductivo y capacitivo, generan ondas y campos electromagnéticos radiados, se los conoce como impulso

electromagnético del rayo [Ref: IRAM 2184-1/IEC 62305 (2010): Protección contra rayos, principios generales].

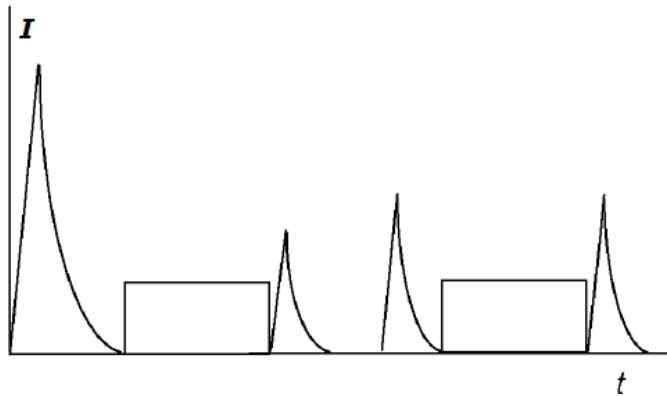


Figura 1.36: Formas temporales de la descarga inicial y subsecuentes del rayo.

De acuerdo con lo especificado en la Norma IRAM 2184-1, los daños causados por las descargas atmosféricas pueden clasificarse de la siguiente forma:

El impacto de un rayo sobre una estructura puede producir daños en la propia estructura y en sus alrededores, en sus ocupantes y en sus bienes, incluyendo los fallos de los sistemas internos. En función de la ubicación del punto de impacto (directamente sobre la estructura, en sus proximidades, en líneas de suministro eléctrico o comunicaciones entrantes; o descargas que impactan en las proximidades de las líneas conectadas a la estructura), la corriente del rayo puede producir tres tipos de daños esenciales:

- daños en los seres vivos por el impacto eléctrico.
- daños físicos como fuego, explosión, destrucción mecánica, emanación química.
- fallo de los sistemas internos debido al impulso electromagnético del rayo.

En una descarga de rayos en el dominio de la frecuencia, se obtiene que el ancho de banda de estas corrientes llegarán hasta unos 10kHz aproximadamente [25]. Es un fenómeno esencialmente de bajas frecuencias pero las intensidad de corriente es de tal magnitud que como se dijo, va inducir tensiones en líneas de CATV, telefonía y de redes, provocando serios problemas en el equipamiento electrónico.

1.4. Compatibilidad electromagnética. Definición

En compatibilidad electromagnética se dice que un sistema electrónico es compatible con el medio, si no produce o no es susceptible a la interferencia. Para esto deben cumplir los tres criterios siguientes:

- No causar interferencia con otros sistemas
- No ser susceptible a emisiones de otros sistemas
- No causar interfencia consigo mismo.

El problema en compatibilidad electromagnética se estudia cuando un dispositivo funciona como emisor y otro como receptor. Ambos están acoplados como se puede observar en la Figura 1.37



Figura 1.37: Problema del acoplamiento en EMC

Desde el punto de vista del funcionamiento del equipo, éste se puede comportar como emisor o receptor, y pueden ser intencionales o no intencionales, como se explica a continuación:

- Emisor intencional es cuando el dispositivo funciona como emisor. Ejemplo: una estación transmisora de AM.
- Receptor intencional es cuando el dispositivo funciona como receptor. Ejemplo: receptor de AM.
- Emisor no intencional es cuando el dispositivo está emitiendo sin intención. Ejemplo: los tubos fluorescentes en frecuencias de radio.
- Receptor no intencional sería un dispositivo que está funcionando como receptor. Ejemplo: un portero eléctrico que funciona como receptor.

Con el objetivo de prevenir la interferencia electromagnética, se puede actuar de la siguiente manera:

- Suprimir la emisión de la fuente o emisor.
- Hacer el camino de acoplamiento ineficiente.
- Hacer que el receptor no sea susceptible con la fuente o emisor.

Ejemplo: Un circuito digital que tiene un rise time de 100ps genera frecuencias altas que están interfiriendo con el funcionamiento del propio equipo. Una solución sería aumentar el tiempo de crecimiento (rise time) para bajar las frecuencias emitidas y de esa manera mitigar la interferencia. Otra solución sería blindar toda la parte receptora, aunque esto sería más costoso que la solución anterior, como hacer funcionar al receptor con un código de errores. En general se puede decir que actuar sobre la parte receptora del circuito es más difícil por los requisitos del producto.

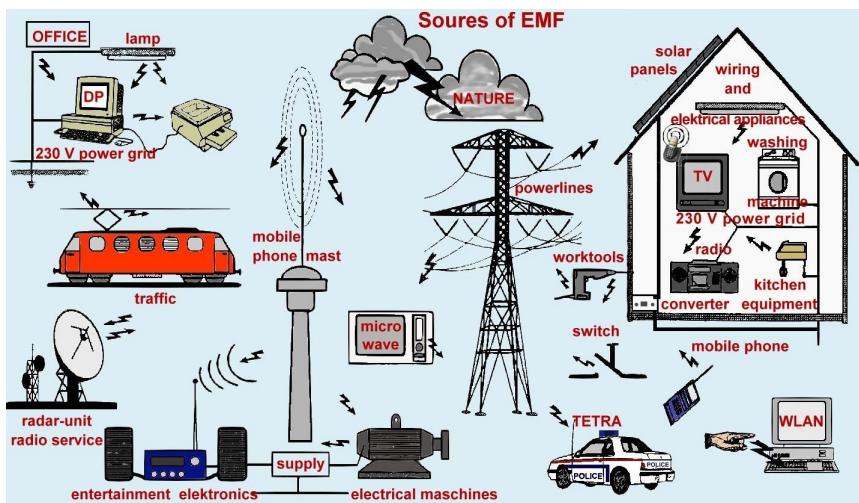


Figura 1.38: EMC. Fuente Central Coast Amateur Radio Club Inc.

En la Figura 1.38, se puede observar que actualmente hay una gran cantidad de equipamiento eléctrico y electrónico que interactúa entre si provocando interferencias, cada equipo trabaja en un determinado servicio, que se encuentran mayormente en zonas urbanas.