

Nº 22
E. E. E.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

**“DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS. DESDE SUS INICIOS HASTA NUESTROS DIAS”
Y UN PROYECTO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

PROCORO PABLO LUNA ESCORZA

ASESOR O DIRECTOR DE TESIS:

ING. RAUL BARRON VERA

ENEP ARAGON

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

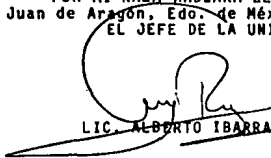
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON
UNIDAD ACADÉMICA

ING. FEDERIQUE JAUREGUI BENAUD
JEFE DE CARRERA DE INGENIERIA
MECANICA ELECTRICA
P R E S E N T E

En atención a su solicitud de fecha 29 de noviembre del año en curso, por la que se comunica que el alumno PRO-CORO PABLO LUNA ESCORZA, de la carrera de INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS DESDE SUS INICIOS HASTA NUESTROS DIAS", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión, así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Dic. 13, 1993.
EL JEFE DE LA UNIDAD


LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.
c c p Interesado.

AIR'1a.

***"DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS, DESDE SUS
INICIOS HASTA NUESTROS DIAS" Y UN PROYECTO***

A G R A D E C I M I E N T O S

El más grande de los reconocimientos es para Celia Fernández Velázquez, mi esposa, y para Mónica Escorza Islas, mi madre. Es por ellas que muchos de mis objetivos se han tornado realidad; éste es uno de los mayores. Estoy orgulloso de ellas y las quiero.

De la misma manera, pretendo agradecer a mis hermanas Hortensia y Rosa María, quienes con sus cualidades siempre me han estimulado. Gracias a mis hijas por su paciencia y por soportar el ritmo: Mónica Miriam, por su júbilo ante la vida; y Elizabeth, por su lealtad y responsabilidad. Toda mi familia reciba las gracias por su apoyo sostenido, en especial mis primos Jesús Escorza y Arturo Sánchez.

Gracias a mis compañeros, amigos que supimos enfrentar con éxito nuestra vida estudiantil.

A mi asesor, Ing. Raúl Barrón Vera, por su confianza, a pesar de la demora para la realización de este trabajo. Así como a todo el grupo del jurado, quienes con sus observaciones y sugerencias, han hecho de éste un mejor trabajo, les agradezco su participación incondicional y profesional.

Asimismo, gracias a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, por su apoyo desde el primer día de mi estancia en nuestra querida Escuela Aragón.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, que a través de la experiencia de su personal e instalaciones nos proveen de muchas armas que requerimos para enfrentar y dar solución a los retos que México y nuestra sociedad presentan.

Sinceramente reciban mi gratitud

Prócoro Pablo Luna Escorza

México, D.F., 1994

PROLOGO

Esta tesis se ha escrito con la intención de describir, en forma ágil y sencilla, el cómo se fueron desarrollando las comunicaciones inalámbricas, enfocada principalmente a la telegrafía sin hilos, la radio y la radiodifusión.

El siguiente trabajo va dirigido a los alumnos y lectores para que se interesen por las telecomunicaciones modernas. Si esto sucede, veríamos con agrado que algunos de ellos se viesen inclinados hacia una profesión, o en un sentido más estricto, un grupo de profesiones que requieren un número cada vez mayor de los cerebros mejor dotados de nuestra sociedad. Esperamos que pueda ser leída con interés y quizás con entusiasmo.

En los capítulos siguientes, hemos tratado de dar una idea de cómo en las radiocomunicaciones se ha seguido de triunfo en triunfo -A pesar de los obstáculos que conlleva toda investigación-, hasta nuestros días, en que es tan fácil para un ciudadano de cualquier país hablar por radiotelefonía a cualquier parte del mundo, como lo es hablar por un teléfono común en un suburbio de su ciudad. Esto y todas las demás maravillosas hazañas de la telefonía inalámbrica a que nos referiremos, son debidas al uso de las ondas eléctricas.

Los más poderosos transmisores radiotelefónicos envían ondas electromagnéticas en la misma forma que lo hacía el oscilador de Hertz. El más costoso y complicado receptor responde a las ondas electromagnéticas como lo hacía el resonador de Hertz.

C O N T E N I D O

CAPITULO I	LOS PRIMEROS INTENTOS DE COMUNICACIONES INALAMBRICAS	página
1.1.	Bosquejo Histórico	4
1.2.	Antigua Telegrafía a Chispas	4
1.3.	Sintonización y Cómo se Efectúa	12
1.4.	Principio Básico Usado en el Pasado Para la Transmisión de Ondas Continuas en Radiotelefonía	14
CAPITULO II	LAS VALVULAS EN LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS	
2.1.	Efecto Edison	15
2.2.	El Tubo Diodo	17
2.3.	Audión de Rajilla o Triodo	19
2.4.	Tubos de Electrodo Múltiples	22
2.4.1.	Tetrodo	22
2.4.2.	Pentodo	23
2.5.	Tubos Duros o de Alto Vacío	23
2.6.	Tubos Utilizados Actualmente	24
2.6.1.	Oscilador de Magnetrón	25
2.6.2.	Oscilador de Klistrón	26
CAPITULO III	EL TRANSMISOR COMERCIAL MAS IMPORTANTE EN LOS INICIOS DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS Y LOS PRIMEROS RECEPTORES	
3.1.	Transmisor Comercial más Importante	28
3.2.	Principales Elementos que Influyen en la Recepción y Transmisión Inalámbrica	31
3.2.1.	Formación de la Onda	31
3.2.2.	El Oscilador	32
3.2.3.	La Antena	34
3.2.4.	La Ionósfera o Capa de Kennelly- Heaviside	35
3.2.5.	Circuitos Amplificadores	36
3.2.5.1.	Diseño Básico de un Amplificador de Audio	37
3.3.	Los Primeros Receptores	38
CAPITULO IV	EVOLUCION DE LOS RECEPTORES	
4.1.	El Receptor Básico de A.M. -Amplitud Modulada-	47
4.2.	El Receptor Superheterodino	49

4.3.	El Receptor de P.M. -Frecuencia Modulada-	58
------	---	----

CAPITULO V LA RADIODIFUSION

5.1.	La Magia Radiofónica	54
5.1.1.	Modulación de Amplitud	56
5.1.2.	Detección de Amplitud Modulada	57
5.2.	Las Radiaciones	58
5.3.	Primeras Radiodifusoras en el Mundo	61
5.4.	Sistemas de Comunicaciones	64
5.4.1.	Microondas	64
5.4.2.	El Radar	64
5.4.3.	Guía de Ondas	65
5.4.4.	Fibras Ópticas	66
5.4.5.	Laser	67
5.4.6.	Satélites de Comunicaciones	69
5.4.6.1.	Satélites Pasivos	71
5.4.6.2.	Satélites Activos	72
5.4.7.	Telecomunicación Digital	77
5.4.7.1.	El Lenguaje de Computación	77
5.4.7.2.	Sistemas de Telecomunicaciones	77
5.4.7.3.	Igualación de Retardo	80
5.4.7.4.	Estudio de Longitud de Sistemas MIC	81
5.4.7.5.	Resultados del Estudio	85

CAPITULO VI LA ERA DEL ESTADO SOLIDO

6.1.	Transistores y Diodos Semiconductores	87
6.2.	Antecedentes Históricos	88
6.3.	Teoría Atómica y Electrónica	88
6.3.1.	Cristales de Tipo P y Tipo N	90
6.3.2.	Unión PN	91
6.4.	Rectificador de Unión PN	92
6.5.	Transistores	93
6.5.1.	El Transistor como Amplificador	95
6.6.	Circuitos Integrados	96
6.6.1.	Introducción a los Circuitos Integrados	97
6.6.2.	Circuitos Integrados en Paquete	97
6.6.3.	Construcción Interna de los Circuitos Integrados	98
6.6.4.	Diferencias entre los Circuitos Discretos e Integrados	104
6.6.5.	Voltajes de Alimentación para los Circuitos Integrados	106
6.6.6.	Tipos Básicos de Circuitos Integrados	106
6.6.6.1.	Circuitos Integrados Digitales	106
6.6.6.2.	Circuitos Integrados Lineales	107

ANEXO I

PROYECTO PARA EL DISEÑO DE UN RECEPTOR SUPERHETERODINO DE A.M.

1.	La Radio de AM	109
1.1.	Longitud Práctica de las Antenas	111
2.	La Sección Conversora	112
3.	La Sección de F.I.	118
3.1.	El Diodo de Sobrecarga D1 -CA70-	119
3.2.	Amplificador de F.I.	122
3.3.	Mecanismo Básico de Operaciones	126
4.	La Sección Detectora o Demoduladora	126
5.	El Control Automático de Volumen -CAV-	128
6.	Sección Amplificadora de Audio.	130
6.1.	Análisis del Preamplificador de Audio	130
6.2.	Consideraciones más Importantes para el Diseño del Amplificador de Potencia de Audio de AM	135
6.2.1.	Selección del Circuito Amplificador	135
6.2.2.	Selección de Transistores	136
7.	Proceso para la Selección de los Transistores de Potencia del Amplificador de Audio	137
8.	El Eliminador de Baterías o Rectificador de Onda Completa con Capacitor de Integración	144
APENDICE A	BIOGRAFIAS SELECTAS DE CIENTIFICOS E INVENTORES QUE INTERVINIERON EN EL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS	150
APENDICE B	LAMINAS SELECTAS	173
APENDICE C	SIMBOLOGIA	181
	BIBLIOGRAFIA	184

1.1. Bosquejo Histórico

Antes de comenzar con el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas, es importante comentar lo difícil que es decir cuándo fue descubierta por primera vez la electricidad. Datos históricos muestran que ya desde 600 años A.C. fueron conocidas las propiedades atractivas del ámbar. A Tales de Mileto -640-546 A.C.-, uno de los siete sabios de la antigua Grecia se le atribuye haber observado la atracción que el ámbar, previamente frotado, ejerce sobre pequeños materiales de fibra y pedacitos de paja. Al ámbar se le conocía como ELECTRON.

A pesar de que los conocimientos sobre la electrización del ámbar por la fricción fue transmitida de un escritor a otro, nada nuevo sobre el fenómeno fué descubierto durante más de 2,000 años. Sólo a principios del siglo XVII, Sir William Gilbert anunció el descubrimiento de que muchas sustancias podían ser electrizadas por frotamiento. Gilbert denominó este efecto como ELECTRICO, de acuerdo con la palabra ELECTRON. Ahora está bien establecido que todos los cuerpos cuando se frotan entre sí, se electrizan y que el ámbar es, precisamente, uno de los muchos materiales que manifiestan el efecto con más intensidad.

Tiempo después, a Benjamín Franklin -1706-1790- se le deben los términos MAS y MENOS, y electricidad POSITIVA y NEGATIVA, debido a que cuando dos objetos se frotan entre sí, uno de ellos acumula un exceso de fluido y resulta cargado positivamente, mientras que el otro pierde fluido y queda cargado negativamente. Ahora sabemos que lo anterior es producto de que la materia está constituida por átomos y moléculas. Dicho de otra forma, si un cuerpo pierde electrones por alguna causa, el cuerpo queda cargado positivamente; si los gana, se carga negativamente. Franklin es inventor del pararrayos que más tarde fue usado como antena para la transmisión y recepción de ondas eléctricas.

De igual manera, es difícil saber cuándo comienza la electrónica, pero de acuerdo a ciertos investigadores, ésta se inicia en el año de 1883, con el descubrimiento del EFECTO EDISON, que se explicará en el punto 2.1.

1.2. Antigua Telegrafía a Chispas

La electricidad y el magnetismo tuvieron sus avances en los descubrimientos e invenciones de Michael Faraday, quien en el año de 1832 predijo la existencia de las ONDAS ELECTROMAGNETICAS, base de las comunicaciones inalámbricas en nuestros días.

La historia de las comunicaciones inalámbricas comienza con Michael Faraday y con el genio matemático de James Clerk Maxwell, quien dió forma matemática a las especulaciones de Faraday, respecto a las líneas de fuerzas magnéticas.

Maxwell, hombre de ciencia británico que en el año de 1864 demostró la existencia de las ondas radioeléctricas y calculó

correctamente la velocidad de su propagación. Considerando que en el tiempo de Maxwell no había aparatos capaces de producir ondas eléctricas o de identificar su presencia si es que fuesen producidas. La hazaña de Maxwell es tal que se le considera todavía como un milagro.

Este gran científico, quien estuvo tan seguro de la existencia de las ondas radioeléctricas años antes de que se pudiesen producir, fue uno de los hombres más interesantes. Nació en Edimburgo el 13 de junio de 1831. Como escolar en la Academia de Edimburgo fue notable en dos cosas; primero, por su facilidad para las matemáticas y segundo, por su afición a escribir poesías generalmente de naturaleza humorística. Pasó a la Universidad de Edimburgo y después a la Universidad de Cambridge donde estudió matemáticas. En Cambridge fue uno de los primeros matemáticos de su generación y le fue concedida una beca en su colegio.

Era Maxwell un joven de 33 años cuando anunció su gran descubrimiento. De sus propios experimentos y de las enseñanzas de otros científicos, Maxwell adquirió todos los conocimientos que pudieron ser aprendidos acerca de la electricidad, ciencia relativamente nueva en esa época. Más tarde trabajó con sus ecuaciones matemáticas y, por uno de los más grandes triunfos obtenidos por el entendimiento humano, probó la existencia de las ondas radioeléctricas. Demostró que estas serían de diferentes tamaños, o de diferentes longitudes de onda, como decimos actualmente, y que las ondas se propagarían a una velocidad determinada a través del aire y a otra velocidad distinta a través del agua. Maxwell no disponía de medios para producir ondas eléctricas; sin embargo, afirmaba que se lograría y que alguien encontraría la manera de hacerlo algún día.

Veintitrés años más tarde, en 1887, un hombre de ciencia alemán empezó a hacer investigaciones sobre aquellas ondas radioeléctricas a que Maxwell se refería. Se trataba de Heinrich Hertz, quien trabajando en su laboratorio de Bonn, logró producir e identificar ondas eléctricas a cierta distancia, y por una serie de experimentos demostró que aquellas se comportaban exactamente como Maxwell lo había concebido.

En realidad Hertz sólo podía enviar sus ondas eléctricas a muy corta distancia, de una a otra parte de su laboratorio, pero dichas ondas eran verdaderas ondas radioeléctricas. Este hecho constituyó el principio de la telegrafía inalámbrica que conocemos hoy en día.

Hertz produjo sus ondas eléctricas por medio de un conjunto de aparatos al que llamó OSCILADOR. Este oscilador se componía de dos partes exactamente iguales, cada una de las cuales consistía en una varilla de metal delgado, de cerca de 45 cm. de longitud, con una esfera metálica de 30 cm. de diámetro en un extremo y otra pequeña esfera de metal en el otro extremo de la varilla. (Ver figura 1). Conectando los dos extremos a una bobina de inducción, Hertz cargaba su oscilador. Un extremo del oscilador se cargaba con electricidad positiva y el otro con electricidad negativa.

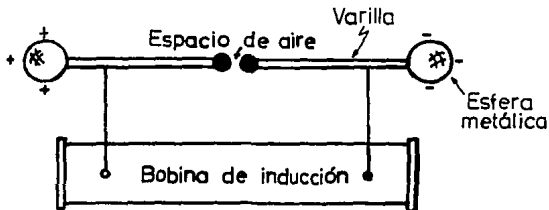


figura 1 Oscilador Empleado por Hertz

Hertz también creó un resonador para identificar la presencia de las ondas eléctricas. (Ver figura 2). Tomó un trozo de alambre grueso de 2.5 metros de longitud y soldó a sus extremos pequeñas esferas de metal. Luego dobló el alambre en forma de anillo, de modo que las pequeñas esferas quedaran muy cerca una de otra. Este simple instrumento fue llamado RESONADOR por Hertz y se puede pensar que este sencillo aparato constituyó el primer receptor de ondas radioeléctricas del mundo.

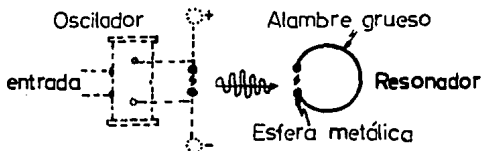


figura 2 Resonador Usado por Hertz

Cuando Hertz sostenía este aparato cerca de su oscilador, una débil chispa saltaba a través del espacio situado entre las dos esferas pequeñas del resonador, cada vez que chispeaba el oscilador. Hertz nunca se imaginó que esas débiles chispas eran los principios de la telegrafía inalámbrica. Además Hertz demostró categóricamente por medio de sus experimentos que sus ondas se comportaban como Maxwell lo había establecido, exactamente en la misma forma que las ondas de luz.

Sin embargo, con anterioridad a los días de Maxwell y Hertz, hubo hombres que desconociendo lo que eran ondas eléctricas, ensayaron otros métodos para comunicarse de un punto a otro sin conexión alámbrica. Uno de estos primeros hombres fue el in-

ventor norteamericano Samuel Morse, quien ideó el alfabeto de puntos y rayas que lleva su nombre. (Ver figura 3). En 1842 Morse experimentó en telegrafía en Nueva York. Su sala de lectura estaba conectada por un cable a una estación transmisora distante una milla. En su recorrido este cable atravesaba un río. Un día el paso de una embarcación rompió el cable y, sin embargo, Morse continuó recibiendo el mensaje telegráfico a lo largo del cable cortado. Este accidente suscitó en Morse la idea de nuevos experimentos. Transmitió señales desde una placa de metal sumergida en el agua de una de las márgenes del Canal Chesapeake, en Washington, a otra placa sumergida en la orilla opuesta del canal.

A --	G ---	M --	S ...	Y ----	5
B	H	N --	T -	Z ----	6
C	I ..	O ---	U ...	1	7
D ...	J ----	P	V	2	8
E .	K ---	Q ----	W ...	3	9
F ...	L	R ...	X ----	4	0

figura 3 Alfabeto Morse

Para enviar una señal larga, o sea una raya en el código Morse, se mantendrá el manipulador operando durante 2 segundos. Una nota estable de igual tiempo se oír en los teléfonos.

Para enviar una señal corta, o sea un punto, en el código Morse, el manipulador se presiona y se suelta rápidamente. Se oír en los teléfonos una nota corta y aguda.

El famoso inventor Thomas Alva Edison realizó infructuosos intentos de comunicaciones inalámbricas en 1892. Otro famoso investigador norteamericano, Nikola Tesla, realizó ensayos con mayor éxito un año más tarde.

En 1877, David Edward Hughes realizó el invento del micrófono. (Ver figura 4), presentándolo ante la Royal Society de Londres el año siguiente.

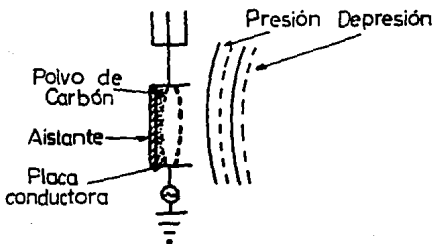


figura 4 Esquema del Micrófono

Este micrófono era tan sensible que, según dicen, si una mosca caminaba sobre él, sus pasos podían ser oídos en el teléfono Bell al cual el micrófono estaba conectado. Un día del año de 1879, en que Hughes se hallaba experimentando con un micrófono que no estaba constituido más que por una aguja de acero levemente apoyada sobre una pieza de carbón de coque, se produjo un descubrimiento accidental. Hughes encontró que su micrófono captaba sonidos que venían de instrumentos eléctricos a los cuales no estaba conectado, lo que provocó que estudiara tesoneramente este accidental descubrimiento. A fin de evitar la necesidad de un asistente construyó un transmisor automático y con este pequeño instrumento, que consistía de una batería, de una bobina y un interruptor accionado por un mecanismo de relojería, interrumpía el paso de la corriente a través de la bobina.

El receptor era uno de sus micrófonos con un teléfono en el circuito. Cada vez que la corriente era interrumpida en el transmisor, Hughes podía oír el CLICK correspondiente en el teléfono de su receptor. Dejando que su transmisor accionara automáticamente, Hughes podía captar las señales de su receptor a una distancia superior a 445 metros.

Hughes se convenció que estaba haciendo uso de lo que él llamó ONDAS ELECTRICAS AEREAS. Mostró su aparato a los científicos de su tiempo, quienes desaprobaron la idea de Hughes acerca de las ondas eléctricas aéreas y de que estaba empleando esas ondas eléctricas. Esto, por supuesto, originó un atraso en la radiotelefonía, hasta la demostración triunfante de estas ondas por Hertz, aproximadamente ocho años después.

Buscando un procedimiento más sensible que el resonador empleado por Hertz, Edouard Branly, científico francés, comenzó en 1890 a estudiar el efecto de las ondas eléctricas sobre una masa de limaduras metálicas colocadas sobre un tubo en cuyos extremos del mismo, se conectó un alambre que hacía contacto con las limaduras, haciendo pasar una corriente eléctrica generada por las

chispas del oscilador de Hertz, descubriendo Branly que las limaduras se volvían repentinamente de mayor conductibilidad y permitían el paso de una corriente eléctrica mucho mayor a través de ellas. Un golpe suave dado sobre el tubo de cristal restablecía la posición de las limaduras a su condición original y la corriente que pasaba a través de ellas disminuía otra vez. En realidad, Branly volvió a descubrir lo que Hughes había hallado en 1879: la recepción de señales inalámbricas por medio de ondas eléctricas.

Sir Olivier Lodge, uno de los más famosos precursores de las radiocomunicaciones, construyó un detector basado en los estudios de Branly, al que dió el nombre de COHESOR, palabra derivada de COHERE que significa adherido fuertemente. Lodge agregó al cohesor de Branly un DESCOHESOR, dispositivo que golpeaba automáticamente en el tubo de limaduras y la hacía volver a su posición normal de reposo, después de la señal recibida para que la corriente que pasaba a través de las limaduras disminuyera.

En 1894, en Oxford, Lodge demostró con el mayor éxito el envío de mensajes telegráficos por medio de ondas eléctricas. El transmisor usado consistía en un oscilador de Hertz con bobina de inducción. En uno de los extremos conectaba la batería a la bobina de inducción, insertando un manipulador Morse para cerrar e interrumpir el circuito y, de esta manera, poder transmitir en código Morse.

La estación receptora estaba formada por un colector de ondas eléctricas, muy parecido al oscilador de Hertz, un cohesor con el dispositivo descohesor, un relay y un inscriptor. Los puntos y rayas del código Morse fueron registrados por el inscriptor sobre una cinta de papel. Con este aparato Lodge envió mensajes a varios cientos de metros, dando lugar al nuevo sistema de comunicaciones por medio de ondas eléctricas. (Ver figura 5).

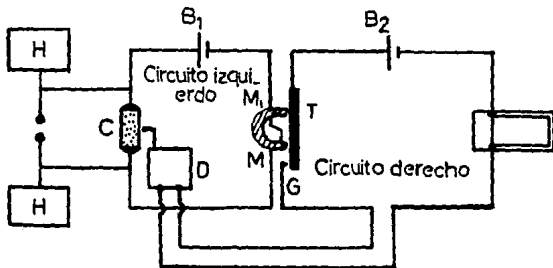


figura 5 Receptor Lodge del año 1894
con Cohesor e Inscriptor

HH es el oscilador de Hertz, usado como antena receptora. C es el cohesor en donde las limaduras metálicas se adherían y permitían el paso de una corriente mayor desde la batería B1, a través de ellas. Esta mayor corriente, en su curso alrededor del circuito izquierdo, pasaba a través de los arrollamientos de los dos electroimanes M y M1 del relé, produciendo la atracción de la armadura T hacia aquellos y cerrando el espacio de aire G. Al cerrarse el circuito en G se completaba el circuito derecho y circulaba una corriente desde la batería B2 por este circuito.

Esta corriente del circuito derecho hacía dos cosas: primero, causaba el movimiento del inscriptor, el que marcaba un signo sobre una cinta de papel que pasaba a través de él; en segundo lugar, ésta pasaba a través del dispositivo descohesor D y hacía que el martillo de éste golpeará al cohesor C, para restablecer las limaduras a su condición original de alta resistencia. Por lo tanto, disminuía la corriente del circuito izquierdo, el relé soltaba la armadura T, se interrumpía la corriente en el circuito derecho y el inscriptor cesaba de marcar en la cinta de papel.

En una conferencia dada por Sir Oliver Lodge sobre las ondas hertzianas en el año 1894, se encontraba presente un profesor italiano llamado Righi, quien se mostró profundamente interesado por el estudio de las ondas eléctricas. A su regreso a Italia, el profesor llevó consigo un cohesor de Lodge, con el objeto de que fuera observado por un joven amigo y compatriota, Guillermo Marconi, quien inmediatamente emprendió la tarea de perfeccionar el aparato radiotelegráfico empleado por Lodge.

El primer adelanto hecho por Marconi fue el mejoramiento del cohesor de tipo Branly-Lodge. En lugar de un tubo de cristal grueso, de 2 ó 3 pulgadas de largo, conteniendo burdas limaduras metálicas, Marconi empleó un pequeño tubo que contenía un tapón de plata en cada extremo y llenó el pequeño espacio situado entre los dos tapones con polvo de una aleación de níquel y plata. (Ver figura 6).

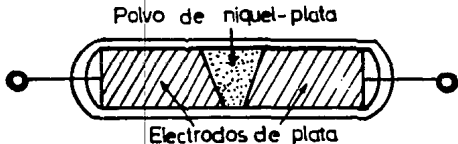


Figura 6 Cohesor Marconi

El cohesor de Marconi era un detector mucho más sensible y seguro que los cohesores anteriores.

El detector COHESOR tenía dos serias desventajas: en primer lugar, no permitía un funcionamiento rápido ya que sólo permitía 10 palabras por minuto. El segundo y más serio defecto del cohesor era su susceptibilidad para captar otras ondas eléctricas, tales como relámpagos y demás descargas de electricidad atmosférica, que afectaban a los puntos y rayas de un mensaje en código Morse.

En 1902 se introdujo el DETECTOR MAGNETICO DE MARCONI, que permitía recibir mensajes a mayor velocidad, aunque sí era afectado por el clima en regiones tropicales.

Cuando las ondas eléctricas de un transmisor eran captadas por la antena y la corriente resultante pasaba a través del detector, tenía lugar una destrucción parcial de las LEAD TRESS (ramificaciones) que son estructuras cristalinas. Inmediatamente que cesaba la corriente, las ramificaciones se formaban nuevamente. La destrucción y aumento de estas ramificaciones causaban cambios en el paso de corriente entre los electrodos del detector y estos cambios de corriente producían sonidos en el teléfono conectado al detector.

Después de la Gran Guerra de 1914-1918 se utilizaron detectores de cristal compuesto de un alambre de oro en contacto con pirritas de hierro, un alambre de plata en contacto con molibdenita y un alambre de cobre en contacto con galena*. Estos detectores todavía son utilizados en nuestros días.

* la galena es pirita de cobre y sulfuro de plomo natural que permite el paso de una corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro. La galena se comporta como un DIODO.

En el año de 1895, Marconi en Italia y Popoff en Rusia, asombraron con transmisiones de señales radioeléctricas que alcanzaron más de una milla. Ambos experimentadores emplearon osciladores hertzianos para enviar sus ondas eléctricas, utilizando antenas aéreas en la recepción. La antena usada por Popoff era un conductor común de pararrayos. Sin embargo, Marconi avanzó un paso más allá que Popoff, y usó también una antena en la transmisión. Marconi descubrió que cuanto más grande era esta antena transmisora, mayor era la distancia a la que podía enviar sus señales. Igualmente descubrió que enterrando la antena en la tierra en los extremos de transmisión y recepción, se acrecentaba mucho la distancia a la que podía enviar sus señales.

Comprendiendo que su aparato tenía valor comercial, Marconi se trasladó a Inglaterra en febrero de 1896 y adquirió una patente que cubría su sistema de telegrafía inalámbrica, siendo la primera patente de esta índole.

Sin embargo había un gran defecto en la telegrafía de aquellos primeros años. El operador de una estación receptora no seleccionaba la estación que deseaba oír. Si varias estaciones efectuaban transmisiones al mismo tiempo, un receptor las captaba como una mezcla ininteligible de señales. Un mensaje sólo podía ser recibido sin interferencia cuando un sólo transmisor estaba funcionando. Lo peor de todo era que para aumentar el alcance de las transmisiones, cada uno usaba mayor potencia o una antena de mayor tamaño, lo que contribuía aún más a que aumentara la interferencia entre los receptores.

1.3.

Sintonización y Cómo se Efectúa

La sintonización en la radiotelegrafía se basa en el principio de que el receptor debe estar hecho para responder en correspondencia con el oscilador.

El primer paso hacia la sintonización en radiotelegrafía fue dado por Sir Oliver Lodge, quien en sus experimentos en 1897 agregó una bobina de alambre a su antena de transmisión, (figura 7), algunas veces denominada BOBINA DE CARGA. En el curso de sus experimentos, Lodge descubrió que su bobina de carga le proporcionaba un método para sintonizar su oscilador y que, por medio de una bobina de carga similar, podía sintonizar su antena receptora para que pudiera responder en correspondencia con su oscilador.

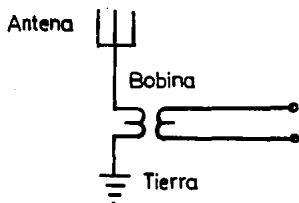


Figura 7 Antena con su Bobina de Carga

El método de sintonización de Lodge fue adoptado universalmente, después de ser publicados los detalles de este invento, en agosto de 1898.

Debido a los éxitos anteriores, Marconi decidió enviar señales radiotelegráficas a través del Océano Atlántico. Los lugares elegidos por Marconi para sus estaciones trasatlánticas fueron Poldhu, Cornwall en Inglaterra, y Cape Code, Mass. en los Estados Unidos de América. Marconi conquistó el Atlántico el 12 de diciembre de 1901, sólo 14 años después de que Hertz descubriera las ondas radioeléctricas. Sin embargo, se necesitaba un pequeño ajuste de sintonía, el cual se logró por medio de un condensador de capacidad variable. (Ver figura 8).

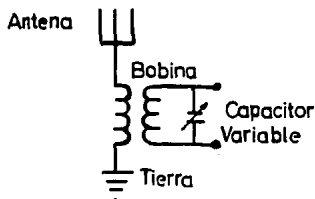


Figura 8 Antena con Capacitor Variable Para Obtener Ajuste de Sintonía

1.4. Principio Básico Usado en el Pasado para la Transmisión de Ondas Continuas en Radiotelefonía

El principio básico para la transmisión de ondas continuas en radiotelefonía consistía en una sucesión de descargas de chispas que seguían unas a otras de un modo regular y definido, y tan rápidamente como para producir un efecto de onda continua. Este método fue introducido por Marconi en 1907. En el método de transmisión a chispas, las ondas eléctricas se emiten en grupos desde la antena. Un transmisor a chispas podía chispear 200 veces por segundo, produciendo cada chispa un grupo de ondas que se producían en 1/1000 de segundo.

El tiempo total empleado en enviar ondas en cada segundo sería por consiguiente, 1/5 de segundo, siendo los 4/5 de segundos siguientes los absorbidos por la interrupción entre grupos de ondas. Así que el tiempo perdido entre las chispas era una seria desventaja en este método de transmisión. Era obvio que se estaba descubriendo un método para producir una corriente de ondas continuas. La transmisión radiotelegráfica sería más eficiente y más económica ya que no existirían interrupciones gastadas entre los grupos de ondas. Esto puede ser comprendido mejor observando la figura 9.

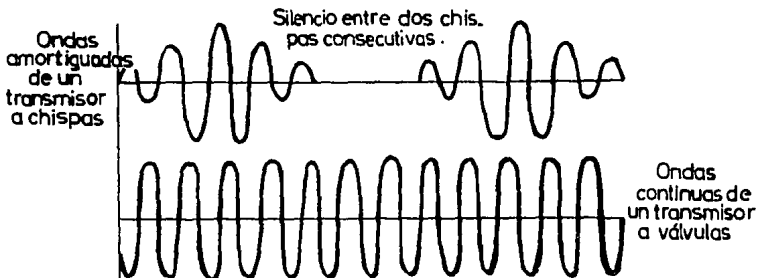


Figura 9 Ondas Continuas y Amortiguadas

Uno de los antiguos métodos de producir ondas continuas en la transmisión de ondas era por medio de una dinamo de corriente alterna de alta velocidad que tenía una frecuencia de aproximadamente 30,000 ciclos por segundo (Hz), para producir el tren de ondas. Posteriormente en 1902 se usó el arco generador de Poulsen que dió lugar a un generador seguro de ondas continuas.

Desde su aparición, como uno de los inventos más extraordinarios de este siglo de progresos científicos, la válvula o bulbo efectuó dos sorprendentes transformaciones. En primer lugar revolucionó la telegrafía inalámbrica y en segundo lugar, ha resuelto los problemas más difíciles de la telefonía inalámbrica logrando que la transmisión de la palabra y de la música fuera una realidad.

Lo más notable de las válvulas fue el número de funciones que cumplió:

- Como generadora de ondas continuas fue mucho más eficiente que un alternador de alta frecuencia, que un arco eléctrico y que el transmisor de chispa espaciada, siendo el punto de partida de las modernas estaciones transmisoras y de modernos receptores de telefonía.
- Como detectora de ondas eléctricas fue excelente. Sin embargo, en recepción, su más apreciada propiedad fue su capacidad de amplificación. Por medio de la válvula, las más débiles señales de ondas eléctricas captadas por la antena podían ser amplificadas enormemente. Aparte las válvulas fueron usadas en sistemas de amplificadores de audiciones públicas y en las películas sonoras, al reproducir los sonidos.

La historia de la válvula y el inicio de la electrónica comienza con el inventor Thomas Alva Edison en el año de 1883.

2.1. Efecto Edison

En 1883 Thomas Alva Edison, en uno de sus experimentos mientras buscaba como mejorar la luz eléctrica, metió un alambre metálico en una bombilla cerca del filamento caliente. Con sorpresa vio que la electricidad fluía desde el filamento caliente al alambre metálico, a través del espacio que lo separaba. Edison apuntó esto en su cuaderno y lo patentó en 1884. No tuvo utilidad inmediata para sus proyectos, de modo que lo dejó a un lado. Pero el efecto Edison fue de gran importancia en la década siguiente, cuando se comprendió su naturaleza eléctrica, gracias a hombres más científicos, como J. J. Thompson.

Cuando Edison experimentaba con su lámpara incandescente, se interesó por los depósitos oscuros que aparecían en el interior de ella. Con el fin de entender la naturaleza de esos depósitos oscuros, Edison realizó el experimento que se ilustra en las figuras 10 (a) y 10 (b)

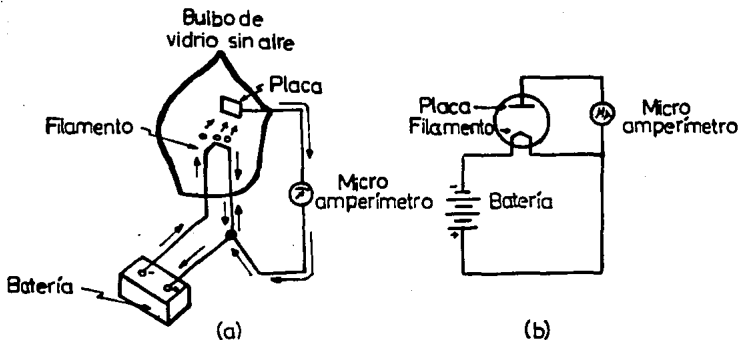


Figura 10 Experimento de Edison
(a) Pictórico (b) Esquemático

Para su experimento, Edison conectó una batería al filamento. La corriente eléctrica que pasaba por este último, hizo que se calentara y se pusiera incandescente; o sea, empezó a emitir luz. Puso una placa metálica en el interior de la lámpara de vidrio, esperando obtener en esa placa cierta cantidad del depósito indeseable. Por alguna razón, Edison conectó un microamperímetro entre la placa y uno de los contactos del filamento. Para sorpresa suya, el medidor indicó que fluía una corriente eléctrica. Esto era contrario a todos los principios básicos de la electricidad que conocía Edison.

Por ejemplo, sabía que, para que circulara una corriente eléctrica, debía poder salir de la fuente de voltaje y, asimismo, regresar a la fuente de voltaje. Sin embargo, en el circuito simple de la figura 10 (a), no parecía haber una fuente de voltaje que impulsara a la corriente eléctrica por el microamperímetro. Además, la placa estaba situada en un vacío, por lo que aparentemente el circuito se encontraba abierto. En otras palabras, no parecía haber una trayectoria completa para la circulación de la corriente. A esto se le conoce como EFECTO DE EDISON.

En la época de Edison no se había presentado todavía la idea de los electrones (é) y su flujo. En la actualidad sabemos que cuando el filamento se pone al rojo vivo, expulsa electrones de su superficie. Como se recordará, los electrones (é) se des-

plazan a gran velocidad en torno al núcleo del átomo. Al calentarse éste último, la velocidad de giro aumenta y, al fin, un electrón puede adquirir una velocidad para escapar y liberarse del átomo. Esos elementos de la superficie del átomo se alejan simplemente hacia el espacio y algunos de ellos chocan con la placa, que se encuentra cerca del filamento.

Cuando un electrón se desprende de un átomo del filamento, dicho átomo se queda con un déficit de un electrón. Considerando que en un átomo normal, el número de electrones en las órbitas es igual al número de protones que hay en el núcleo. Así, si un electrón sale de un átomo, éste último se queda con una falta de un electrón. Entonces se dice que está CARGADO POSITIVAMENTE. Puesto que hay muchos electrones que escapan del filamento calentado, éste último se carga positivamente. Los electrones que chocan contra la placa regresan al filamento cargado positivamente por el medidor.

2.2. El Tubo Diodo

Aunque realmente Edison fue quien descubrió el principio del tubo de dos elementos en 1883, nunca se dió cuenta de este hecho. En 1896, J. A. Fleming investigó el efecto Edison y creó en 1904 un tubo de dos elementos que entonces fue denominado VALVULA FLEMING. En aquel tiempo el nombre era adecuadamente descriptivo del tubo, aunque en la actualidad se le denomina DIODO. Esta es la forma más simple de tubos electrónicos, y se compone sólo de dos elementos o electrodos, para emitir y recoger los electrones. El electrodo que los emite se denomina EMISOR o CATODO, y el electrodo que los recoge se denomina PLACA o ANODO. (Ver figuras 11 (a) y 11 (b)).

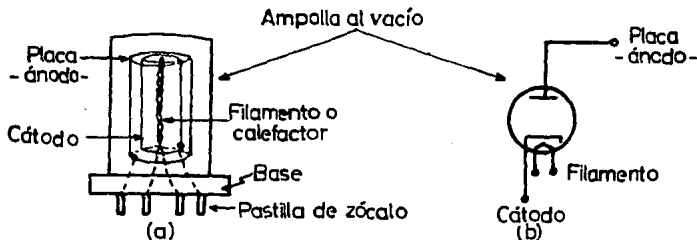


Figura 11 (a) Constitución de un Diodo
Figura 11 (b) Circuito Esquemático

En la Figura 12 (a) se ha agregado una batería al circuito de Edison, entre la placa y el filamento. La terminal positiva de la batería atrae a los electrones negativos del interior del diodo -las cargas de signos contrarios se atraen-. Esto provoca un flujo de corriente mucho mayor al del experimento original

que se ilustró en la figura 10. Se dice que tiene POLARIZACION DIRECTA cuando se conecta el diodo en el circuito, de tal modo que su placa sea positiva respecto a su filamento. Si se invierte la batería, como se muestra en la figura 12 (b), de modo que la terminal negativa esté conectada a la placa, no fluirá corriente. El voltaje negativo de la placa repele a los electrones negativos -las cargas del mismo signo se repelen-. Al conectar el diodo en el circuito, en tal forma que su placa sea negativa con respecto a su filamento, se dice que tiene POLARIZACION INVERSA.

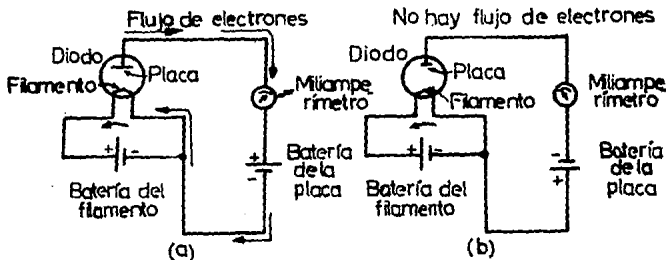


Figura 12 Acción de un Diodo como Válvula

- (a) cuando se conecta un voltaje positivo a la placa fluye una corriente de electrones
 (b) cuando se conecta a la placa un voltaje negativo, no fluye corriente de electrones

El diodo es en realidad el primer componente electrónico, porque no solo proporciona una trayectoria para el flujo de electrones, sino también ejerce cierto control sobre ellos. En este caso controla la dirección en que se permite que circulen los electrones.

Fleming realizó muchas veces el mismo experimento que Hertz había hecho en 1887. Colocó cerca un oscilador y un receptor simples. El oscilador funcionaba con una bobina de inducción y el receptor tenía como detector una de las lámparas eléctricas especiales.

Situando el oscilador y el receptor a cierta distancia fuera de su laboratorio, Fleming puso en funcionamiento el oscilador. Con gran alegría notó que su receptor respondía a las ondas eléctricas que emitía el oscilador y en esa forma convertía en realidad la idea de un nuevo detector de ondas eléc-

tricas.

Fleming comprobó más adelante que, para obtener mejores resultados con su detector a lámpara, debía reemplazar la pequeña placa de metal por un cilindro metálico que envolvía todo el filamento de carbón, para aprovechar la emisión de electrones que salían del emisor en todas direcciones. Así fue como se construyó la primera válvula Fleming que se usó como detector en la recepción de telegrafía inalámbrica.

En su antigua forma, la válvula detectora de Fleming fue muy empleada por la Marconi Wireless Telegraph Company. De igual modo que muchos de los detectores a cristal que se usaron desde 1906 en adelante, la válvula de Fleming debía su capacidad de detección a su propiedad de permitir la conductibilidad en un solo sentido. Como detector, la válvula de Fleming poseía la ventaja de su gran estabilidad. No estaba sujeta a repentinos inconvenientes debido a pequeños golpes, como sucedía con los detectores a cristal. De ella surgió la gran industria electrónica como la radio, la televisión, etc.

2.3. Audión de Rejilla o Triodo

En 1906, Lee De Forest presentó un invento que contribuyó a modificar completamente los métodos de las comunicaciones por radio, llamándolo AUDION DE REJILLA, al que en la actualidad se le conoce más como TRIODO (abreviatura de tubo al vacío de tres componentes).

En las figuras 13 (a) y 13 (b) se muestra la construcción básica del triodo, tal y como lo inventó De Forest. Observarán que tiene una placa y un filamento como el diodo, pero se ha insertado un alambre adicional de rejilla entre la placa y el filamento. Este alambre de rejilla recibe el nombre de REJILLA DE CONTROL. El filamento, la rejilla de control y la placa, se encuentran en una envoltura de vidrio o metal. Es necesario extraer todo el aire del interior del bulbo para evitar que el filamento caliente se combine con el oxígeno. Si entra aire al bulbo, el filamento se quemará con mucha rapidez.

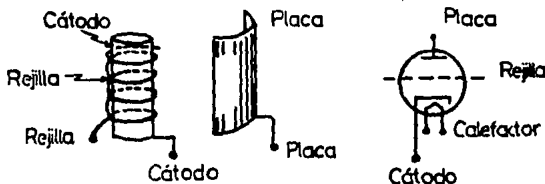


Figura 13 El Audión de Rejilla
(a) Constitución del Triodo
(b) Símbolo Esquemático

Los electrones en el triodo se desplazan del filamento calentado a la placa positiva, tal y como lo hacen en el diodo; sin embargo, en su camino deben pasar por los alambres de la rejilla.

Si se hace la rejilla muy negativa, repelerá los electrones negativos hacia el filamento -las cargas del mismo signo se repelen-. En estas condiciones, ninguno de los electrones llegará a la placa. Si hay un voltaje nulo en la rejilla, llegará a la placa una gran cantidad de electrones.

Por lo tanto, la cantidad de electrones que llegan a la placa en cualquier instante dado, depende del voltaje de la rejilla. Lo que es todavía más importante, es el hecho de que un pequeño cambio en el voltaje negativo de la rejilla produce un cambio considerable en la cantidad de electrones que llegan a la placa. Es este factor el que hace que resulte posible la AMPLIFICACION. (Ver figura 14). El triodo hizo factible que los receptores de radio sintonizaran señales débiles, procedentes de emisoras situadas a grandes distancias.

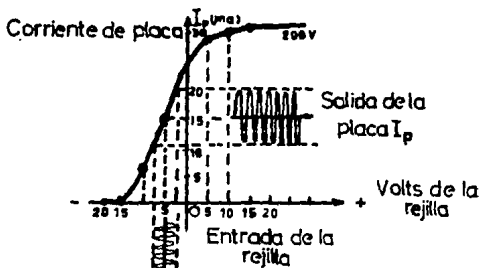


Figura 14 Diagrama que Ilustra la Amplificación en el Triodo

La siguiente fórmula era usada para calcular el coeficiente de amplificación en el triodo:

$$\eta = \frac{V_P}{V_R}$$

η : Coeficiente de amplificación
 V_P : Voltaje en placa
 V_R : Voltaje en rejilla

EJEMPLO: en el caso concreto de que la variación de 2v en rejilla equivale a una variación de 50v en placa, el valor de coeficiente de amplificación será:

$$\eta = \frac{50 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 25$$

lo que equivale a decir que, respecto a la corriente de placa del triodo, una variación de un volt en la tensión de la rejilla, equivale a una variación de 25 volts en la tensión de placa.

Es importante darse cuenta de que la introducción de la rejilla entre el cátodo y la placa ha permitido convertir al diodo, que sólo sirve para detectar, en un instrumento capaz de amplificar. Todo el enorme progreso realizado en la radiotecnica desde sus comienzos tiene su fundamental partida en el efecto amplificador producido por la presencia de la rejilla.

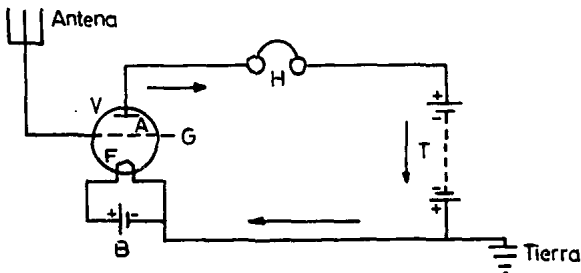


Figura 15 Funcionamiento del Triodo

Consideremos ahora la Figura 15. En este diagrama V representa una válvula de tres electrodos. El filamento F es calentado por un Acumulador B. El ánodo A es conectado a través de un par de audífonos H a la terminal positiva de una batería T de alta tensión. La terminal negativa de esta batería y el terminal negativo del acumulador son conectados a tierra. La rejilla G de la válvula se conecta a la antena.

Quando el filamento F se calienta por la corriente del acumulador B, se desprenden electrones de aquél. Como el ánodo A es positivo, estos electrones son atraídos por el ánodo. La corriente de electrones del filamento del ánodo A provoca una corriente estable, que pasa a través de los audífonos H, la batería de alta tensión T, y vuelve al filamento F.

Esta corriente uniforme se llamaba CORRIENTE ANODICA. Ahora bien, la rejilla G se encuentra en línea directa con la corriente de electrones del filamento F al ánodo A. Si la rejilla

se hace eléctricamente positiva, se sumará su atracción a la del ánodo A, para los electrones que parten del filamento F y la corriente uniforme del ánodo aumentará. Si la rejilla se hace negativa, repelerá los electrones que emite el filamento F y bloqueará su camino al ánodo A. Esto causará una disminución de la corriente anódica. Pequeños cambios en la polaridad de la rejilla causarán de esta forma grandes cambios en la corriente del ánodo.

Cuando las ondas eléctricas son captadas por la antena, la corriente resultante de la señal afecta a la rejilla G, puesto que ésta se conecta a la antena. El efecto sobre la rejilla se traduce en cambios de polaridad sobre ella. Cada vez que hay uno de estos cambios en la rejilla, hay un cambio correspondiente en la corriente anódica y a cada cambio en la corriente del ánodo, corresponde un SONIDO en los audífonos H, a través de los cuales pasa la corriente anódica. De esta manera, las corrientes producidas por la señal son reproducidas como sonidos en los audífonos.

Puesto que pequeñas variaciones en la rejilla provocaban grandes cambios en la corriente de placa, la válvula amplificaba las débiles señales antes de reproducirlas como sonidos.

2.4. Tubos de Electrodo Múltiples

Los tubos de electrodos múltiples o multielectrodos son tubos que tienen más de una reja, lo que permite lograr muchas características deseables y que no son posibles con el triodo.

2.4.1. El Tetrodo

Es un tubo que tiene cuatro electrodos -dos rejías- (ver figura 16). Es una consecuencia directa de la capacitancia indeseable de reja a placa en los triodos. Esta capacitancia lleva a efecto el acoplamiento e inestabilidad en los amplificadores de radio-frecuencia, mismos que no pueden ser eliminados, excepto empleando CIRCUITOS DE NEUTRALIZACION, costosos y complicados. Para eliminar esa capacitancia entre reja y placa, se le insertó un electrodo de blindaje adicional, llamada REJA DE PANTALLA, entre la reja de control y la placa de un triodo.

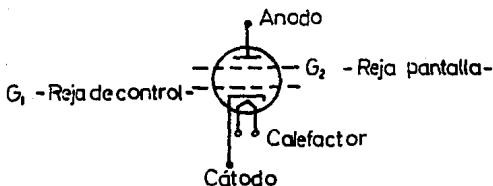


Figura 16 Símbolo Esquemático del Tetrodo

2.4.2. El Pentodo

Inventado en 1928. Es un tubo que tiene cinco electrodos -tres rejias- (ver figura 17). La inserción de una rejia adicional llamada REJA SUPRESORA, entre la placa y la pantalla de un tetrodo elimina los efectos indeseables de la emisión secundaria y la característica resultante de resistencia negativa para bajos voltajes de placa. Al eliminar la distorsión de la familia de características de placa, los pentodos retienen todas las ventajas de los tetrodos, o sea, baja capacitancia rejia-placa, alto factor de amplificación, y alta producción de potencia.

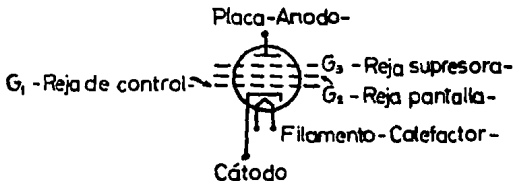


Figura 17 Símbolo Esquemático del Pentodo

2.5. Tubos Duros o de Alto Vacío

Las antiguas válvulas usadas en radiocomunicaciones tenían una gran cantidad de aire en su ampolla de vidrio, que había

quedado después de efectuar el vacío y este gas residual influía en el funcionamiento de las mismas. Por esta razón a esas viejas válvulas se le llamaron blandas, para distinguirlas de otras mejores llamadas válvulas duras o de alto vacío.

Las válvulas duras o de alto vacío fueron fabricadas por primera vez en Norteamérica por Irving Langmuir en 1915. Por medio de bombas de vacío especialmente diseñadas. Langmuir consiguió hacer un vacío tan grande en sus válvulas que la presión en su interior era equivalente a una columna de mercurio de 1/10,000 de pulgada de altura (0,00254 mm.). Langmuir designó a su válvula el nombre de PLIOTRON.

Cuando se pusieron en funcionamiento por primera vez las válvulas de alto vacío, no había diferencia entre válvulas receptoras y transmisoras. Cuando se necesitaba gran potencia en transmisión, se obtenía empleando un gran número de válvulas. En los exitosos experimentos de radiotelefonía realizados entre América y París, en 1915, se usaron 500 válvulas en el transmisor construido en Arlington, Virginia. Sin embargo, ya en ese tiempo se diseñaban y fabricaban válvulas de mayor potencia y tamaño.

Los emisores que más se usan en los tubos electrónicos son el tungsteno, calentado a temperaturas entre 2,200 y 3,000 grados K, tungsteno toriado -torio y carbono agregados al tungsteno-, operando aproximadamente a 1,900 grados K, y cátodos revestidos de óxido -óxido de bario y estroncio- que operan aproximadamente a temperaturas de 1,000 a 1.150 grados K.

2.6. Tubos Utilizados Actualmente

Se tiene la idea de que los transistores, circuitos impresos -CI- y los microprocesadores han sustituido del todo a los tubos electrónicos, y que estos ya no tienen aplicación alguna dentro de la electrónica. Pero es necesario decir que esto es falso, ya que las válvulas siguen teniendo gran demanda dentro de la rama de las comunicaciones, principalmente como OSCILADORES.

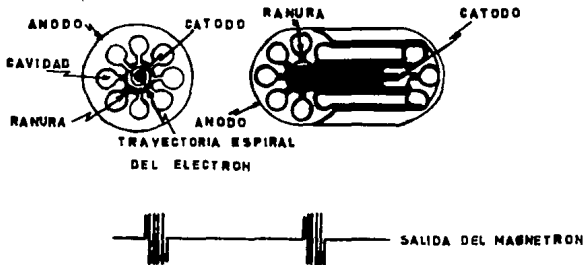
Porque al aumentar la frecuencia, algunos tubos o transistores dejan de trabajar satisfactoriamente. En los tubos esto se debe a las capacitancias interelectrónicas que comienzan a derivar las señales de alta frecuencia y lo mismo ocurre en los transistores, debido a las capacitancias de unión. Además, la DURACION DE TRANSITO de un tubo limita su respuesta de frecuencia, así como lo hace la MOVILIDAD DE PORTADORES de un transistor. Se encontrará que los tubos y transistores tienen un límite superior de operación. Por lo tanto, si las frecuencias son VHF -very high frequency- o más altas, la selección de los pasos para circuitos osciladores debe hacerse con mucho cuidado. Además, a las altas frecuencias, aun cuando se escogen los tubos apropiados, todavía se necesita tener en cuenta las capacitancias entre los devanados de los inductores del circuito y la inductancia de ciertos resistores; por ejemplo, las placas de condensadores. Asimismo, influirán la inducción que se produzca en el alambrado y las capacitancias entre los alambres. A frecuencias de 200 megaciclos y mayores, hasta la

disposición de las partes del circuito es importante. Al aumentar la frecuencia, todos estos factores se hacen cada vez más significativos y, como resultado, un oscilador estándar, diseñado para alta frecuencia, difiere en muchos aspectos de los que se usan para las frecuencias de radio más bajas. A continuación se describirán algunos de estos osciladores.

2.6.1. Oscilador de Magnetrón

Un oscilador de magnetrón puede producir salidas con potencia de miles de watts a frecuencias hasta de diez mil o más megaciclos. Como se muestra en la figura, el magnetrón esencialmente está constituido por un cátodo cilíndrico colocado dentro de un ánodo que, generalmente, es un grueso tubo de cobre. En el ánodo se cortan una serie de agujeros y ranuras radiales que parten de cada agujero hacia la pared interna del ánodo. A los agujeros se les llama CAVIDADES RESONANTES, pues son los equivalentes eléctricos de los circuitos sintonizados L.C. La frecuencia a que resuenan las cavidades está determinada por las dimensiones de las mismas. Si se hacen pasar electrones frente a la ranura de una cavidad, con una velocidad que corresponda a la frecuencia resonante de la cavidad, los electrones perderán energía que se transfiere a la cavidad. Debido a ello se inician y se sostienen las oscilaciones en la cavidad.

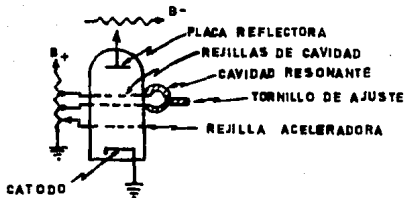
Por lo general, el ánodo de un magnetrón se mantiene al potencial de tierra y el cátodo se hace negativo, de modo que el primero sea positivo con respecto al segundo. Un intenso campo magnético se establece en el magnetrón, ya sea por medio de un imán permanente o bien electroimán, siendo la dirección del campo paralela al cátodo. El ánodo atrae a los electrones emitidos por el cátodo, ya que es más positivo que aquél; sin embargo, el campo magnético hace que los electrones sigan trayectorias espirales y, al hacerlo, pasen frente a las ranuras de la cavidad. El voltaje de ánodo y la intensidad del campo magnético deben ser tales que la velocidad de los electrones corresponda a la frecuencia resonante de las cavidades. Entonces en éstas se producen oscilaciones sostenidas de gran potencia, la cual se acopla magnéticamente de las cavidades a la salida del magnetrón. Por lo general, para producir las oscilaciones se emplean señales de pulsos que se aplican entre el cátodo y el ánodo, de modo que, entre un pulso y otro, el magnetrón está en reposo.



2.6.2. Oscilador de Klistrón

Los klistrones son una clase de tubos que pueden trabajar como amplificadores de alta frecuencia, o bien como osciladores, en cual caso se utiliza generalmente un tipo especial de tubo llamado KLISTRON DE ACCION REFLEJA, o simplemente, KLISTRON REFLEX. El tubo básico de este tipo contiene un cátodo, una rejilla aceleradora, dos rejillas de cavidad resonante y una placa que constituye el elemento reflector. Según se muestra en la figura, la cavidad resonante está conectada a las dos rejillas de cavidad.

Los electrones emitidos por el cátodo son atraídos hacia la rejilla aceleradora que tiene un potencial positivo y deja pasar la mayor parte de los electrones, concentrándolos en haces. Luego el haz electrónico atraviesa las dos rejillas de cavidad que, también, tienen un potencial positivo. El flujo de electrones que pasan de una rejilla a otra, frente a la cavidad resonante, inicia en ésta una oscilación, creando un campo eléctrico que varía sinusoidalmente entre las rejillas de cavidad. El campo eléctrico variable acelera y retarda alternadamente el flujo de los electrones y, cuando éstos llegan al área más allá de la segunda rejilla de cavidad, ya no vienen en haces sino divididos en grupos.



La placa está a un potencial negativo, por lo que repele los grupos de electrones. Los cuales **INVIERTEN** su dirección y regresan a las rejillas de cavidad. Siendo apropiado los potenciales de los electrodos y el esparcimiento que haya entre ellos. Cada grupo de electrones volverá a las rejillas de cavidad precisamente cuando el flujo de electrones se retarda debido a la polaridad del campo magnético. Pero la energía que poseen los electrones del grupo se **SUMA** a la del campo eléctrico, con lo cual se **INCREMENTA** la energía de la cavidad resonante y, por consiguiente se sostienen las oscilaciones. Los potenciales de la rejilla aceleradora y de la placa reflectora se pueden ajustar de tal manera que el agrupamiento de los electrones esté sintonizado con las oscilaciones de la cavidad resonante.

CAPITULO III EL TRANSMISOR COMERCIAL MAS IMPORTANTE EN LOS INICIOS DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS Y LOS PRIMEROS RECEPTORES

Antes de la invención de las válvulas termoiónicas, se realizaron numerosos intentos para transmitir la palabra por medio de ondas eléctricas. R. A. Fessenden, uno de los más famosos precursores de las radiocomunicaciones de América del Norte, consiguió en el año de 1901 transmitir palabras inalámbricas a una distancia de una milla. Sin embargo, el método era muy rudimentario y tenía que perfeccionarse mucho. En 1906, Fessenden empleó un alternador de alta frecuencia y transmitió palabras y música a 25 millas, un año después consiguió aumentar esa distancia a 100 millas, perfeccionando su alternador de alta frecuencia.

Al mismo tiempo, la compañía alemana Telefunken empleó con éxito un transmisor a arco de Poulsen, para enviar palabras desde Nauen hasta Berlín, distante 20 millas.

A pesar de todas estas notables transmisiones, la telefonía inalámbrica permaneció en la etapa experimental hasta que se perfeccionaron las válvulas transmisoras. El advenimiento de la válvula transmisora proporcionó un medio de generar ondas continuas perfectamente uniformes y el amplificador a válvulas hizo posible la amplificación de las débiles corrientes del micrófono, siendo todo lo necesario para poder ser aplicadas al transmisor.

En 1918, la compañía Marconi transmitió palabras por radiotelefonía desde Irlanda a Nueva Escocia, Canadá, empleando dos válvulas transmisoras. La potencia de estas dos válvulas era la sexta parte de la potencia total de las 500 válvulas usadas por los ingenieros norteamericanos en su prueba transatlántica de 1915.

3.1 Transmisor Transatlántico Comercial Más Importante

Uno de los más notables sistemas de radiotelefonía, el RUGBY TRANSATLANTIC, fue terminado en 1926. Con este sistema quedaron unidos Londres y Nueva York por un servicio radiotelefónico de dos vías. Los mensajes de Londres se enviaban por línea terrestre al transmisor de Rugby. Desde Rugby el mensaje era transmitido por radio a la estación receptora de Houlton, Maine. Desde Houlton se enviaba por tierra a Nueva York. En dirección opuesta, el mensaje telefónico que partía de Nueva York era enviado por tierra a la estación transmisora de Rocky Point, Long Island, desde donde se enviaba por radio a través del Atlántico y lo recibía la estación de Wroughton, cerca de Swindon. Desde Wroughton seguía su viaje hasta Londres, por vía terrestre. (Ver figura 18).

El 7 de enero de 1927 el servicio telefónico de Rugby fue abierto al público. El precio de una conversación de 3 minutos entre Londres y Nueva York era de 15 libras, con un recargo de cinco libras por cada minuto que siguiera a los tres primeros.

El servicio de Rugby fue extendido más tarde a los abonados telefónicos de cualquier lugar en Gran Bretaña y en los Estados Unidos.

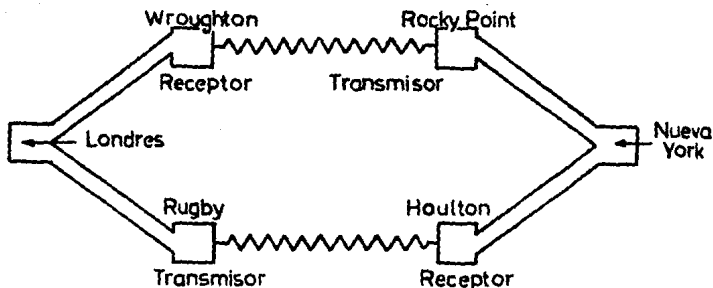


Figura 18 Diagrama de la Radiocomunicación Inalámbrica Londres-Nueva York y Viceversa

La estación transmisora de la British Post Office, situada en Rugby, fue elegida porque a lo largo de ella se encuentran las líneas troncales principales del servicio telefónico de ese país, cubriendo una extensión de 1,000 acres (4,046,700 m².) de terreno, aproximadamente.

En dicho terreno se levantaron doce gigantescos mástiles de 250 metros de altura; cada uno provistos de dispositivos para ascender a los ingenieros hasta la parte más elevada. Ocho de estos mástiles, emplazados 402 metros de los lados de un octágono, soportan la antena usada para comunicaciones telegráficas con los barcos y partes distantes del Imperio Británico. Dos de los mismos mástiles y los cuatro restantes de los doce, soportan la antena usada en el servicio de telefonía transatlántica. Una característica interesante del sistema de antenas de Rugby es que las dos antenas pueden ser combinadas para formar una enorme antena aérea transmisora.

Estas grandes antenas aéreas de Rugby consistían en 8 alambres paralelos mantenidos en su posición por separadores colocados cada 42 metros.

La potencia usada a la salida del transmisor telegráfico era de 540 kilowatts, o sea más de 720 H.P. - (caballos de fuerza), y la potencia de salida del transmisor telefónico era de 200 kilowatts; es decir, más de 260 H.P.

La potencia eléctrica requerida por la estación transmisora de Rugby se obtenía de la compañía local de suministro de electricidad. Cables duplicados transportaban los 12,000 volts de

corriente alterna, desde la compañía de luz y fuerza hasta la estación transmisora. Moto generadores que eran puestos en funcionamiento desde el tablero de mando, suministraban el alto voltaje de corriente continua para el ánodo de las válvulas transmisoras. El bajo voltaje de corriente alterna se obtenía de dos transformadores que reducían la tensión desde 12,000 volts a 416 volts.

Para mantener una frecuencia constante en la transmisión se usaba en Rugby un sistema de diapasón como control maestro. (Ver figura 19).

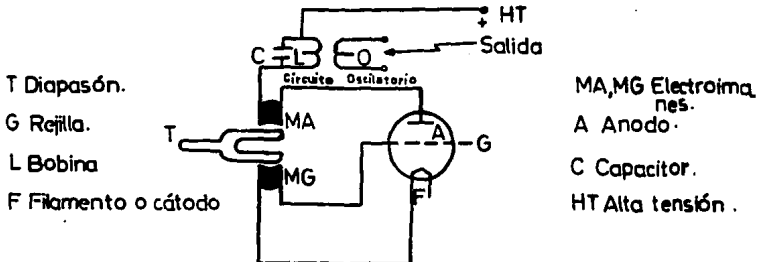


Figura 19 Diapasón Mantenido en Continua Vibración por Medio de una Válvula

Quando se hacía vibrar el diapason, el polo inferior causaba variaciones en el embobinado del electroimán MG. Como el embobinado estaba conectado a la rejilla G, estos cambios de corriente producían cambios en la rejilla, y por lo tanto causaban variaciones en la corriente anódica de la válvula. La corriente del ánodo fluía a través del devanado del electroimán MA. Las variaciones de esta corriente producían, por lo tanto, cambios en la atracción del electroimán MA en la parte superior del diapason. Luego los extremos del diapason se movían en dirección contraria; apartándose o acercándose hacia el otro. De esta manera las vibraciones del diapason eran mantenidas mientras la válvula estaba funcionando.

El diapason de Rugby controlado a válvula, era mantenido a una temperatura constante por medio de un pequeño calefactor fijo en la caja que contenía el diapason. El número de vibraciones del diapason era de aproximadamente de 1,780 ciclos por segundo (Hz.)

En Rugby el circuito final del transmisor telegráfico era sintonizado a la frecuencia de 16 kilociclos (16 KHz) por medio

de bobinas de una altura de aproximadamente 4.20 metros y condensadores de sintonía. Los condensadores eran de mica sumergidos en aceite. El control maestro de sintonía era tan eficiente que la variación de la frecuencia no era mayor de 7 Hz en los 16,000 Hz.

Desde el oscilador hasta la antena, la amplificación total del transmisor telegráfico de Rugby era de cerca de 100,000 millones.

NOTA: Más tarde se logró el control de la frecuencia por medio de válvulas y posteriormente se pudo controlar la frecuencia por CONTROL A CRISTAL. Usando como cristal piezoeléctrico al CUARZO. Cuando al cuarzo se le comprime, estira o fuerza de alguna manera, el cristal se electrifica positivamente en una cara y negativamente en el otro lado. Por lo tanto si se aplica una corriente alterna a las dos caras opuestas de una delgada lámina de cuarzo, dicha lámina vibrará a la frecuencia de esa corriente alterna y también, si a la lámina se le hace vibrar, aparecerán cargas alternas de electricidad en las dos caras opuestas, cargas que variarán con la frecuencia de las vibraciones. Cuando el control a cristal es empleado en transmisiones radioeléctricas se coloca el cristal de cuarzo cuidadosamente a una presión tal que produzca el período de vibración requerido.

3.2. Principales Elementos que Influyen en la Recepción y Transmisión Inalámbrica

Debemos tener en cuenta que en todo sistema de comunicación por radio influirán algunos de los siguientes elementos:

- Formación de la onda
- el oscilador
- la antena
- la ionósfera o capa de Kennelly-Heaviside
- circuitos amplificadores

3.2.1. Formación de la Onda

Supongamos que en un lugar del espacio libre producimos un breve impulso eléctrico, algo así como una chispa de descarga o una fuerte corriente en un trayecto corto, lo asimilaremos a una corriente elemental I , que dura un tiempo. (Ver figura 20).

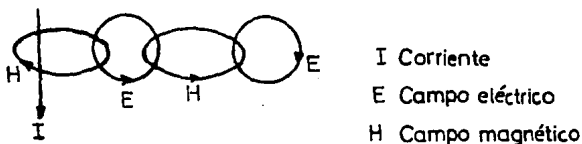


Figura 20 Formación de la Onda Electromagnética

En ese instante, se forma en torno a tal corriente un campo magnético H que es variable, puesto que está en formación. Sus líneas de fuerza, de las cuales hemos dibujado una, son círculos concéntricos con la corriente elemental. Ese campo magnético variable da origen a un campo eléctrico E , cuyas líneas de fuerza también serán círculos, pero ubicados en un plano perpendicular al del campo magnético, y como el campo eléctrico es también variable por estar en formación, dará origen a un nuevo campo magnético, que es el segundo H que a su vez crea otro eléctrico y así sucesivamente, creando una ONDA ELECTROMAGNÉTICA de propagación igual a la de la luz -300,000 km/seg- y en línea recta.

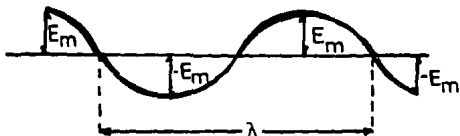


Figura 21 Interpretación de la Longitud de Onda en el Espacio

3.2.2. El Oscilador

Para difundir por radio la voz humana, la música, etc., se necesita un generador de corriente alterna de frecuencia extremadamente alta y de amplitud constante denominado OSCILADOR.

Los osciladores no solo generan una señal de salida cosenoidal, sino también pueden generar una señal triangular, de diente de sierra, de un pulso, etc. Los osciladores pueden ser de cristal, de válvulas al vacío, de transistores, de una bobina en paralelo con un capacitor -CIRCUITO TANQUE- que es el más

usado en los receptores de radio, osciladores RC, etc. El circuito tanque de la figura 22 (a) representa esquemáticamente un condensador C cargado, un interruptor S y una autoinducción L de resistencia despreciable. En el instante de cerrar el circuito, el condensador comienza a descargarse a través de la autoinducción. En un instante posterior, representado en la figura 22 (b), el condensador se ha descargado completamente y la diferencia de potencial entre sus bornes y los de la autoinducción ha decrecido hasta cero. Mientras tanto, la corriente en la autoinducción ha creado un campo magnético en el espacio que lo rodea. Este campo magnético disminuye ahora, induciendo una fem en la autoinducción del mismo sentido que la corriente. La corriente continúa por consiguiente, aunque con valor decreciente hasta que el campo magnético ha desaparecido y el condensador se ha cargado en sentido opuesto al de su polaridad inicial, como indica la figura 22 (c). El proceso se repite ahora por sí mismo en sentido inverso y, en ausencia de pérdida de energía, las cargas del condensador se moverán en uno y otro sentido indefinidamente. Este proceso se denomina OSCILACION ELECTRICA.

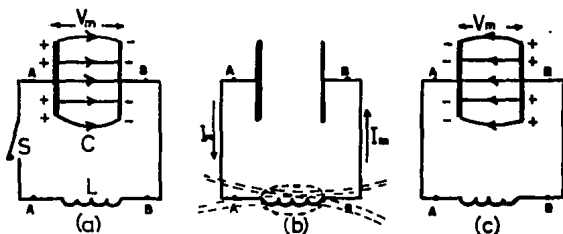


Figura 22 Intercambio de Energía entre los Campos Eléctrico y Magnético en un Circuito Oscilante L-C

La frecuencia de las oscilaciones eléctricas de un circuito que sólo contiene autoinducción (L) y capacidad (C) puede calcularse como sigue:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Esta frecuencia se denomina FRECUENCIA NATURAL DEL CIRCUITO L-C

Desde el punto de vista energético, las oscilaciones de un circuito eléctrico consisten en un intercambio de energía en uno y en otro sentido, del campo eléctrico del condensador al campo magnético de la autoinducción, permaneciendo constante la energía total asociada al circuito.

La energía del condensador en cualquier instante es $\frac{1}{2} \left(\frac{q}{c}\right)^2$
 y la de la autoinducción $\frac{1}{2} L i^2$. Por consiguiente,
 $\frac{1}{2} \frac{q^2}{c} + \frac{1}{2} L i^2 = \text{constante.}^2$

3.2.3. La Antena

Básicamente LA ANTENA es un tramo de conductor que actúa como dispositivo de CONVERSION, ya que convierte una señal eléctrica en ENERGIA ELECTROMAGNETICA, o bién, la energía electromagnética en una señal eléctrica. El primer tipo de conversión tiene lugar cuando la antena se usa para TRANSMITIR ondas de radio. La salida del transmisor que se aplica a las terminales de la antena origina un flujo de corriente en él. Entonces la antena convierte el flujo de corriente en una señal electromagnética que es radiada al espacio.

El segundo tipo de conversión lo efectúa una antena RECEPTORA. La onda electromagnética, cuando pasa por una antena, induce en ella una corriente que se utiliza como señal de entrada del receptor.

En muchas aplicaciones, una sola antena efectúa ambos tipos de conversión, con igual eficiencia; por lo tanto, la misma antena se puede emplear ya sea para transmitir o para recibir señales; o bien, para hacer las dos cosas en forma alternada en las aplicaciones que no requieran transmisión y recepción simultánea como en el RADAR.

A la antena en sí, o sea el alambre o cualquier otro cuerpo conductor que la reemplace -torre, caño, etc-, se le considera como una inductancia pura. La misma tiene el valor que depende de la longitud; es decir, su valor se puede determinar multiplicando la inductancia por metro por la longitud de la antena.

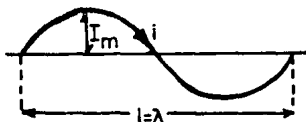


Figura 23 Distribución de la Corriente en Antenas de Longitud Igual a un Largo de Onda

- El Campo eléctrico se forma entre la antena y la Tierra-

Una antena resuena a una determinada frecuencia de la onda, según sea su longitud física, pero a veces debe hacerse trabajar una antena a una frecuencia diferente de la que corresponde a su resonancia y entonces bajará su rendimiento. Hay procedimientos artificiales para corregir la longitud de la antena sin modifi-

car sus dimensiones, o sea, acortar o alargar artificialmente las mismas, ya que:

- un capacitor en serie con la antena acorta su longitud
- una bobina en serie con la antena alarga su longitud

3.2.4. La Ionósfera o Capa de Kennelly-Heaviside

A pesar del éxito de los primeros experimentos de telegrafía sin hilos, hubo muchos críticos que sostenían que no eran posibles las comunicaciones a larga distancia. Aplicaban el razonamiento de que las ondas de radio se perderían en el espacio, en lugar de seguir la curvatura de la Tierra. También estimaban que las ondas de radio tendrían las mismas características que las de luz. Sabían que, por la curvatura de la tierra, no es posible ver a una distancia de más de 48 a 57 kilómetros.

En la actualidad, sabemos que son posibles las comunicaciones a larga distancia. Lo que los críticos no sabían es que hay una capa de iones que rodea al planeta por encima de la atmósfera terrestre. Esta capa de iones se conoce como CAPA KENNELLY-HEAVISIDE y recibe también el nombre de IONOSFERA. Esta capa ionizada refleja otra vez hacia la tierra las ondas de radio de frecuencia relativamente bajas. La existencia de esta capa fue probada experimentalmente por primera vez en 1925, por G. Breit, M. Tuve y otros, y se demostró que su elevación varía entre 80 y 240 Kms.

En la figura 24 se muestra como son posibles las comunicaciones a larga distancia. La señal de radio va directamente por la superficie de la Tierra, hasta un receptor situado en el punto A. Esta señal de radio se denomina ONDA TERRESTRE. Más allá del punto A, que se encuentra a la distancia máxima de la línea de visión, la onda se desplaza al espacio.

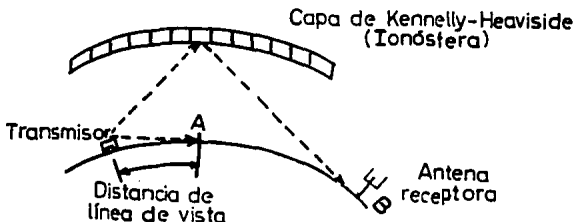


Figura 24 Modo en que se Transmiten las Ondas de Radio Más Allá de la Distancia de la Línea de Vista

El transmisor no se limita a enviar hacia el exterior una

onda precisa de radio. En lugar de ello, las ondas se alejan de la antena emisora en forma muy similar al modo en que las ondas de luz se alejan de una lámpara encendida. En la figura 24 se muestra el modo en que una parte de la señal se refleja en la capa de Kennelly-Heaviside y choca con la antena receptora en el punto B. Este punto se encuentra lejos del punto de línea de visión del emisor.

Por alguna razón, la capa de Kennelly-Heaviside no refleja las ondas de frecuencia ultra-alta que se usan en la TELEVISION y en el RADAR. Ambos están restringidos a un corto alcance, ya que esas ondas sólo se propagan en línea recta como las de la luz visible, en forma UNIDIRECCIONAL. Por lo tanto, para recibir las señales de radar o de televisión, la antena receptora debe estar dentro de la visual de la antena transmisora, la cual, para que cubra una gran área, debe estar situada a cierta altura en el aire, encima de un edificio, de una colina o de la cima de una montaña.

3.2.5. Circuitos Amplificadores

Casi todos los sistemas electrónicos tienen por lo menos uno o dos, y a menudo, muchos circuitos cuya sola función es AUMENTAR la señal. En los CIRCUITOS AMPLIFICADORES pueden haber tubos electrónicos o bien transistores, pues ambos son esencialmente dispositivos amplificadores. Además, un circuito amplificador suele incluir todos los elementos necesarios para suministrar la polarización del mismo, así como aquellos cuya función específica es COMPENSAR cualquier DISTORSION no deseada de la señal que ocurra durante la amplificación. A menudo una señal es tan pequeña que un solo circuito amplificador no puede amplificarla a nivel deseado. En tales casos, se conectan dos o más circuitos amplificadores en SECUENCIA, de modo que la salida amplificada del primero se aplica como entrada al segundo el cual vuelve a amplificarla, y así sucesivamente.

Los circuitos amplificadores se pueden clasificar de muchas maneras diferentes: según su APLICACION, el tipo de POLARIZACION usada, la FRECUENCIA o ANCHO DE BANDA de las señales que han de amplificar; el tipo de ACOPLAMIENTO, si se usa más de un paso, y la CONFIGURACION de los mismos en el circuito.

Por ejemplo, cuando los amplificadores se clasifican según su aplicación, se pueden dividir en dos grupos principales: AMPLIFICADORES DE TENSION o VOLTAJE, y AMPLIFICADORES DE POTENCIA. Los primeros, como su nombre lo indica, aumentan el nivel de tensión o voltaje de una señal aplicada. El voltaje de salida de un amplificador está fijado por la caída de voltaje que se produce en la carga, a la salida; por lo tanto, en todos los amplificadores de voltaje se procura que la impedancia de carga sea lo MAS GRANDE POSIBLE.

Los amplificadores de potencia están diseñados para proporcionarle a la carga de salida una gran cantidad de corriente. Para lograr esto, la impedancia de carga debe ser BASTANTE PEQUEÑA, pero al mismo tiempo, lo SUFICIENTEMENTE GRANDE para evitar una distorsión excesiva de las señales. Los amplificadores

de potencia también se conocen como AMPLIFICADORES DE CORRIENTE.

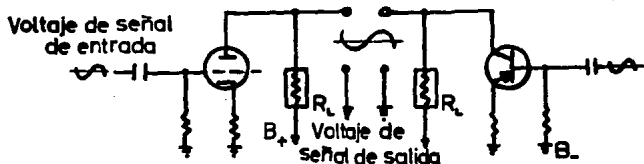


Figura 25 Amplificador de Tensión o Voltaje

El resistor de carga R_L ofrece gran resistencia y produce un voltaje de salida de valor elevado.

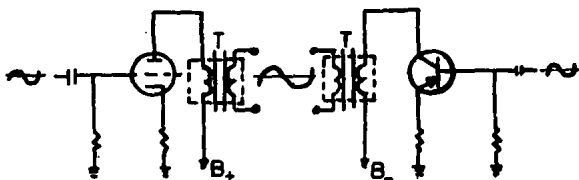


Figura 26 Amplificador de Potencia o Corriente

El valor de la resistencia de carga se determina en función de la relación de espiras del transformador T y de la resistencia del devanado secundario del mismo, es relativamente bajo, de manera que se desarrolla una corriente de señal bastante grande en el secundario del transformador.

3.2.5.1. Diseño Básico de un Amplificador de Audio

Una de las combinaciones más comunes de circuitos básicos el amplificador de audio, que es el corazón mismo de todos los fonógrafos y grabadoras de cinta. El amplificador de audio recibe una señal de audio, sea suministrada por un micrófono, disco o cinta magnética; luego la amplifica -con la menor distorsión posible- al nivel necesario para activar un altavoz o unos audífonos. En la figura 27 se muestra un amplificador de audio. La señal de audio producida por un micrófono se aplica a un amplificador de voltaje de audio que aumenta la amplitud del voltaje de la señal. Esta se amplifica nuevamente por medio de un

amplificador de potencia de audio que produce una salida de corriente -relativamente elevada- para activar el altavoz. A veces, un solo circuito sirve como amplificador de voltaje y de potencia. Los amplificadores de tensión y de potencia PUSH-PULL dan mayor estabilidad de potencia y, generalmente, hay menos distorsión y son usados en equipos de audio de alta fidelidad.

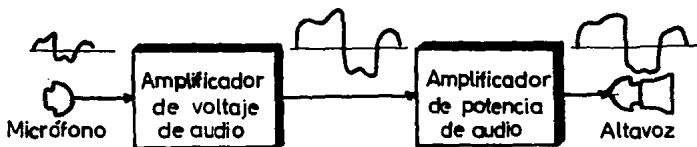


Figura 27 Amplificador Básico de Audio

Un amplificador de audio está diseñado para amplificar señales de audiofrecuencia (a-f). Generalmente se considera que estas frecuencias son del rango de unos 20 a 20,000 Hz; es decir, pertenecen al rango audible. Por consiguiente, los amplificadores de audio se usan para señales de voz u otro SONIDO. Por ejemplo, los sistemas de sonido público y los receptores de radio siempre tienen uno o más amplificadores de audio.

3.3. Los Primeros Receptores

El primer receptor de ondas radioeléctricas que se construyó fue por supuesto el resonador de Hertz. Cuando las ondas eléctricas eran recibidas por este resonador, débiles chispas saltaban a través del espacio de aire del mismo. De esta manera el primer receptor de ondas daba una indicación visible de su recepción.

Después del resonador de Hertz se idearon los receptores con cohesores. En muchos de estos receptores, la recepción de ondas eléctricas era indicada por el movimiento de la aguja de un galvanómetro. El receptor empleado por Sir Oliver Lodge en su famoso experimento hecho en Oxford en 1894, era un receptor con cohesor provisto de un registrador que escribía con tinta el mensaje recibido en código Morse.

En los inicios del año 1897 los experimentadores en comunicaciones inalámbricas empezaron a darse cuenta que el audífono era un instrumento mucho más sensible para recibir señales inalámbricas que el impresor o inscriptor telegráficos. Ese año, Sir Oliver Lodge empleó un audífono como receptor en sus experimentos, los que contribuyeron a la introducción de la sintonía en radiocomunicaciones. Los audífonos fueron invariablemente usados junto con los detectores a cristal, los cuales aparecieron algunos años más tarde.

Si en un punto cualquiera del espacio hay una antena recorrida por corriente de altas frecuencias, esto creará un campo electromagnético que se propaga con la velocidad de la luz en todas direcciones. Este campo electromagnético desarrollará en todas las antenas receptoras que encuentre a su paso corrientes de la misma frecuencia que las que le engendraron, pero muy débiles cuanto mayor sea la distancia, y otra serie de factores que intervienen en la propagación. (Ver figura 28).

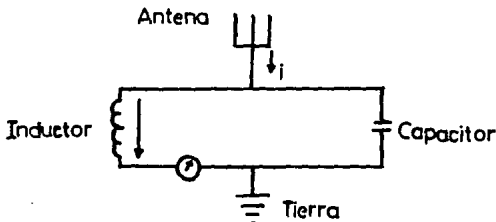


Figura 28 Sistema para Crear un Campo Magnético

El receptor a cristal fue comúnmente usado en la primera época de la radiodifusión. El diagrama del circuito de un receptor a cristal es dado en la figura 29.

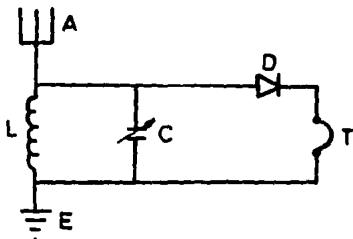


Figura 29 Diagrama de un Receptor a Cristal

En este diagrama A representa la antena, E la conexión de

tierra, L una bobina de sintonía, D el detector a cristal y T los audífonos. Supongamos que el receptor es sintonizado por medio del condensador variable C, a la frecuencia de un transmisor distante. Cuando las ondas eléctricas del transmisor son captadas por la antena A, una corriente oscilatoria se establece en el circuito constituido por la bobina L y el condensador variable C. Esta corriente oscilatoria es una corriente alterna de alta frecuencia. Si la longitud de onda del transmisor fuera de 600 metros, la corriente oscilatoria tendría una frecuencia de 500,000 Hz. Es decir, la corriente oscilatoria cambiaría de dirección. Por ejemplo, en el sentido de las agujas de un reloj y en sentido contrario al de las mismas, 500,000 veces en un segundo. Una corriente oscilatoria de tan alta frecuencia no causaría efecto sobre los audífonos T y no se oírían sonidos en dichos audífonos.

Pero el cristal detector D tiene la propiedad de permitir que pase a través de él una corriente en una sola dirección. De esta manera el cristal detector D rechaza, o aprisiona, una mitad de la corriente oscilatoria que de otra manera fluiría a través de los audífonos. En otras palabras, el cristal detector D cambia la corriente oscilatoria en otra de una sola dirección, o ENDEREZA la corriente. Como los audífonos T responden a la corriente dirigida en una sola dirección, el resultado es que las señales enviadas desde el transmisor son oídas como sonidos en los audífonos del receptor a cristal.

Este proceso de cambiar o conmutar una corriente alterna y oscilatoria en una corriente de una sola dirección o continua, es llamado RECTIFICACION y cualquier dispositivo empleado para efectuar este proceso se llama RECTIFICADOR.

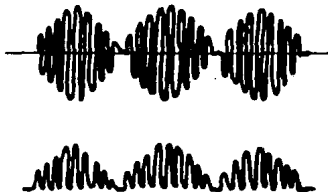


Figura 30 Detección Mediante Receptor Elemental Formado por un Circuito Oscilante y un Detector de Cristal

Portadora
sin modular



Portadora
modulada

Figura 31 Principio Teórico de la Modulación
de una Corriente de Radiofrecuencia

El receptor elemental de la figura 29 presenta una dificultad fundamental: si queremos recibir con él ondas de diferentes longitudes, habrá que dar al circuito oscilante diferentes frecuencias de resonancia. Esto lo conseguiremos variando cualquiera de los dos elementos que determinan la frecuencia propia del circuito; es decir, la inductancia de la bobina o la capacidad del condensador. Sin embargo, no será posible calibrar sobre una escala la posición que corresponde a una frecuencia determinada, porque hay que considerar que la antena tiene también capacidad por sí misma, y esta capacidad interviene en el circuito, sumándose a la del condensador. Al apreciar la frecuencia propia del circuito, tenemos que contar, por lo tanto, con un sumando de magnitud variable con cada antena empleada y prácticamente imposible de calcular, ya que depende de la longitud de la antena, la proximidad a otras masas metálicas, situación, etc.

La solución es hacer el circuito de antena independiente del circuito oscilante, pero acoplado a él por medio de una bobina cuyo campo magnético llegue a la bobina del circuito oscilante. (Ver figura 32).

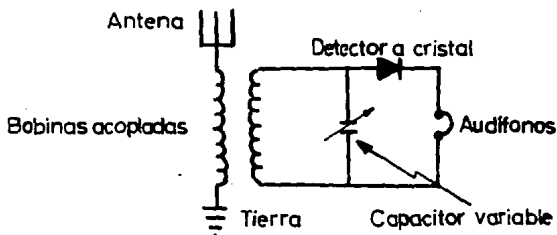


Figura 32 Receptor de Cristal con Acoplamiento Inductivo a la Antena

La válvula de dos electrodos original de Fleming, llamada DIODO, cuando se usa para recibir señales radioeléctricas, también se comporta como un rectificador, tal como se puede comprender al ver la figura 33.

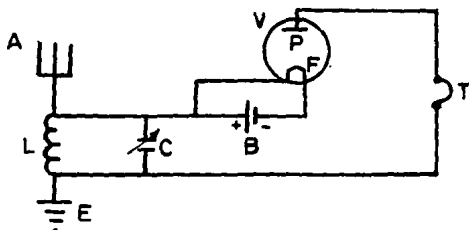


Figura 33 Diagrama de un Receptor con Válvula Fleming

En esta figura, A representa la Antena, C el condensador variable o de sintonía, E la conexión a tierra, L la bobina de sintonía, V la válvula de Fleming, P la placa o ánodo de la válvula, F el filamento de la válvula, B la batería que alimenta el filamento F, y T los audifonos.

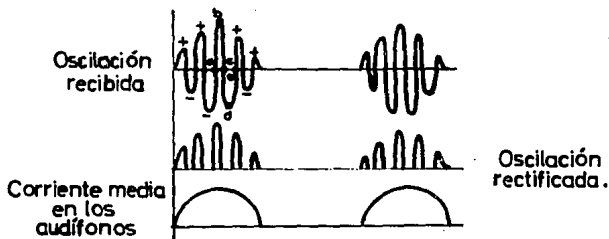


Figura 34 Detección por Medio de una Válvula Fleming

Consideremos la alternación completa o ciclo «a b c d e». El medio ciclo «a b c», arriba de la línea de la figura 34, es el semiciclo positivo. Durante este medio ciclo, el ánodo P de la válvula será positivo con respecto al filamento F. Cuando es positivo el ánodo atraerá electrones del filamento y fluirá una corriente desde la placa a través de los audífonos T.

Ahora consideremos el correspondiente semiciclo negativo «c d e». Durante este medio ciclo el ánodo P será negativo con respecto al filamento F. Por lo tanto, el ánodo no atraerá los electrones del filamento y así, durante el semiciclo negativo «c d e» no circulará corriente por los audífonos T. En esta forma el proceso de rectificación en la válvula de Fleming reduce la corriente oscilatoria a una serie de impulsos de corriente en una sola dirección.

Aunque la válvula de tres electrodos, o triodo, había sido fabricada por De Forest en 1907, no fue sino hasta 1913 cuando se comprendió su verdadera importancia. Anteriormente, los receptores de telegrafía a chispa empleaban un cristal receptor o una válvula Fleming de dos electrodos como rectificador. En el año de 1913; sin embargo, las posibilidades de aplicación de una válvula de tres electrodos como detectora y amplificadora de señales de alta frecuencia, empezaron a ser realizadas y ya se había centralizado el progreso de los receptores en el desarrollo de la válvula termiónica.

La figura 35 muestra el diagrama del circuito de un audión de Forest usado como receptor de señales radioeléctricas.

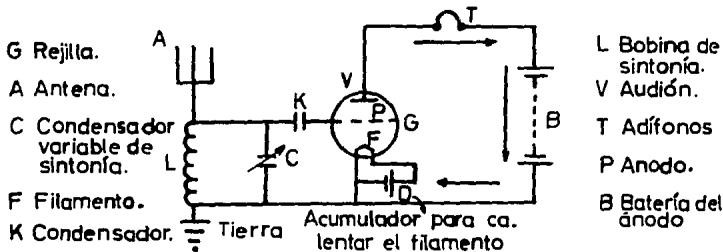


Figura 35 Audiófono de Forest Usado como Detector

Cuando llegan ondas eléctricas a la antena A, y el circuito de la rejilla es sintonizado a la frecuencia de aquellas ondas por medio del condensador de sintonía C, las alternancias resultantes de las ondas captadas hacen que la rejilla sea alternadamente positiva y negativa con respecto al filamento F. Durante la mitad positiva de un ciclo, la rejilla es positiva y por lo tanto atrae electrones del filamento, igual que hace el ánodo positivo, pero con la diferencia siguiente: los electrones que pasan del filamento al ánodo fluyen alrededor del circuito de placa o ánodo en la dirección indicada por las flechas de la figura 35. Existe un camino libre para tales electrones, o, en otras palabras, pasa la corriente de ánodo, la que es por supuesto una corriente continua o en una sola dirección. Sin embargo, los electrones que parten del filamento y llegan a la rejilla no pasan de ahí. Su camino está bloqueado por el condensador fijo K, que, a pesar de que permite pasar las corrientes oscilatorias de alta frecuencia hasta la rejilla, forma una verdadera barrera a la corriente continua de la rejilla. Por lo tanto, los electrones atraídos por la rejilla durante el semiciclo positivo de la corriente oscilatoria de la señal, quedan en el costado o armadura del condensador K, que se encuentra del lado de la rejilla.

El semiciclo siguiente, que es de polaridad negativa, hace la rejilla negativa. Mientras la rejilla sea negativa no produce atracción sobre los electrones del filamento y de esa manera hay poca carga. Luego viene el semiciclo positivo de la alternancia siguiente, durante la cual la rejilla atrae mayor cantidad de electrones del filamento. Nuevamente estos electrones no pueden escapar; y así continúa el proceso. Durante el momento de calma el condensador K se descarga por un camino de la rejilla al filamento y la rejilla retorna a su condición normal.

Así para cada tren de ondas había una caída en la corriente

de placa y esta caída de corriente producía un CLICK que se oía en los audífonos, de la misma frecuencia que la frecuencia de la chispa del transmisor lejano. En la mayoría de los aparatos receptores la válvula estaba constituida tanto para detectar como para amplificar, siendo obtenida la amplificación por medio de lo que se llama REACCION. Los receptores de radio que aprovechaban esa propiedad de reacción fueron producidos independientemente por Armstrong, Longmuir y De Forest, en América; Meissner, en Alemania; y C. S. Franklin, en Inglaterra.

La figura 36 muestra un diagrama del circuito de un receptor con una válvula triodo en donde la amplificación se obtenía por medio de reacción.

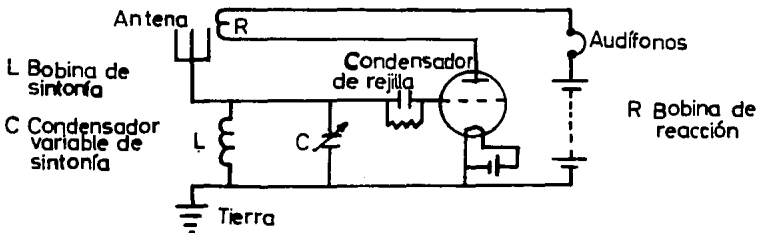


Figura 36 Reacción

La bobina R está acoplada a la bobina L; es decir, las dos bobinas están próximas la una a la otra, lo suficiente para que la corriente oscilatoria en una de ellas, induzca una corriente oscilatoria en la otra.

Cuando las señales que llegan, generan una corriente oscilatoria en el circuito de rejilla LC, una corriente oscilatoria más fuerte, de exactamente la misma frecuencia, se genera en el circuito de ánodo y, por lo tanto, en la bobina de reacción R. Esta corriente oscilatoria más intensa en la bobina de reacción R induce una corriente en la bobina L y como esta corriente oscilatoria inducida en la bobina L es de la misma frecuencia que la de las señales originales que llegan, el efecto es reforzar o amplificar las corrientes oscilantes de las señales originales del circuito de rejilla LC. Acercando la bobina de reacción R a la bobina L, el efecto de amplificación puede aumentar considerablemente.

Antes de 1928, los receptores de radiotelefonía funcionaban exclusivamente con acumuladores y baterías secas. En 1928 los receptores empezaron a construirse de modo que funcionarían completamente alimentados con la corriente alterna de la red eléctrica domiciliaria. La corriente alterna no alimentaba directamente a las válvulas sino por medio de un transformador que

proporcionaba el voltaje necesario y lo reducía al valor correspondiente al filamento de la válvula que se usaba. Cuando se necesitaba gran potencia en transmisión, ésta se obtenía empleando un gran número de válvulas.

4.1. El Receptor Básico AM -Amplitud Modulada-

En esta parte, como en todo el capítulo, se usarán diagramas de bloques para dar el mismo enfoque a lo ya expuesto en el punto 3.3. que muestran, en forma general, que los primeros receptores fueron de AM. Estos receptores fueron evolucionando hasta dar lugar al receptor SUPERHETERODINO, -información más amplia en los puntos 4.2. y 4.3.- tanto de AM como FM que nos son familiares hoy en día.

El receptor básico de AM procesa las señales moduladas en amplitud interceptada por la antena y proporciona como salida la señal original que se utilizó en el transmisor para modular la portadora de r-f -radio frecuencia-. Entonces, la señal puede aplicarse a un dispositivo reproductor, por ejemplo, un altavoz o un juego de audífonos. El tipo más elemental de receptor de AM consiste de un solo circuito, es un detector de AM que procesa la señal de AM, captada por una antena receptora. A fin de recuperar la información llevada en la portadora de r-f modulada, el detector debe efectuar dos pasos:

- 1- RECTIFICA la señal de r-f y
- 2- FILTRA la señal rectificada para eliminar los componentes de r-f.

Por lo tanto, sólo queda la mitad de la envolvente de modulación original y, como ya se dijo, ésta tiene las mismas variaciones que la señal moduladora original usada en el transmisor.

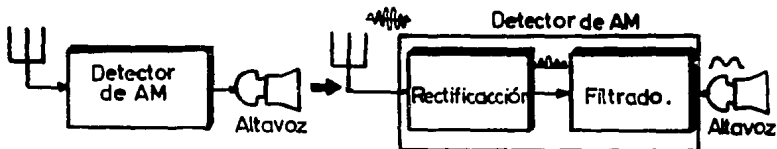


Figura 37 Receptor Básico de AM

El receptor elemental de AM descrito en la figura 37 tiene dos importantes limitaciones, por lo que resulta poco práctico. La primera de éstas es la FALTA DE AMPLIFICACION. La señal captada por la antena receptora es sumamente pequeña, y después de la rectificación y filtrado resulta aún más pequeña. Una señal tan débil no puede activar adecuadamente los dispositivos reproductores, tales como un altavoz, ya que éstos requieren señales de entrada bastante fuertes. Por lo tanto, después de la detec-

ción deben usarse uno o más amplificadores de audio para elevar la señal al nivel requerido. (Ver figura 38).



Figura 38 Receptor de AM con Amplificador de Audio

La otra desventaja del receptor elemental -si es de un paso como en la figura 37- estriba en que NO TIENE SELECTIVIDAD DE FRECUENCIA; en otras palabras, todas las señales de r-f recibidas simultáneamente por la antena se procesarían juntas en el receptor y las salidas del detector serían una combinación de todas esas señales. Una señal detectada así, sería inútil, ya que no representaría ninguna de las señales de entrada, en particular. Por lo tanto, se debe seleccionar la señal deseada de r-f, de entre todas las recibidas por la antena. Esta función la efectúan los circuitos de selección de frecuencia. Dichos circuitos están SINTONIZADOS a la frecuencia de la señal deseada, de modo que sólo dejan pasar esta frecuencia al detector y bloquean todas las otras frecuencias de la señal de r-f. (Ver figura 39).

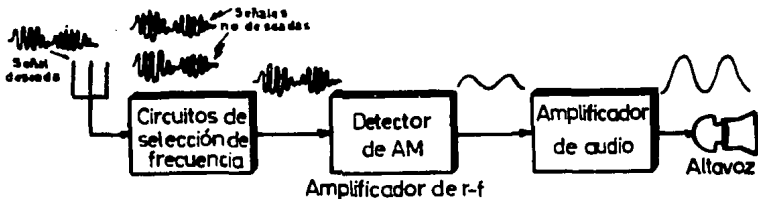


Figura 39 Receptor de AM con Selector de Frecuencia y Amplificador de Audio -rfs-

Este receptor tiene una seria desventaja: su amplificación la realiza por medio de un amplificador de r-f sintonizado. Si se tratara de recibir señales que siempre tuvieran la misma frecuencia, entonces un receptor de este tipo se podría considerar satisfactorio. Pero si un receptor debe sintonizarse para diferentes frecuencias de señal, pertenecientes a un amplio rango de las mismas, el tipo rfs, por lo general resulta poco satisfactorio. Resumiendo lo anterior, la desventaja de este receptor es la variación de su capacidad de amplificación y selectividad.

En el receptor SUPERHETERODINO -analizado en el punto 4.2.- se obtiene la flexibilidad de sintonización requerida y una amplificación de r-f, mucho mejor que con los anteriores receptores.

4.2. El Receptor Superheterodino

Uno de los circuitos de recepción que sustituyó con mayor éxito a los receptores de radiofrecuencia sintonizada, fue el receptor superheterodino.

Debemos tener presente que este aparato radioreceptor en el que las oscilaciones producidas por la onda recibida son amplificadas por la combinación con las de un oscilador local.

El funcionamiento de este receptor se basa en los mismos principios de la recepción; sin embargo, incorpora otros circuitos cuya función es necesario explicar. (Ver figura 40).

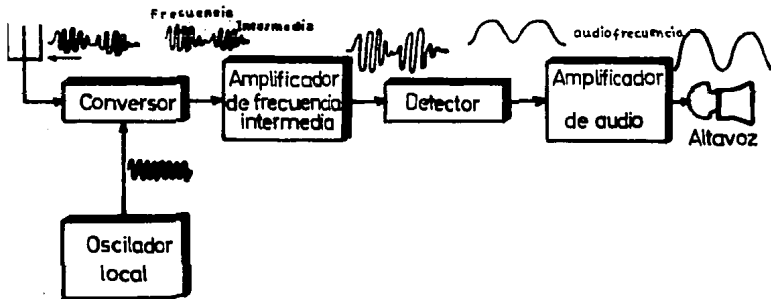


Figura 40 Conjunto de Elementos Fundamentales de un Receptor Superheterodino

El receptor superheterodino incorporó los circuitos siguientes:

- un oscilador local
- un paso mezclador
- una etapa amplificadora de frecuencia intermedia -F.I.-

La etapa de radio frecuencia de un receptor superheterodino está constituida básicamente por un amplificador de radiofrecuencia, un paso mezclador, un oscilador local y una sección amplificadora de frecuencia intermedia -F.I.-, la cual a su vez puede estar integrada por uno o dos pasos amplificadores.

El principio de la recepción superheterodina consiste fundamentalmente en la modificación o conversión que sufre, por la acción de los circuitos oscilador y mezclador, todas las señales de radiofrecuencia o portadoras, en una sola frecuencia, llamada frecuencia intermedia -F.I.-

El proceso de conversión de estas señales de radiofrecuencia se realiza de la siguiente manera:

Al seleccionarse una de las diversas señales que llegan a la antena del receptor, por la acción del circuito resonante, que forma parte del paso amplificador de radiofrecuencia, esta señal es amplificada y enviada al paso mezclador. Al mezclador concurren dos señales, la seleccionada en el amplificador de radiofrecuencia y la generada en el oscilador local del propio receptor.

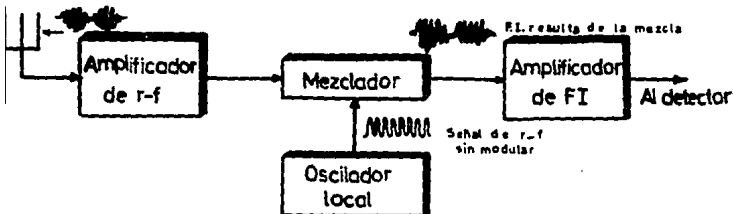


Figura 41 Proceso de Conversión de las Señales de Radiofrecuencia

La presencia de estas dos señales en el paso mezclador -la que se recibe en la antena, correspondiente a la portadora enviada por la estación de radio, y la generada por el oscilador local- dan origen al fenómeno conocido como HETERODINACION, el cual consiste en obtener una señal resultante de esta mezcla, que se conoce con el nombre de FRECUENCIA INTERMEDIA.

Esta señal de frecuencia intermedia es enviada a un paso amplificador que se encarga de darle mayor amplitud para que

pueda accionar el circuito detector, donde se separa el componente de audio de la señal de radiofrecuencia. (Ver figura 40).

Para asegurar que la frecuencia resultante de la mezcla o frecuencia intermedia sea igual en todos los casos, independientemente de la frecuencia de la portadora que se sintonice, el circuito resonante del paso amplificador de radiofrecuencia y el oscilador local están controlados por un solo mando, de tal manera que cuando se cambia la frecuencia de resonancia del paso amplificador de radiofrecuencia, la frecuencia del oscilador local también varía.

El valor de la frecuencia intermedia se establece cuando se diseña el receptor. Generalmente este valor es de 455 KHz en los receptores comerciales de amplitud modulada -AM- de manera que si sintonizamos una estación cuya portadora fuera de 1,000 KHz, el oscilador local trabajaría a 1,455 KHz, de tal modo que al mezclarse estos dos señales, se obtendría una heterodina por resta de 455 KHz.

$$(1,455 - 1,000) \text{ KHz} = 455 \text{ KHz}$$

Como puede verse, la heterodina por resta o F.I. seguirá siendo de 455 KHz. (Ver figura 42).

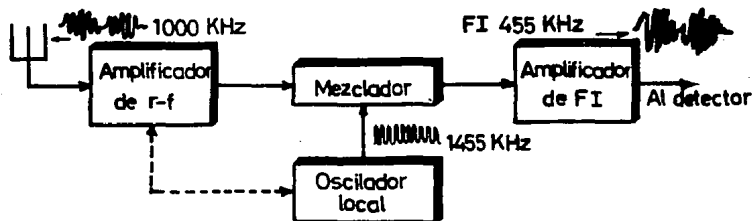


Figura 42 Obtención de la Frecuencia Intermedia -F.I.-

La ventaja que se obtiene con este tipo de receptores, es que la mayoría de sus circuitos resonantes se construyen para trabajar a una sola frecuencia <<la frecuencia intermedia>>. De este modo se logra mejor selectividad y mayor amplitud o ganancia, ya que es más fácil que los circuitos resonantes del receptor trabajen con una sola frecuencia que con varias, como era el caso de los receptores de radio-frecuencia sintonizada.

4.3. El receptor de FM -Frecuencia Modulada-

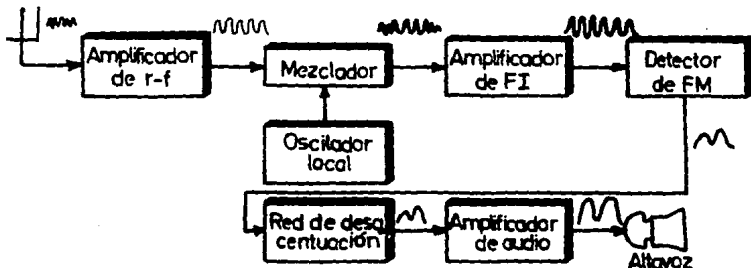


Figura 43 Diagrama de Bloques de un Receptor de FM

El detector de FM convierte las variaciones de frecuencia de la señal de F.I. en variaciones correspondientes de amplitud de audio.

Los RECEPTORES DE FM se usan para la recepción y reproducción de señales moduladas en frecuencia. A nivel de diagramas de bloques, dichos receptores se parecen bastante a los superheterodinos de AM. Esto salta a la vista, si se examina el receptor básico de FM que se muestra en la figura 43. Un amplificador de r-f. selecciona, a la vez que amplifica, la señal de FM que se quiere recibir. A continuación, ésta pasa al receptor donde un mezclador, con la ayuda de un oscilador local, la convierte en una señal de frecuencia intermedia, sin alterar la información que lleva. La señal de F.I. tiene una amplitud constante y una frecuencia que varía hacia arriba y hacia abajo de la frecuencia intermedia de acuerdo con su modulación original. En otras palabras, la frecuencia central de la señal de FM se convierte en la frecuencia intermedia del receptor.

La señal de F.I. se amplifica por medio de una serie de amplificadores de F.I. y, después, se aplica a un detector de FM. que convierte las variaciones de frecuencia de la señal de F.I. en una señal correspondiente de audio. A continuación, esta señal pasa a una RED DE DESACENTUACION o DEENFASIS. Dicho proceso es, esencialmente, el inverso del proceso de PREENFASIS efectuado en el transmisor de FM.

Cuando se emplea una señal compleja para modular una portadora, la desviación de ésta depende más bien de las AMPLITUDES de las frecuencias moduladoras que de las frecuencias en sí. En la voz humana o en la música, las FRECUENCIAS ALTAS tienen MENOR AMPLITUD que las bajas. Por consiguiente, en una onda de FM que lleva la voz o la música, las frecuencias más altas tienen des-

viaciones menores que las frecuencias más bajas. Si no fuese por el problema del ruido esto no sería una complicación; pero sucede que en el proceso de demodulación de la onda, también se demodulan todos los ruidos que ésta haya RECOGIDO durante su transmisión.

Aunque el ruido esté presente en todas las frecuencias, la relación del nivel de ruido, al nivel de la señal, aumenta a frecuencias altas -de menor amplitud-. En otras palabras, la razón de señal a ruido es menor a las frecuencias altas. Para aumentar la razón de señal a ruido de las frecuencias superiores se efectúan en la onda ciertos cambios, llamados PREENFASIS, antes de modularla en frecuencia. Estos cambios consisten en acentuar las amplitudes de frecuencias moduladoras más altas.

El preénfasis distorsiona en cierto grado la señal de sonido, pero después de la transmisión y la demodulación se efectúa un proceso inverso, llamado desacentuación o DEENFASIS. Entonces se reducen las amplitudes de las frecuencias modificadas para cambiar nuevamente la señal de sonido a su forma original.

Tal vez, parezca difícil comprender por qué estos procedimientos aumentan la relación de señal a ruido en las frecuencias altas, pero es así. La clave del procedimiento está en que el preénfasis aumenta el nivel de frecuencias altas ANTES de que contengan el ruido; posteriormente en el deénfasis dichas frecuencias, se reducen a sus NIVELES ORIGINALES y, al mismo tiempo, el ruido que se introdujo en ellas se reduce a un nivel más bajo que el original.

En la red de deénfasis se RESTAURAN las amplitudes relativas de los diferentes componentes de la frecuencia de la señal, quedando como eran antes de efectuar el preénfasis. Para lograr esto, la red aumenta en mayor grado las frecuencias inferiores y en menor grado las superiores. Después de la desacentuación la señal de audio se amplifica y se envía a un altavoz.

El receptor de FM ESTEREOFONICO tiene los mismos circuitos que los receptores convencionales de FM y, además, cuenta con los circuitos necesarios para separar las dos señales componentes de la señal compuesta. Una vez separadas, las señales pasan a dos canales de audio, cada uno de los cuales incluye una red de desacentuación o deénfasis.

Ayer la radio era una experiencia científica. Hoy se ha convertido para todos en una necesidad cotidiana. En efecto, la importancia de la radio en la vida moderna es evidente. Ninguna faceta de la sociedad queda fuera de su proyección. Mediante la radio, el hombre se ha acercado más al hombre y, a través de la misma, ha podido ser impulsada notablemente la comprensión entre los pueblos.

La palabra RADIO indica con brevedad un sistema de radiocomunicación o radiodifusión y los diversos aparatos que se emplean en el mismo como estaciones transmisoras o emisoras como los de las antenas y estaciones receptoras.

- Se comprenden también en la radiodifusión la técnica de las válvulas electrónicas, aparatos a transistores y de circuitos integrados-

Las comunicaciones mediante este sistema se efectúan usando ondas de radio; es decir, ondas electromagnéticas de longitud de onda superior al milímetro. Estas ondas no han sido inventadas, sino descubiertas. Simplemente las ondas ya existían desde antes que el hombre apareciera sobre la Tierra.

5.1. La Magia Radiofónica

Un sistema de radiocomunicación se compone de una estación transmisora o estudio, donde los sonidos son convertidos en energía eléctrica mediante el PICK UP o el micrófono. (Ver figura 44). Esta corriente es controlada y amplificadas. Por otra parte, un equipo generador de ondas de alta frecuencia envía a la fase final de la emisora las ondas generadas. En este lugar se MEZCLAN las ondas de baja frecuencia con las de alta frecuencia, dando como resultado una <<onda de alta frecuencia modulada por los sonidos>> que, una vez amplificadas, es irradiada al espacio por la antena.

Esta onda es captada por la onda receptora en la que la inducción aparece como una débil corriente eléctrica que es transmitida al equipo receptor para ser amplificadas, detectada y transformada en sonidos difundidos por el altavoz o bocina.

Las ondas son lanzadas por las antenas de las estaciones transmisoras y se difunden por todo el espacio circundante. Circulan a una velocidad igual a la de la luz: 300,000 km por segundo, como se ha manifestado anteriormente.

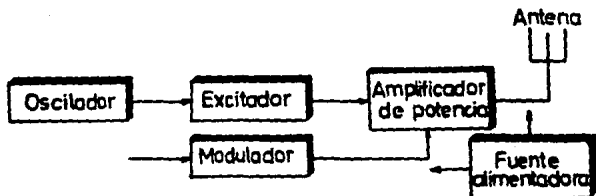


Figura 44 Diagrama Sintético en Bloques de un Transmisor con Modulador

La señal de radio frecuencia se llama portadora y la de audio se llama envolvente. (Ver figura 45).



Figura 45 Onda Emitida por un Transmisor

Al procedimiento que modifica la amplitud de la onda únicamente y deja constante a la frecuencia se le llama MODULACION DE AMPLITUD, denominada con las siglas AM, en los puntos 5.1.1. y 5.1.2. se dan detalles sobre la modulación y demodulación de una señal de AM, respectivamente.

Si dejamos constante la amplitud de la onda, pero hacemos variar su frecuencia, tanto en aumento como en disminución, con un ritmo determinado, tendremos la MODULACION DE FRECUENCIA, denominada con las siglas FM.

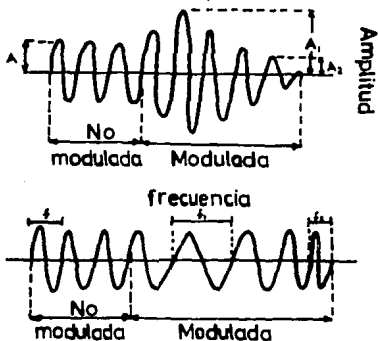


Figura 46 Principio de los Dos Sistemas de Modulación AM y FM

5.1.1. Modulación de Amplitud

Cuando se varía la AMPLITUD de una onda de acuerdo con otra onda que en alguna forma represente información, el proceso se llama modulación de amplitud. La onda que se modula es la PORTADORA y la otra es la onda o SEÑAL MODULADORA. En esta modulación, la amplitud de pico a pico, o de máximo a máximo, de la portadora de c-a varía de acuerdo con la señal de información. Así, la portadora consta de ondas sinusoidales cuyas amplitudes siguen las variaciones de amplitud de la onda moduladora, de tal manera que siempre está dentro de una ENVOLVENTE formada por la onda moduladora.

Cabe preguntarse por qué una señal que ya lleva información -LA ONDA MODULADORA- ha de usarse para modular otra onda -LA PORTADORA-. Según se verá, la transmisión de señales de alta frecuencia por radio es más BARATA y más EFICAZ que la transmisión de señales de muy baja frecuencia. Se necesita mucha potencia para transmitir una señal de baja frecuencia, y la señal no puede transmitirse muy lejos. Así pues, la información de baja frecuencia se sobrepone o modula en una señal de alta frecuencia llamada usualmente PORTADORA DE RADIOFRECUENCIA - r-f -, ya que es adecuada para transmisión por radio. El término RADIOFRECUENCIA no define una banda específica de frecuencia, pues sólo significa que la frecuencia es suficientemente alta para la transmisión radifónica.

Como un medio para transmitir información, la modulación de amplitud tiene muchas ventajas; sin embargo, también presenta algunas desventajas que, en ciertas condiciones limitan su utilidad y obligan a buscar otras formas de modulación. La desventaja principal de la modulación de amplitud estriba en que la afectan fácilmente diversos fenómenos atmosféricos -ESTÁTICA-, señales electrónicas con frecuencias parecidas y las interferencias ocasionadas por los aparatos eléctricos tales como motores y generadores. Todos estos ruidos tienden a MODULAR EN AMPLITUD la portadora, del mismo modo que lo hace su propia señal moduladora. Por lo tanto se convierten en parte de la señal modulada y subsisten en ella durante todo el proceso de demodulación. Después de la demodulación se manifiestan como RUIDO o DISTORSION, que si es bastante fuerte, puede sobreponerse a toda la información y hacer completamente inaprovechable la señal demodulada. Aun si aquellos no son tan acentuados como para tapar parte de la información, sí pueden ser extremadamente molestos.

La única forma de prevenir o eliminar la interferencia que tiende a modular en amplitud a una portadora, es agregar la información a la portadora, utilizando algún método que no sea el de variaciones de amplitud. En otras palabras, modular la portadora, pero no en amplitud; un tipo de modulación que se caracteriza por su buena RESISTENCIA A LA INTERFERENCIA es la MODULACION DE FRECUENCIA - FM-.

5.1.2. Detección de AM

La DEMODULACION de AM es el proceso usado para RECUPERAR la señal de información llevada en una onda portadora modulada en amplitud; este proceso también se llama DETECCION. Es más fácil explicarlo, considerando una portadora modulada completa, en lugar de los componentes de la misma; es decir, las bandas laterales y una portadora no modulada. Si la portadora se suprimiera o redujera antes de la transmisión, primeramente habría que generar una portadora con la fase, frecuencia y amplitud apropiadas, y combinarla con la banda lateral antes de proceder a la demodulación de la señal. A esto se le llama REINSERCCION DE LA PORTADORA.

Por consiguiente, una señal modulada en amplitud sólo puede demodularse cuando está compuesta de una frecuencia portadora cuya amplitud de pico-a-pico varía de acuerdo con la información que lleva. La demodulación o detección consiste en enviar esta onda modulada a través de un circuito llamado DETECTOR o DEMODULADOR, que efectúa dos operaciones con la onda: primeramente, suprime la mitad superior o la inferior de la onda (esto se llama RECTIFICACION); luego el detector elimina la porción de r-f, de la mitad restante de la onda, pero deja una señal que sigue la ENVOLVENTE de esta mitad de la onda. En efecto, el detector elimina toda la onda portadora modulada, excepto la mitad de la envolvente. Y, como las variaciones de ambas mitades de la onda representan la información, al reducirse la onda a la mitad de la envolvente, se completa el proceso de demodulación.

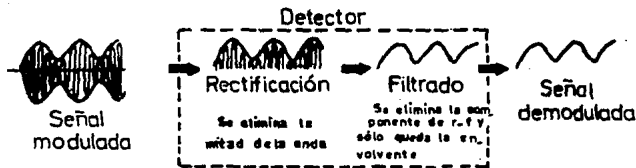


Figura 47 La Demodulación AM se Efectúa Eliminando la Mayor Parte de la Señal Modulada y Dejando Sólo la Mitad de la Envolvente que Representa la Información

5.2. Las Radiaciones

Cuando las ondas tropiezan con una antena, determinan en ella una corriente minúscula que va cargada de sonidos, es lo que se llama una CORRIENTE OSCILANTE; o sea, una corriente alterna de frecuencia elevadísima, que se obtiene así:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : Longitud de onda

c : Velocidad de la luz

f : Frecuencia

Suponiendo que una estación emita con una onda de 300 metros, tendrá una frecuencia:

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg.}}{300 \text{ m}} = 1,000 \text{ KHz.}$$

Los aparatos receptores de radio pueden captar ondas medias, largas y cortas. Desde su antena, cada estación despide ondas que tienen constantemente la misma longitud que son la característica de la emisora. Esto es indispensable para poder escuchar una estación determinada, ya que si hubiese otra estación que lanzase exactamente la misma longitud de onda, se oírían mezcladas.

Las ondas de radio, como todas las ondas electromagnéticas, se propagan en línea recta y en todas direcciones, y sufren los fenómenos de reflexión, difracción y absorción, debido a las propiedades eléctricas y magnéticas de la Tierra.

Debido a la gran cantidad actual de emisoras, resulta que la misma longitud de onda; -es decir, la misma frecuencia- se ha concedido a dos o más emisoras, pero son obligados a tener una potencia determinada según la distancia entre sí, con el fin de

que se produzca el mínimo de interferencias.

Para la radiodifusión pública se reservan determinadas gamas de ondas:

LARGAS	de 600 metros a varios kilómetros
MEDIAS	de 100 a 600 metros
CORTAS	de 10 a 100 metros
ULTRACORTAS	desde pocos centímetros hasta 10 metros

Los demás servicios -policía, prensa, etc.- utilizan otras frecuencias distintas a las empleadas en la radiodifusión pública.

Por ejemplo, si se emplean frecuencias elevadas -MICROONDAS-, se utilizan antenas de dimensiones relativamente pequeñas para producir un haz de ondas dirigido: TRANSMISION DIRECCIONAL. Esta tiene las ventajas de requerir transmisores de escasa potencia, de poder usar sin interferencias frecuencias idénticas para enlaces muy próximos entre sí y poder garantizar un absoluto secreto en las comunicaciones. Además el empleo de frecuencias elevadas requiere, para establecer conexiones seguras, que exista visibilidad óptica entre la estación transmisora y la estación receptora.

La gran ventaja de la transmisión direccional, en el año de 1918, fue que la potencia usada era solamente de 2/100 de la potencia que habría sido necesaria para obtener el mismo resultado con un transmisor que irradiara en todas direcciones. En 1905 Marconi diseñó la antena en forma de L invertida, que tenía propiedades direccionales, siendo la dirección de máxima propagación a lo largo de los alambres, en dirección opuesta a la que apuntan los extremos libres; es decir, la transmisión será mayor en dirección de la línea alimentadora de la antena. (Ver figura 48).

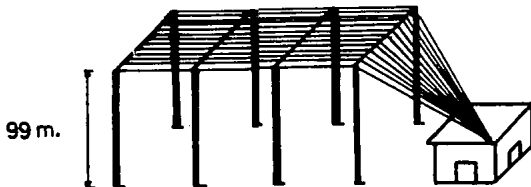


Figura 48 Antena L Invertida

Marconi abogó por el empleo de transmisores de onda corta de baja potencia, en lugar de los transmisores de gran potencia

y de onda larga, que son mucho más costosos. Así fue como se construyeron estaciones direccionales de onda corta en Inglaterra, para comunicaciones con Canadá, Sud Africa, Australia e India. Todas estas estaciones fueron terminadas e inauguradas y así fue establecido el servicio telegráfico antes de 1927.

Actualmente todas las cuestiones relacionadas con la asignación de bandas de frecuencia a los distintos servicios está regulada por el Reglamento General de Radiocomunicación, editado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones de Ginebra. A este reglamento se le han asignado unas bandas especiales para la radioastronomía y la radioastronáutica:

Banda	4
Gama de Frecuencia	de 10 KHz a 30 KHz
Longitud de Onda	de 30,000 m a 10,000 m
Subdivisión	ondas muy largas -miriámétricas
Abreviatura	VLF

Banda	5
Gama de Frecuencia	de 30 KHz a 300 KHz
Longitud de Onda	de 10,000 m a 1,000 m
Subdivisión	ondas largas -kilométricas-
Abreviatura	LF

Banda	6
Gama de Frecuencia	de 300 KHz a 3 MHz
Longitud de Onda	de 1,000 m a 100 m
Subdivisión	ondas medias -hectométricas-
Abreviatura	MF

Banda	7
Gama de Frecuencia	de 3MHz a 30 MHz
Longitud de Onda	de 100 m a 10 m
Subdivisión	ondas cortas -decamétricas-
Abreviatura	HF

Banda	8
Gama de Frecuencia	de 30 MHz a 300 MHz
Longitud de Onda	de 10 m a 1 m
Subdivisión	ondas muy cortas -métricas-
Abreviatura	VHF

Banda	9
Gama de Frecuencia	de 300 MHz a 3,000 MHz
Longitud de Onda	de 1 m a 10 cm
Subdivisión	ondas ultracortas -decimétricas-
Abreviatura	UHF

Banda	10
Gama de Frecuencia	de 3,000 MHz a 30,000 MHz
Longitud de Onda	de 10 cm a 1 cm
Subdivisión	microondas -centimétricas-
Abreviatura	SHF

Banda	11
Gama de Frecuencia	de 30,000 MHz a 300,000 MHz

Longitud de Onda	de 1 cm a 1 mm
Subdivisión	microondas -milimétricas-
Abreviatura	EHF

En la actualidad las características de propagación y usos más comunes de las ondas de radio son las siguientes:

- VLF. Banda 4. Propagaciones principalmente de atenuaciones débiles, características estables. Enlaces Hertzianos para larga distancia.
- LF. Banda 5. Características de propagación, similares a (VLF), pero menos estables. Enlaces Hertzianos para larga distancia, asistencia a la navegación marítima y aérea.
- MF. Banda 6. Parecidas a las anteriores, pero con elevada absorción durante el día; propagaciones principalmente ionosféricas de noche. Uso más común: la radiodifusión.
- HF. Banda 7. Propagaciones principalmente ionosféricas con fuertes variaciones estacionales durante varias horas del día. Comunicaciones de todos los tipos para media y larga distancia.
- VHF. Banda 8. Propagación por onda de tierra; esporádicamente propagaciones ionosféricas o troposféricas. Enlaces hertzianos para corta distancia, televisión, modulación de frecuencias, asistencia a la navegación aérea.
- UHF. Banda 9. Propagaciones exclusivamente directas; posibilidad de conexiones por reflexión de la luna o a través de satélites artificiales. Enlaces hertzianos, televisión, radar.
- SHF. Banda 10. Como la anterior. Radar, enlaces hertzianos.
- EHF. Banda 11. Como las anteriores, radar, enlaces hertzianos.

Ultimamente, para comunicaciones por radio se vienen utilizando satélites artificiales. Estos pueden ser <<PASIVOS>>; es decir, que se limitan a reflejar las ondas de radio que les llegan como los satélites de tipo ECO; o <<ACTIVOS>>, en cuyo caso reciben la onda de radio y acto seguido la retransmiten amplificada hacia la Tierra.

Dichos satélites se utilizan normalmente para comunicaciones intercontinentales, tal como sucede con los <<TELSTAR>>, <<SINCOM>>, <<RELAX>>, etc. -Más información en el subcapítulo 5.4.6.

5.3. Primeras Radiodifusoras en el Mundo

De todas las diferentes aplicaciones de la radiotelefonía,

la radiodifusión ha sido, sin duda, el progreso más asombroso. Uno de los primeros programas experimentales de radiotelefonía fue irradiado por una estación transmisora de Inglaterra. Esta estación, propiedad de la compañía Marconi, estaba situada en Chelmsford, Essex. En las transmisiones experimentales iniciales fueron transmitidos programas de música instrumental y vocal desde el 21 de febrero hasta el 6 de marzo de 1920. Se usaba una longitud de onda de 2,800 metros, con una potencia de 100 watts. Los programas fueron recibidos por operadores de barcos que se encontraban a 1,200 millas de Chelmsford.

En mayo de 1920 una estación holandesa de La Haya comenzó a irradiar programas de radiotelefonía. Esta estación se recibía muy bien en Inglaterra y fue durante mucho tiempo una estación favorita de los ingleses.

La primera estación de radiotelefonía construida en los Estados Unidos de Norteamérica fue la de la Westinghouse Electric Company, situada en Pittsburg y cuya característica era KDKA. Esta estación irradió los resultados de las elecciones del Presidente Harding, en noviembre de 1920; que trabajaba en una longitud de onda de 360 metros. En el año de 1921 fueron creadas muchas estaciones de radiodifusión en este país. La mayoría de los propietarios de estas estaciones de radiodifusión se interesaron más en su desarrollo como un medio de publicidad que como un medio de entretenimiento. A mediados de 1923 existían en América alrededor de quinientas emisoras de radiodifusión, con un auditorio de dos millones de personas. Como todas trabajaban en la misma longitud de onda, la audición era un caos. En 1927 se formó la Federal Radio Commission, que empezó por ordenar la situación y controlar el crecimiento del número de emisoras.

En Inglaterra las cosas discurrían de forma muy diferente. La Dirección de Correos mantenía el monopolio de la telefonía. Después de la guerra, se autorizó una emisora de sólo 10 watts, y en 1921 se autorizó a Marconi una de 200 watts, que se montó en Writtle, cerca de Chelmsford. Al año siguiente existía otra emisora en la casa central de Marconi, en el Strand, y se concedieron 30,000 licencias de recepción. Otras firmas comerciales solicitaron los mismos privilegios concedidos a Marconi, y el malestar fue calmado con la creación de la British Broadcasting Company -B.B.C.- el 18 de enero de 1923, en que tomaban parte todos. La Dirección de correos prohibía la publicidad que, por supuesto, había jugado un papel muy importante en el desarrollo de la red americana. Además los dividendos estaban limitados a un 7.5% y la licencia finalizaba en 1926. De hecho, cuando caducó el permiso, se reestructuró la compañía como organización independiente, siendo sus ingresos los correspondientes a las tarifas de recepción.

Las estaciones principales de la B.B.C. y las retransmisoras eran estaciones de longitud de onda media, pues estaban por debajo de los 600 metros, y funcionaban con una potencia de 200 watts a un kilowatt.

A mediados de los años veinte, las redes de radiodifusión cubrían los países más desarrollados. Como las ondas de radio no respetan fronteras, no tardaron mucho en hacerse intolerables

las interferencias entre estaciones europeas. Había que llegar a un acuerdo internacional para asignar las longitudes de onda a los diferentes emisores y para fijar la diferencia mínima que debía existir en las longitudes de onda de canales adyacentes.

En la segunda conferencia, celebrada en Praga, se dividió la banda de radio, 200-545 metros, en 106 canales de 9 KHz de anchura. En 1931 existían 261 emisoras en Europa -incluida Rusia-; alrededor de 30 de ellas utilizaban portadoras con una potencia de 50 kilowatts y los problemas de INTERFERENCIAS fueron mayores todavía. Por estas fechas se empezaron a utilizar los receptores SUPERHETERODINOS, con los que la situación mejoró considerablemente a causa de su mayor SELECTIVIDAD; es decir, por su discriminación contra perturbaciones. Al mismo tiempo se estaba investigando en transmisión con ondas cortas, que tuvieron gran importancia para la televisión. Se estudiaron otras posibilidades, incluyendo la utilización de otros tipos de modulación en que se varía la frecuencia de las señales -FM- y no su amplitud -AM-. Las ondas cortas, que inicialmente habían sido dejadas a los radioaficionados porque se creía que eran inservibles, empezaron a ser empleadas para fines oficiales y comerciales, no tardando en ser utilizadas en radiodifusión.

En la radiodifusión, nos encontramos con una dificultad que no existía en la telefonía. Se trata del modo de adaptar las señales correspondientes a la palabra, a la música o a una onda cuya frecuencia ha de ser suficientemente alta para que el tamaño de las antenas sea razonable. Tomando para la frecuencia más alta de la palabra un valor de 5,000 Hz, con objeto de utilizar números sencillos, la longitud de onda MAS CORTA sería:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^3} = 60,000 \text{ m.}$$

Es decir, para radiar ondas de esta frecuencia, la antena debería tener unas dimensiones del orden de 11.2 kilómetros, a todas luces imposible. Para salvar esta dificultad se utilizan ondas de frecuencia mucho mayor, con lo que las dimensiones se hacen más razonables. Pero estas ondas han de transmitir la palabra de algún modo, y lo que se hace es alterar una de las características por la palabra o señal a transmitir y más tarde, en recepción, de esta alteración se extrae la información transmitida. Por ejemplo, un transmisor puede radiar ondas de 300 metros de longitud -frecuencia 1 Mega Hz- con una antena de pequeñas dimensiones; y si podemos introducir en esta onda alguna modificación que dependa directamente de la señal de baja frecuencia a transmitir, se habrá resuelto el problema.

No debemos olvidar que el proceso de introducir en la alta frecuencia una modificación proporcional a la palabra, música, etc. se conoce por MODULACION. En el receptor se realiza el proceso inverso, que se denomina DETECCION -DEMULACION-.

5.4. Sistemas de Comunicaciones

5.4.1. Microondas

En el subcapítulo 5.2 de esta tesis, se hace mención de las MICROONDAS, debemos anexar que las bandas SHF <<SUPER HIGH FRECUENCY >> (super alta frecuencia) y EHF << EXTREMELY HIGH FRECUENCY >> (extremadamente alta frecuencia) se denominan a menudo MICROONDAS.

Por alguna razón, la capa Kennelly-Heaviside no refleja las ondas de frecuencia ultra-alta y las MICROONDAS que se usan en el RADAR y en la televisión, el por qué de ello queda fuera de la discusión de este trabajo. Ambos están restringidos a un corto alcance, ya que esas ondas sólo se propagan en línea recta como las de luz visible. Por lo tanto, para recibir las señales de radar o de televisión, la antena receptora debe estar dentro de la visual de la antena transmisora, la cual, para que cubra una gran área, debe estar situada a cierta altura en el aire, encima de un edificio, de una colina o de la cima de una montaña. Las antenas receptoras como transmisoras son del tipo PARABOLICO. Su longitud de onda es de 1 mm a 10 cms.

5.4.2. El Radar

El radar es uno de los más importantes perfeccionamientos electrónicos de la Segunda Guerra Mundial; es un ejemplo típico del uso de las microondas y se puede definir como el arte de determinar por medio de ECOS DE RADIO la presencia, distancia, dirección y velocidad de aviones, barcos, fenómenos meteorológicos y otros objetos distantes. RADAR deriva su nombre de: << Radio Detection and Ranging >> (detección y determinación de distancia por radio). La utilización de este tipo de equipos se inició aproximadamente en 1938 en diversos países como Inglaterra, Alemania y Estados Unidos, primordialmente para fines aeronáuticos militares.



Figura 48-A Diagrama Esquemático del Radar

El radar consiste de 4 componentes principales: transmisor, antena, receptor e indicador, véase la figura 48-A. El transmisor,

El receptor convierte a la potencia proporcionada al equipo en ondas de radio, de una cierta frecuencia, y la envía a la antena a través de una GUIA DE ONDAS. Esta antena sirve para transmitir y recibir las ondas. El reflector (parábola) de la antena concentra las ondas en un haz angosto; al chocar con un objeto, son reflejadas por éste y regresan a la antena para su detección. El receptor amplifica la señal proveniente de la antena y la envía al indicador; donde se convierte en un eco que pueda ser interpretado, semejante al de una pantalla de TV.

El radar emite un corto impulso de energía electromagnética (ver figura 48-B) y "escucha" o "espera", por decir así, su regreso. Sólo una pequeña porción de la energía reflejada regresa a la antena. La energía electromagnética viaja, en el aire, a una velocidad de la luz y es dispersada, en todas las direcciones, por los objetos o blancos que encuentra. Es decir, un pulso requiere un millonésimo de segundo para detectar un objeto a una distancia de 150 m. No olvidar que las ondas electromagnéticas emitidas por un radar viajan en línea recta cuando se encuentran en el vacío o en un medio homogéneo en densidad y composición.

Las longitudes de onda usadas en el radar están dentro del rango de 1 cm. a 10 cms. El alcance mínimo de un radar es de 300 Km. y su alcance máximo es de 900 Kms. dependiendo de la emisión de los impulsos con el intervalo de repetición corto o grande.

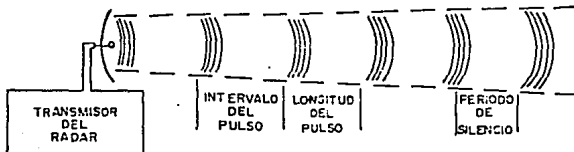


Figura 48-B Representación de un Pulso del Haz del Radar

5.4.3. Guía de Ondas

El término «guía de ondas», generalmente se aplica a una clase especial de conductores metálicos que tienen la propiedad de conducir oscilaciones de alta frecuencia desde un lugar a otro. Para ser más específicos, es una línea de radio-transmisión por medio de la cual la energía generada en un oscilador se puede trasladar a algún servicio con poca o ninguna pérdida a lo largo de la línea.

Comúnmente se usan dos tipos de guías de ondas, como se muestran en la figura 48-C. El primero, llamado CABLE COAXIAL o LINEA CONCENTRICA, consta de un alambre conductor aislado,

tendido a lo largo de un conductor tubular. La energía de cualquier fuente de alta frecuencia, cuando está conectada al alambre central y a la envoltura tubular, se propaga como ondas a través del dieléctrico entre los dos conductores. Se emplea para ondas mayores de 10 cms.

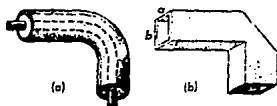


Figura 48-C Guía de Ondas Usadas Corrientemente en las Líneas de Transmisión de Radar y Televisión:

a) Cable Coaxial b) Conductor Hueco

El segundo es un tubo rectangular hueco llamado GUIA DE ONDAS. La energía introducida como ondas electromagnéticas en un extremo es guiada por las paredes conductoras hacia el otro extremo. Cada conductor se muestra doblado con un ángulo de 90° , para indicar que las ondas se pueden guiar alrededor de las esquinas. Los tubos huecos se usan con ondas menores de 10 cms.

Mientras que en las líneas coaxiales no hay límite para la frecuencia transmitida, hay un límite bajo para las guías de ondas huecas, llamado FRECUENCIA DE CORTE o frecuencia crítica. La capacidad de potencia de un conducto hueco transmitiendo en su modo dominante, es mayor que la de un cable coaxial del mismo tamaño.

5.4.4. Fibras Ópticas

Dentro de las comunicaciones inalámbricas existe otro tipo de guía de onda óptica que consiste en filamentos transparentes con un diámetro de pocos micrones, llamadas FIBRAS ÓPTICAS. Estas fibras se hacen de vidrio o cuarzo, aunque se están probando otros materiales, como el Nylon. Un rayo que entra por un extremo sigue el eje de la fibra como consecuencia de las varias reflexiones y sale por el otro extremo. (Ver figura 48-D). Cuando las fibras se disponen en haces, se puede transmitir una imagen de un punto a otro. Las guías de onda acústica también son muy comunes. La fibra óptica de material plástico incoloro como el poliestireno, produce una reflexión total de la luz en el contorno de la varilla, con pérdidas despreciables, resultan mucho más baratas. Además, su tendido es mucho más fácil y los requisitos de rectitud de la guía son menos importantes.

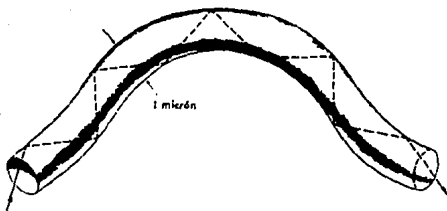


Figura 48-D Las Fibras Ópticas Actúan Como Guías de Onda para la Luz

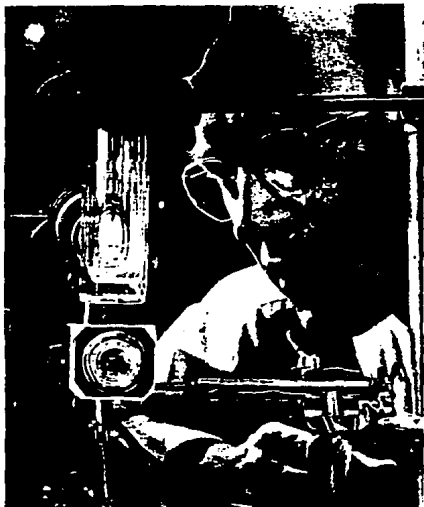
5.4.5. Laser

Este nuevo dispositivo es el LASER («Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation»). El laser se comporta como un foco de luz muy intenso; es decir, genera una radiación electromagnética de alta frecuencia que, al contrario de otros focos luminosos, es coherente. Esto significa que las características espectrales del laser son similares a las de un oscilador que genera una frecuencia pura, mientras que la luz ordinaria, como la emitida por un cuerpo caliente, tiene características análogas a un ruido eléctrico. Puesto que la radiación es coherente se puede, EN PRINCIPIO, modular, y por consiguiente sirve para transcurrir información, en forma análoga a una onda electromagnética cualquiera. La longitud de onda del laser depende de las características del material utilizado. Un tipo que emplea una varilla de rubí sintético como elemento activo produce una radiación cuya longitud de onda es alrededor de $7,000\text{Å}$, siendo $1\text{Å} = 10^{10}$ metros, o sea 7×10^{-5} centímetros. Las transmisiones del laser se pueden utilizar en el espacio libre, donde por su corta longitud de onda pueden ser concentradas con lentes de pequeñas dimensiones y se obtiene una radiación de sección muy reducida, con lo cual resulta una densidad energética muy alta que podría emplearse en comunicaciones, sobre todo en distancias cortas. Una posible dificultad de este sistema es que se desconoce en qué grado le afectan las perturbaciones atmosféricas. (Para tener una idea de las dimensiones del haz, obsérvese que con una lente o espejo de 25 cms. se puede conseguir con la longitud de onda anterior una anchura de haz, a 40 kms. del emisor, de 35 cms.)

El primer laser se puso en funcionamiento en 1960. Estaba constituido por una varilla de rubí en la que se excitaban las oscilaciones con la radiación de una lámpara de "flash". Este tipo de laser es de tipo pulsatorio y existen diferentes motivos que impedían conseguir una frecuencia de impulsos elevada. La razón más importante es quizás que por ser pulsatoria la excitación del laser, produce gran cantidad de radiaciones indeseadas

que al incidir en la varilla de rubí se transforman en calor, con lo cual disminuye apreciablemente el rendimiento del proceso. Otro modelo de laser utiliza un tipo especial de tubo de descarga gaseosa que produce una salida continua; pero, por el momento, la potencia de salida es baja, inferior a un vatio. Se han utilizado también otros tipos de laser, en los que se emplean dispositivos de estado sólido; el material utilizado es arseniuro de galio. En este laser, se hace pasar una corriente moderada a través de un cristal de pequeña sección, o sea que la densidad de corriente es elevada, consiguiendo así que el cristal emita radiación. Este efecto puede ser reforzado refrigerando el cristal a temperaturas del helio líquido, 4 °K, pero se produce también para un temperatura de 80 °K que se puede conseguir con nitrógeno líquido, que es mucho más barato. Un laser de estado sólido posee un rendimiento más elevado que los de gas o rubí; sin embargo, su salida es baja. La ventaja principal es que son mucho más fáciles de modular con altas frecuencias que los otros tipos.

En lo concerniente a aplicaciones prácticas, los progresos han sido mucho más lentos que los realizados en la comprensión de los principios físicos que rigen la acción del laser. Se han realizado diferentes demostraciones de sistemas de corto alcance y baja capacidad que trabajan en la atmósfera, pero más sirven como curiosidades científicas que como base de un sistema de comunicaciones útil. Quedan todavía muchos problemas por resolver en este campo y sería ilusorio esperar rápidos progresos.



La General Electric en 1962 tuvo un nuevo tipo de Laser, uno hecho de Arsénico de Galio, enfriado con Nitrógeno Líquido.

5.4.6. Satélites de Comunicaciones

Durante los últimos años se han realizado espectaculares progresos en las comunicaciones que culminaron en la utilización de SATELITES para la retransmisión de señales de telefonía, radio y de televisión. Permiten comunicar entre sí puntos muy distantes del planeta. Actualmente son capaces de retransmitir gran cantidad de comunicación. La economía que comporta este sistema de comunicaciones es un factor a tener en cuenta: sus costos son menores que los derivados de cualquier otro sistema. Por otra parte, retransmite programas radiofónicos y televisivos que cubren áreas del planeta cuyas gentes viven en sociedades muy primitivas.

La repercusión mundial que han tenido los lanzamientos de satélites durante los últimos años, desde el punto de vista de

la ciencia y de la tecnología, significa haber ampliado considerablemente las fronteras del conocimiento humano. También, el espacio se debe considerar como elemento político; los programas espaciales de la ex Unión Soviética y de los Estados Unidos de Norteamérica tuvieron una amplia relación con la situación política existente entre ambos países.

El único medio efectivo para mantener una comunicación entre satélites y las estaciones de seguimiento es el empleo de enlaces radioeléctricos de alta frecuencia. Las bandas de transmisión utilizadas dependen de las características particulares de cada satélite, así como de la absorción que experimentan las señales al atravesar las distintas capas atmosféricas.

Por lo general, la mayor parte de los enlaces entre la tierra y las naves orbitales se producen mediante señales en la banda VHF y frecuencias superiores. Los Sputnik (el primero de los cuales fue puesto en órbita en 1957) trabajaban en la frecuencia de 20 y 40 MHz, que apenas eran alteradas por la ionosfera; el Vanguard 1 lo hacía en la de 108 MHz. En el pasado, la banda de 136 MHz era muy empleada por diversos satélites científicos, meteorológicos y de comunicaciones.

La mayor parte de satélites utilizan simultáneamente diferentes bandas de frecuencia. A través de una de ellas viene transmitida de modo continuo una señal de balizaje para la localización de la nave desde las estaciones de seguimiento. Otros canales se emplean para el envío de órdenes a los equipos de abordaje, y otros, en fin, para la transmisión de datos a la Tierra.

Casi todas las comunicaciones entre el satélite y las estaciones de rastreo se realizan por el SISTEMA DE MODULACION DE IMPULSOS. Tanto las órdenes que se transmiten al satélite como los informes que éste envía van codificados según técnicas digitales. De este modo se facilita el análisis de resultados por computadora. Sólo en contados casos en que se desea establecer enlace por audio o video se recurre a la modulación de amplitud o frecuencia.

Cabe señalar también los diferentes tipos de antenas que equipan los satélites artificiales. Los primeros modelos eran simples dipolos ajustados a la longitud de onda del transmisor. En ocasiones las varillas medían sólo algunos decímetros y podían acomodarse fácilmente bajo el casco de proa del cohete, como, por ejemplo, en los primeros Sputnik y en el Vanguard 1.

Otras veces, la longitud de la antena era tan grande que era preciso almacenarla doblada en el cono del cohete hasta que, al desprenderse en el espacio, podía abrirse y situarse en posición de trabajo.

Las primeras antenas dipolo radiaban mejor en una dirección que en otras; como el satélite no estaba estabilizado sobre sus tres ejes, sino que avanzaba "rodando" sobre su órbita, fue pre-

ciso dotarlo de antenas parabólicas o helicoidales orientables para localizar la señal como al satélite en cualquier punto del firmamento, aunque no pase por la estación terrestre.

En nuestros días los satélites de comunicaciones envían su información hacia antenas parabólicas de 25 m. de diámetro; por lo tanto, la sensibilidad de la antena parabólica es, como mínimo unas 100,000 veces superior a la de un receptor de radio corriente. A través de ella no sólo puede recibirse información procedente del satélite, sino que también permite que se le envíen órdenes a su paso sobre la estación. Véase la figura 48-E.

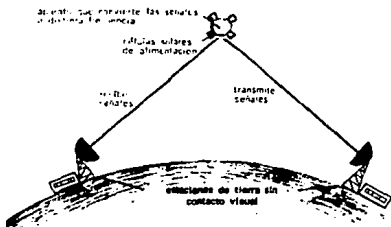


Figura 48-E Señales de Servicio Transmitidas por Medio de Satélites Espaciales

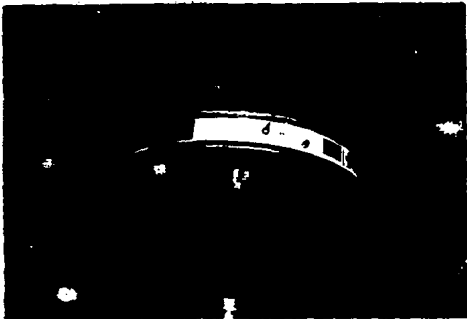
Aparte de las bases de rastreo convencionales, se disponen de buques especialmente equipados con sistemas de radio-escucha para actuar como receptores en aquellas zonas que no estén cubiertas por otra estación terrestre. Asimismo, se utiliza una flota de aviones de transporte dotados con equipos semejantes. Junto a las estaciones de recepción de telemetría existen otras equipadas con dispositivos de seguimiento óptico, emisores-receptores de rayos laser, etc.

5.4.6.1. Satélites Pasivos

Su misión consistía en actuar como "espejos" en el cielo, reflejando las señales de radio de una estación a otra, sin someterlas a ningún tratamiento electrónico intermedio.

Naturalmente, estos satélites debían tener unas dimensiones enormes, ya que la intensidad de la señal reflejada estaba en proporción a su superficie reflectora. Y aún así, dado que la intensidad de la radiación electromagnética disminuye de acuerdo con la inversa del cuadrado de las distancias, es fácil imaginar hasta qué punto eran insignificantes las potencias manejadas en estos experimentos, cuando las señales tenían que cubrir trayectos de 1,500 Kms. y otros tantos de vuelta.

El primer satélite empleado en experimentos de comunicaciones por métodos pasivos fue el ECHO 1. Como satélite de comunicación, su superficie aluminizada constituía un reflector perfecto en el que se hicieron rebotar señales de radio de una estación a otra, dentro siempre del territorio de los Estados Unidos. Por este método fueron transmitidas conversaciones telefónicas o incluso telefotos, demostrando así por primera vez el carácter realmente efectivo de las comunicaciones vía satélite.



En la fotografía, el Courier 1-B, uno de los Pioneros

5.4.6.2. Satélites Activos

El primer satélite de comunicaciones activo fue el TELSTAR 1, que señaló una época en el avance de la tecnología espacial. Se le llamó ACTIVO porque, a diferencia de sus predecesores, iba dotado de amplificadores para reforzar la señal recibida antes de retransmitirla hacia la Tierra.

Los TELSTAR (sólo se construyeron dos) se emplearon en ensayos de comunicaciones por televisión, telefoto y teletipo con resultados muy satisfactorios. El primer enlace video entre las cadenas de televisión europeas y americanas fue establecido a través del TELSTAR 1 el día 11 de julio de 1962.

A pesar del evidente progreso técnico que representaban, los TELSTAR todavía adolecían de un doble inconveniente: primero, para comunicarse con ellos era preciso utilizar unas antenas especiales, de dimensiones colosales; sólo existían tres, en Maine (Estados Unidos), Pleumeur-Bordou (Francia) y Goonhilly Down (Gran Bretaña); segundo, y más grave, su órbita era bastante baja y el satélite cruzaba muy de prisa de horizonte a hori-

zonte. El enlace entre una estación y otra no podía mantenerse más que durante seis o siete minutos en cada revolución.

La NASA, organización americana que dirige los proyectos espaciales, no disponía de ningún cohete capaz de situar la carga deseada en su órbita, ni tampoco de un sistema de guiado que le permitiese alcanzarla. Por ello se eligió una órbita elíptica mucho más baja, con un apogeo o distancia máxima a la Tierra de 5,551 kms., muy poco menor que el radio de la Tierra, y un perigeo o distancia mínima de 925 kms. El período de la órbita era 158 minutos, por lo que se necesitaban nueve órbitas para completar un día y la décima órbita casi coincidía con la trayectoria de la primera. Posteriormente con el avance de la tecnología de los cohetes, se logró poner a los satélites de comunicaciones en una órbita circular a 35,900 kms. de altura (aproximadamente cinco veces y media el radio terrestre) le corresponde un período orbital de 23 horas 56 minutos, el mismo que el de rotación de nuestro planeta. Cualquier satélite insertado en esta trayectoria girará a igual velocidad que la Tierra, manteniéndose siempre fijo sobre el mismo meridiano. Tan sólo fluctuará en latitud, de forma que, para un observador fijo en el suelo, parecerá describir en el firmamento una especie de "8", tanto más alargado cuanto más acusada sea su inclinación con respecto al ecuador.

Si esa órbita circular, es además ecuatorial, el "8" quedará reducido a un punto. El satélite permanecerá "fijo" tanto en longitud como en latitud.

El transmisor de tierra, localizado en Maine, constaba de una gran antena de microondas altamente direccional movida por un sistema de control muy preciso para seguir al satélite. El transmisor empleaba FM con una portadora de 6,390 megaciclos (MHz) y 2 kilowatts de salida continua. Una vez recibida la señal en el satélite, éste cambiaba la frecuencia a 4,170 megaciclos (MHz) y la retransmitía con una potencia de 2 watts. Estas frecuencias están comprendidas en las bandas autorizadas internacionalmente para los enlaces de microondas y su elección se hizo después de considerar las posibles interferencias de los radioenlaces existentes.

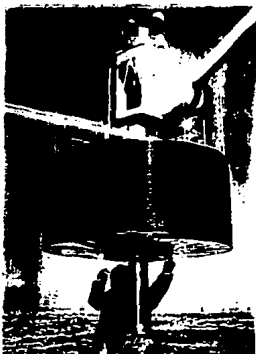


En la fotografía, el Relay 1 y el Syncom 1, Pioneros de los Satélites Activos

La puesta en órbita del SYNCOM 3, el primer satélite estacionario. Fijo sobre el Ecuador, a 180° de longitud, permitió el enlace directo entre las redes de televisión comercial japonesa y norteamericana con motivo de los Juegos Olímpicos de Tokio, de 1964.

A partir del Syncom 3, se inició el boom de las comunicaciones vía satélite. En 1965 se lanzó el EARLY BIRD, en realidad un Syncom dedicado al servicio comercial transatlántico. Este podía transmitir un programa de televisión ó 240 conversaciones telefónicas simultáneas.

Los INTELSAT 2, 3, 4 Y 5 fueron modelos posteriores de mayor potencia y capacidad. Esos satélites podían retransmitir simultáneamente doce emisiones de televisión en blanco y negro o color y 9,000 conversaciones telefónicas. También podían manejar señales de teletipo, telefoto e incluso información digital a alta velocidad.



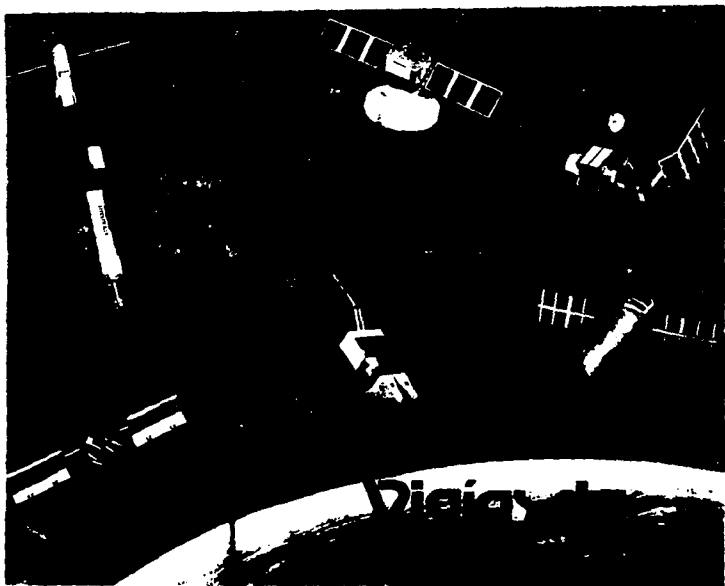
En la Fotografía, Uno de los Satélites de la Serie Intelsat, el Pájaro Madrugador.

Desde el principio, los técnicos estadounidenses mostraron preferencia por los satélites de comunicaciones estacionarios, en cambio, este tipo de ingenios no resultaba apropiado para las necesidades de la Unión Soviética, ya que gran parte de Siberia (la zona más necesitada de un servicio de comunicaciones vía satélite) se encuentra en latitudes elevadas, donde es muy difícil la cobertura mediante un satélite ecuatorial. Esta es la razón por la que el programa soviético en este campo fue estructurado sobre bases radicalmente distintas.

Los satélites MOLNIYA, los equivalentes soviéticos de los INTELSAT estadounidenses, describen elipses muy alargadas, con apogeo de 35,900 km, perigeo de sólo 500 kms. e inclinación de 65° respecto al Ecuador. Su período orbital es de doce horas, de modo que efectúan dos revoluciones completas por día.

Sus órbitas están ajustadas de forma que uno de cada dos apogeos se produzcan sobre territorio soviético. De este modo el satélite puede ser utilizado durante más de ocho horas seguidas, desde que aparece en el horizonte hasta que se pone. En este momento, es relevado por un segundo vehículo de parecidas características y éste por un tercero. Así, hasta con tres satélites en cadena para asegurar el enlace permanente de un extremo a otro de la ex Unión Soviética.

Con los satélites, en efecto, nos hemos acostumbrado ya a esperar transmisiones instantáneas de noticias procedentes de todo el mundo. Hoy día, esos veloces artefactos con instrumentos que sondan desde el firmamento han demostrado ser indispensables. En los años futuros, los límites de sus aplicaciones sólo dependerán de nuestra imaginación.



Modelos de Satélites Actuales y Futuros (en el Sentido de las Manecillas del Reloj, desde la Izquierda Superior): El SEASAT.

que Estudió los Océanos; el TOPEX/POSEIDON, un Satélite de Investigación Oceanográfica Franco-Estadounidense, se Programó para Lanzarse en 1991; el LANDSAT-4, que ha Proporcionado Fotos de Utilidad Cartográfica; el KH-11, un Satélite Espía Ultrasecreto de Estados Unidos; el Nuevo SPOT 1 FRANCÉS, Diseñado para Tomar Fotos en Tercera Dimensión; y el NAVSTAR, un Satélite del Departamento de Defensa Estadounidense, que Ayuda a los Barcos a Trazar su Posición

5.4.7. Telecomunicación Digital

Para la comunicación se han empleado numerosos medios, desde los antiquísimos papiros y las inscripciones rúnicas hasta la modernísima información suministrada por las computadoras electrónicas.

5.4.7.1. El Lenguaje de Computación

Desde luego, para la comunicación se necesita un idioma o un sistema simbólico. Casi sin excepción, el lenguaje que se usa en la comunicación entre máquinas consiste en señales eléctricas que conducen la información o DATOS en forma digital (numérica).

El método simbólico digital se basa en el concepto de que toda información se puede transmitir mediante un código binario formado con combinaciones de dos condiciones o estados.

La comunicación con el código de dos estados depende de la selección de datos que forman los caracteres de la escritura. La elección más simple es entre dos datos posibles, que pueden ser SI o NO, CONECTADO o DESCONECTADO, A o B, 0 ó 1 o cualquier otro formato binario.

Debido a que el método de dos posibilidades descrito corresponde a los dos símbolos del sistema de numeración binaria, el contenido de información de los datos en la codificación de dos estados se mide en unidades denominadas DIGITOS BINARIOS o BITS.

Un dato compuesto de un simple impulso eléctrico tiene el valor informativo de un bit, porque la presencia o ausencia del impulso permite que el receptor elija el dato correcto entre un juego de dos. Los dispositivos electrónicos resultan ideales para la aplicación del principio mencionado debido a que pueden cambiar velozmente de condición o estado (por ejemplo, con la conducción o interrupción de señal).

5.4.7.2. Sistemas de Telecomunicaciones

En general, los sistemas de telecomunicaciones se componen de los cinco elementos siguientes:

1. Una fuente de suministro de la información a transmitirse, que puede ser una persona en el caso de telefonía o una

máquina en el caso de datos.

2. Un transmisor que convierte la información original en señales eléctricas y las envía por un canal o circuito de comunicación.

3. Un canal o circuito, que constituye el medio físico por el cual se envían las señales al punto de destino. El medio de transmisión puede ser una línea bifilar tendida sobre postes, un cable coaxial aéreo o subterráneo, un rayo de luz (como el laser), o simplemente el espacio en el caso de la radiotransmisión.

4. Un receptor, que efectúa la función inversa del transmisor para reproducir la información original contenida en señales.

5. Un punto de destino, que puede ser la persona o máquina a quien viene dirigida la información.

En los sistemas de comunicación digitales, los puntos de origen y de destino de la información generalmente consisten en unidades terminales de cinta perforada o electromagnética, máquinas de oficina o grandes computadoras. Los datos de la fuente de origen se representan con señales binarias a la entrada del transmisor, el que generalmente es un dispositivo de MODULACION o CODIFICACION destinado a transformar las señales binarias de transmisión por banda ancha en otra clase de señales digitales que requieren un canal más angosto. En la transmisión de datos comunmente se usan dos canales: uno para modulación y otro para codificación. El canal de modulación consiste en el medio de transmisión y los transductores necesarios para el acoplamiento de las señales a la línea de transmisión. El canal de codificación se encarga de modificar las señales digitales y constituye un enlace digital compuesto del canal de modulación además de los codificadores y DESCODIFICADORES. Cabe observar que si bien ambos canales forman parte del mismo sistema de comunicación, la función de modulación NO SE CONSIDERA DIGITAL SINO ANALOGICA.

El constante desarrollo de las telecomunicaciones en todo el mundo ha aumentado considerablemente la demanda de asignaciones de frecuencias para los canales de transmisión. Por lo tanto, se ha hecho necesario reducir en lo posible el ancho de banda de los sistemas de comunicación. Si no hubieran límites en el uso del espectro de frecuencias disponible, los impulsos binarios, que son de forma rectangular, podrían enviarse directamente por el canal. GTE Lenkurt ha desarrollado un método denominado DUOBINARIO, en el que mediante una compresión de banda de 2 a 1 se duplica la velocidad de transmisión en comparación con el sistema binario. Si se deseara aumentar la velocidad con la técnica multinivel se necesitaría una codificación de cuatro niveles, mientras que con el procedimiento duobinario sólo se precisan tres. Los equipos de transmisión digital que se utilizan en ambos casos son semejantes en complejidad. En el sistema duobinario, el proceso de codificación y descodificación de los

trenes de impulso en los instantes de muestreo se basa en la SUMA ALGEBRAICA del valor del impulso actual y de la interferencia procedente de otros. Por ejemplo, si se envían tres impulsos unipolares en sucesión con un intervalo de T segundos entre ellos, como se ilustra en la figura 48-F, el muestreo de la señal en los múltiplos de $T/2$ ($3T/2$, $5T/2$, etc.) permitirá generar impulsos empleando la energía interferente del impulso adyacente.

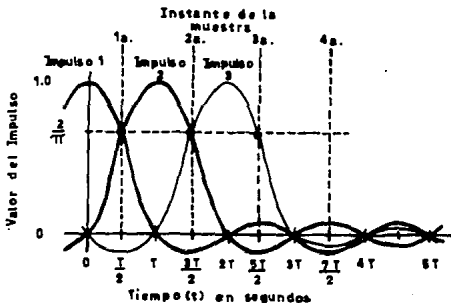


Figura 48-F Superposición de Impulsos que se Emplean en el Sistema de Codificación Duobinaria, con el cual se crean Señales con tres Niveles de Energía. Los Niveles Tienen los Sigüientes Valores en los Instantes t de Muestreo: $4/\pi$ en $t = T/2$ y $3T/2$; $2/\pi$ en $t = 5T/2$; 0 en $t = 7T/2$.

Como se observará en la figura 48-F, cuando el impulso No. 1 se muestrea en $t = T/2$, el valor del impulso No. 2 en el mismo instante no será cero sino exactamente igual al del impulso No. 1. Lo mismo puede decirse de los impulsos Nos. 2 y 3 en el instante $t = 3T/2$. Por lo tanto, en los instantes de muestreo se introduce deliberadamente una superposición de impulsos para la transmisión. En el punto de recepción se observa e interpreta la suma algebraica de los impulsos. Cuando se presentan ambos impulsos, como en el caso de $t = T/2$ y $t = 3T/2$, el valor de un instante de muestreo es de 4π , o sea el doble del valor de un solo impulso. En el instante $t = 5T/2$ sólo se encuentra presente un impulso, por lo tanto el valor es de $2/\pi$. Finalmente, cuando no hay impulso al llegar $t = 7T/2$ el valor del instante de muestreo es cero. En consecuencia la señal queda con tres niveles distintos en los instantes de muestreo.

Por regla general, para los servicios de comunicación por datos digitales se utilizan las redes telefónicas existentes que han sido proyectadas en un principio para transmisión de fre-

cuencias de Voz. Si bien, los canales de voz generalmente son adecuados para su fin principal, en cambio pueden crear problemas al usarse directamente para señales digitales. En efecto, los canales de voz están expuestos a diversas perturbaciones, tales como: diferentes clases de ruidos; distorsión lineal; no linealidades (distorsión armónica); cambios repentinos de fase o amplitud en los canales. Estas perturbaciones alteran las señales de datos en el curso de la transmisión, produciendo errores en el punto de destino de la información.

5.4.7.3. Igualación de Retardo

Uno de los mayores problemas de la transmisión de datos por alta velocidad es la distorsión llamada INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS, que consiste en la intrusión del extremo del impulso anterior y del posterior en el intervalo de tiempo del impulso actual. La interferencia entre símbolos se debe a la falta de uniformidad de las características de retardo y amplitud de los canales de comunicación. Para contrarrestar esta interferencia se usa un circuito de filtro denominado IGUALADOR que introduce un retardo regulado en ciertas frecuencias de la banda de transmisión con el fin de uniformar el retardo y la amplitud del canal.

GTE Lenkurt desarrolló un procedimiento de igualación para sistemas por modulación de fase, en el que se empleó un método incoherente basado en el algoritmo de la raíz media cuadrática. Ver la figura 48-G. En este método, denominado incoherente porque no se necesita información de referencia de amplitud ni de fase de la onda portadora, se vigilan todas las muestras de los impulsos de salida con el propósito de reducir al mínimo el error eficaz (valor medio cuadrático), en lugar de forzar el cruce a cero de ciertas muestras. Cada una de las muestras se usa para generar una muestra de referencia con la cual se compara la muestra siguiente y así sucesivamente. En la práctica, este método algorítmico ha permitido sustituir los componentes analógicos del circuito de igualación por convertidores analógicos a digitales y un procesador de las señales digitales.

Mt: Instante de muestreo



Figura 48-G Salida de un Igualador por Algoritmo de la Media Cuadrática. Los Impulsos no se Ven Forzados a Cruzar el Punto Cero, Sino que el Igualador Reduce a un Mínimo la Suma Cuadrática de los Errores, lo que Disminuye la Distorsión en toda la Banda de Paso del Canal.

5.4.7.4. Estudio de Longitud de Sistemas MIC

En teoría se ha calculado que no existe limitación en cuanto a la longitud total que puede tener una línea de transmisión provista de repetidores regenerativos en secciones intermedias, para uso en sistemas de onda portadora con MODULACION por IMPULSOS CODIFICADOS (MIC o PCM). Sin embargo, cuando se combinan varios sistemas MIC de baja velocidad y se aplican a una misma línea de transmisión en alta velocidad, se produce una FLUCTUACION DE FASE en baja frecuencia, lo que restringe a unos 200 el número máximo de repetidores que puede tener la línea entre sus puntos terminales. Esta limitación se debe a que la fluctuación de fase introduce variaciones de velocidad en los trenes de impulsos, acelerándolos o retardándolos momentáneamente.

GTE Lenkurt realizó pruebas en una instalación de línea MIC de gran longitud de una red de comunicaciones de los Estados Unidos (a mediados de 1974).

Para el estudio se utilizó una línea de enlace entre dos centrales telefónicas, destinada a la transmisión de sistemas MIC. Como se ilustra en la figura 48-H, la distancia entre centrales era de 32 Kms. La línea consistía en un cable múltiple relleno de petrolato, con conductores AWG 19 (de 0.912 mm. de diámetro) aislados con polietileno y separados en dos grupos mediante una pantalla "D". El cable era subterráneo, excepto las dos secciones terminales que iban en conducto. Se utilizaron dos juegos de repetidores -Uno para cada sentido de transmisión- colocados en casetas con presurización e instalados en pozos de inspección. La separación media entre repetidores era de 2,700 m., lo que dejaba un margen apropiado para compensar la

elevación de temperatura, así como para ocupar la capacidad total del cable. El tipo de repetidor empleado en las pruebas en realidad consistía en dos regeneradores de señales colocados en una sola envoltura. Se usó un regenerador para cada sentido de transmisión, pero ambos también se podían disponer para funcionar en un solo sentido.

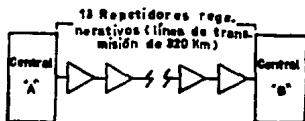


Figura 48-H Cantidad de Información Necesaria para Identificar un Mensaje o Dato Especifico entre un Juego de Ocho Mensajes o Datos Posibles.

Gracias al plan de empalme de pares de conductores utilizado en el cable se podían interconectar pares sucesivos formando varios bucles ininterrumpidos entre las centrales "A" y "B", como se muestra en la figura 48-I. De esta manera se podía formar un sistema MIC direccional de 800 Kms. (con 325 repetidores) o bien un sistema unidireccional de 1,600 kms. (con 650 repetidores).

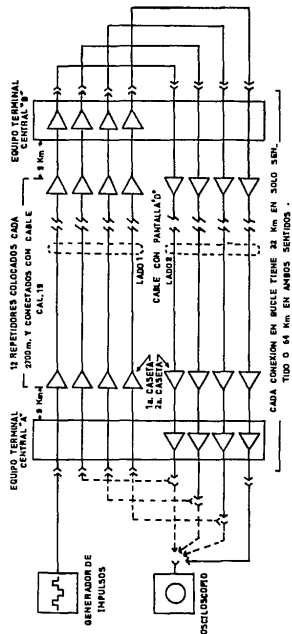


Figura 48-I. Forma en que se Interconectaban en Bucle los Diversos Pares de Conductores de una Línea de Cable de Sistemas MIC Durante las Pruebas, para Obtener Secciones de 65 Kms. con 26 Repetidores cada una.

En la figura 48-I se ilustra la disposición utilizada en el estudio. Todas las pruebas se efectuaron en la central "A", mientras que en la central "B" se iban conectando en bucle los pares alternados de conductores, en cuya forma se obtenían circuitos equivalentes a secciones de 65 kms. con 26 repetidores cada una. Así se podían efectuar mediciones de la acumulación de fluctuación de fase a medida que se "prolongaba" la longitud de la línea. La fluctuación de fase se evaluaba en base a imágenes de un osciloscopio con un generador de señales de tipo especial. Este instrumento suministraba señales excitadoras que permitían observar la distorsión producida por las fluctuaciones.

El generador de señales se fabricó especialmente para proporcionar dos imágenes osciloscópicas de desviación de impulsos. Cada salida consistía en una serie de impulsos suministrados a razón de 1,544 MB/s (Mega bit por segundo), que producían dos imágenes fijas, véase la figura 48-J, pasando de una a otra a un ritmo regular. La configuración de los impulsos en cada tren se presentaba en la siguiente forma:

1. Desde un impulso en cada ocho intervalos de tiempo (1/8) se pasaba a dos impulsos en cada ocho intervalos (2/8), a razón de 2 KHz.

2. Desde un impulso en cada ocho intervalos (1/8) se pasaba a un impulso en cada cuatro intervalos (1/4) a razón de 2 KHz.

Se eligieron estas configuraciones de variación de impulsos para simular la fluctuación susceptible de presentarse en la práctica en el peor de los casos. Con la transmisión de una configuración fija de impulsos a través de todos los repetidores, el sincronizador de cada regenerador del repetidor adoptaba una fase fija. Cuando se variaba la configuración, el sincronizador cambiaba de fase con respecto a su posición anterior. Este cambio o desplazamiento de fase se propagaba por toda la línea.

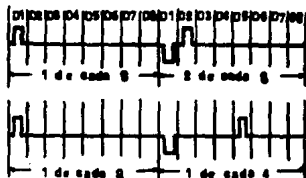


Figura 48-J Señal de Salida de un Igualador por Algoritmo de Cruce a Cero, Provisto de 8 Derivaciones. Este Igualador Trata de Forzar a los Impulsos, para que Cruzan el Punto Cero de la Forma de Onda en Todos los Instantes de Muestreo Correspondiente a la Ganancia de las Derivaciones ($\pm T$, $\pm 2T$, $\pm 3T$).

5.4.7.5. Resultados del Estudio

Con la instalación dispuesta en la forma indicada en la figura 48-I, se efectuaron pruebas en la que la señal de salida de línea en la central "A" se presentaba en un osciloscopio. A este instrumento se le impartía sincronización externa mediante un generador de señales conectado a la entrada de la línea. El osciloscopio indicaba en nanosegundos la fluctuación de fase en baja frecuencia a medida que se "prolongaba" la longitud de la línea, por medio de las conexiones en bucle desde la central "B". De esta forma se obtenía la magnitud de la fluctuación acumulada. En las dos fotografías osciloscópicas de la pantalla presentadas en la figura 48-K se demuestra gráficamente la desviación que sufren los impulsos a medida que cambian de configuración, después de pasar por 26 y por 182 repetidores.

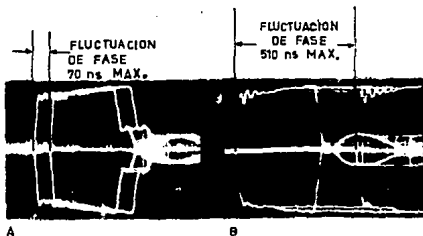


Figura 48-K. Fotografías de las dos Imágenes Osciloscópicas que Muestran el Efecto de la Fluctuación de Fase en una Línea de Transmisión Provista de 26 Repetidores (A) y en otra con 182 (B), Respectivamente.

El ruido de fondo se midió en los 24 canales de cada terminal del sistema. Al comparar esta medición con la especificación de 23 dB máxima de un equipo de canalización, todos los canales quedaron dentro de 18 a 23 dB (con un promedio de 20 dB).

El estudio realizado demostró que, por lo menos en el caso del sistema MIC con repetidores 9101C, el rendimiento de los equipos de canales no variaba mayormente de acuerdo con el número de repetidores, a pesar del aumento sistemático de fluctuación.

Cuando los laboratorios de la BELL TELEPHONE anunciaron la invención del TRANSISTOR, la prensa, en general, trató el desarrollo casi con indiferencia. El New York Times publicó la noticia al día siguiente, julio 10. de 1948, escribiendo el artículo en la última página de este diario, en la columna The News of Radio, que decía así:

"Un dispositivo llamado transistor, el cual tiene varias aplicaciones en radio donde un ordinario tubo al vacío es empleado, está demostración se llevó a cabo ayer a primera hora en los laboratorios de la Bell Telephone, 463 West Street donde el transistor fue inventado.

"El dispositivo tuvo su demostración en un receptor de radio, el cual no contenía ninguno de los tubos convencionales. Este también fue demostrado en un sistema de teléfono y en una unidad de televisión controlados por un receptor en un piso más abajo. En cada caso el transistor fue empleado como un AMPLIFICADOR, si bien ésta es su principal función, además puede ser usado como un OSCILADOR que debiera crear y enviar ondas de radio.

"Dentro de la figura de un pequeño cilindro metálico de aproximadamente media pulgada de largo, el transistor no está encerrado al vacío, sobre una plancha, dentro de una placa cubierta de vidrio ausente de aire. Su accionar es instantáneo, allí el ente no demora su calentamiento para trabajar y no desarrolla calor como en un tubo al vacío.

"Las partes que trabajan dentro del dispositivo consisten solamente de dos finos alambres que corren debajo de una espiga de un material semiconductor sólido, soldado a una base metálica. La sustancia en la base metálica amplifica la corriente y la transporta por uno de los alambres y el otro alambre lleva afuera la corriente amplificada."

El entusiasmo que despertó este dispositivo, hizo que los laboratorios Bell dieran licencia y libertad para su publicación en seminarios y periódicos. Dentro de los laboratorios en los Estados Unidos y en Europa se interesaron por lo que llamarían posteriormente SEMICONDUCTORES y su teoría; que es ahora parte fundamental de la electrónica.

6.1. Transistores y Diodos Semiconductores

Los transistores y los diodos semiconductores efectúan esencialmente las mismas funciones que los tubos electrónicos, pero se han vuelto más importantes debido a sus muchas ventajas sobre éstos. Los transistores son mucho más pequeños y ligeros que los tubos, por lo cual, el equipo transistorizado es pequeño y pesa muy poco. Muchos aparatos que antes eran tan pesados y voluminosos que debían estar montados permanentemente, ahora se fabrican en versiones portátiles y miniaturizados.

Los transistores operan a temperaturas menores que los tu-

bos electrónicos, de manera que los aparatos más complejos -cuando son transistorizados- ya no requieren un sistema de enfriamiento y, por lo tanto, son más sencillos. A diferencia de los tubos electrónicos que, por lo general, son bastante delicados, el transistor es un dispositivo sólido y robusto que resiste muy bien las vibraciones y golpes. Los transistores son compactos y fáciles de almacenar; además pueden guardarse mucho tiempo en la bodega. Una de las mayores ventajas del transistor es que, una vez instalado, tiene una vida muy larga, en tanto que la mitad de todas las fallas en los equipos no transistorizados se debe al deterioro de los tubos electrónicos.

Sin embargo, los transistores tienen algunas desventajas: los del tipo común tienen una capacidad menor para manejar potencia que los tubos de tipo análogo. Hay transistores de alta potencia, pero éstos sólo se fabrican sobre pedidos especiales. Además los transistores son muy sensibles a la radiación y cambios de temperatura. Asimismo, es difícil fabricarlos de manera que todos los transistores de un determinado tipo tengan las características especificadas, razón por la cual el costo unitario de un transistor era mayor que el de un tubo. Sin embargo, a fin de cuentas, las ventajas de los transistores compensaban con creces sus desventajas; de modo que continuamente se producían nuevos modelos perfeccionados y cada vez se usaban más en los aparatos electrónicos comerciales, industriales y militares.

6.2. Antecedentes Históricos

Los semiconductores, particularmente los diodos, en realidad no son nuevos en el campo de la electrónica. El antiguo detector de cristal que se usó en los primeros días de la radio era un diodo semiconductor, como también lo es el viejo rectificador de óxido de cobre y selenio que aún sigue en uso. Ni siquiera los transistores se pueden considerar como nuevos, ya que primeramente fueron construidos en 1948 en los laboratorios de los teléfonos Bell, por John Bardeen, William Shockley y W. H. Brittain. Estos hombres buscaban un dispositivo de ESTADO SÓLIDO cuya resistencia pudiera ser cambiada de manera similar a la de un tubo electrónico. Por esta razón el dispositivo que produjeron se denomina originalmente RESISTOR DE TRANSFERENCIA -TRANSFER RESISTOR-, término que, después, se abrevió a transistor.

Los primeros transistores eran caros, difíciles de controlar y, debido a ello, en los comienzos se usaron principalmente de manera experimental, pero con el transcurso del tiempo, se les hicieron muchas mejoras y su costo pudo reducirse. Sólo al final de los años cincuenta se pudo usar los transistores para fines prácticos y empezaron a substituir a los tubos electrónicos en muchas aplicaciones. En la actualidad, los transistores continuamente están siendo mejorados y tienen mayor número de aplicaciones.

6.3. Teoría Atómica y Electrónica

Para comprender cómo trabajan los transistores y otros semiconductores, es necesario dar breves conceptos sobre la teoría atómica y electrónica.

Es cierto que algunos materiales como el oro, la plata y el cobre, son buenos conductores de la electricidad, mientras que otros materiales como la cerámica son aisladores, o sea, malos conductores eléctricos. Puesto que la diferencia de resistencia entre estos dos grupos es relativamente de un billón, muchos materiales quedan comprendidos entre los dos límites. Estos materiales se llaman SEMICONDUCTORES.

De los cientos de semiconductores conocidos por la ciencia, algunos son de considerable importancia. Ejemplos típicos son las formas cristalinas de varios elementos situados en la cuarta columna de la tabla periódica:

carbono (C), silicio (Si), Titanio (Ti), Germanio (Ge), Circonio (Zr), Estaño (Sn), Hafnio (Hf), Plomo (Pb), Torio (Th).

Dos importantes son el SILICIO y el GERMANIO, que tienen las características apropiadas para comportarse como excelentes conductores y aisladores, dependiendo de la función a desarrollar.

Los átomos de silicio y de germanio tienen cada uno lo que los químicos llaman CUATRO ELECTRONES DE VALENCIA, o sea, cuatro electrones que entran en el enlace químico en sólidos. La figura cristalina de los átomos en ambos cristales es una estructura tetraédrica, como se indica en la figura 49. Cada átomo compartiendo uno de sus electrones con cada vecino, el vecino a su vez comparte con él uno de sus cuatro electrones. Dicha forma de compartir los electrones entre dos átomos se llama ENLACE COVALENTE.

Debido a la dificultad de dibujar un retículo de estructura tetraédrica tridimensional, es conveniente aplanar al diagrama y representar el enlace como un retículo cuadrado, como se ve en la figura 50.

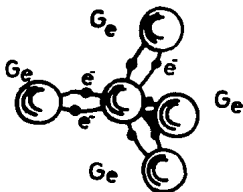


Figura 49 Cada Atomo de un Cristal de Germanio está Ligado al Centro de un Tetraédro Formado por sus Cuatro Vecinos más Cercanos

A temperaturas próximas al cero absoluto, todos los elec-

trones de un cristal están fuertemente ligados por estos enlaces químicos. Cuando el cristal se eleva a la temperatura ambiente; sin embargo, los movimientos térmicos de los átomos son suficientes para romper algunos de los enlaces y liberar algunos de los electrones para que circulen por todo el cristal. Donde se liberó un electrón rompiendo su enlace, como se muestra en la parte superior derecha, y más abajo a la izquierda en la figura 50, se ha creado un agujero -laguna-. Puesto que la parte del cristal era antes neutral, ahora que pierde un electrón, el agujero vacío es equivalente a una CARGA POSITIVA.

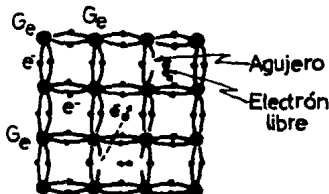


Figura 50 Esquema del Enlace Covalente de los Átomos en un Cristal de Germanio. La Agitación Térmica Rompe Algunos Enlaces y Libera a los Electrones

Debido también a la agitación térmica, un electrón LIGADO próximo al agujero se puede mover para llenar el hueco, el corrimiento de la carga negativa desde una posición de enlace a otra tiene un efecto equivalente al movimiento de un agujero en sentido opuesto. El movimiento de un agujero es, por lo tanto, equivalente al desplazamiento de una carga positiva. Esta acción se muestra en la parte central inferior de la figura 50.

6.3.1. Cristales de Tipo P y Tipo N

La mayoría de los cristales, como el silicio y el germanio, no son puros, sino que contienen pequeñas cantidades de otros elementos. Si los cristales están formados con arsénico como impureza, los átomos de arsénico, con cinco electrones de valencia cada uno, proporcionan un retículo cristalino con exceso de electrones. Dicho cristal, como se presenta en la figura 51, tiene, por consiguiente un electrón sin enlazar por cada átomo de arsénico. Debido a la agitación térmica, se aflojan electrones adicionales por la vibración y se crea de esta manera un número igual de agujeros. Con más electrones libres -Portadores N- que agujeros -Portadores P-, la aplicación de un potencial a través de dicho cristal encuentra más cargas negativas moviéndose que positivas. Por esta razón, el retículo con exceso de portadores N se llama cristal de tipo N.

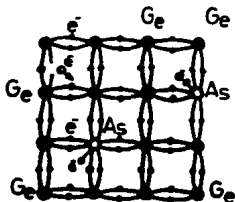


Figura 51 Retículo Cristalino Tipo N con Átomos de Arsénico como Impurezas

Si los cristales crecen con aluminio como impureza, los átomos del aluminio con sólo tres electrones de valencia, forman un retículo cristalino con deficiencia de electrones, esto es, con agujeros. Dicho cristal a la temperatura ambiente tiene más agujeros que electrones libres y se llama cristal de tipo P. Ninguno de estos cristales, por sí mismo, tiene una carga total. El exceso de cargas negativas libres en un cristal de tipo N está compensado por las cargas positivas de los núcleos de arsénico, mientras que el exceso de agujeros en el cristal de tipo P está compensado por la deficiencia en la carga positiva nuclear de los núcleos de aluminio. Los potenciales aplicados a los extremos del cristal hacen que los electrones se muevan a la izquierda y los agujeros a la derecha. Este flujo de carga constituye una corriente. (Ver figura 52).

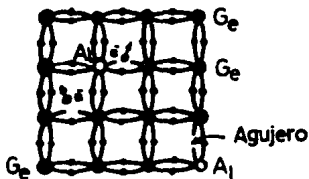


Figura 52 Retículo Cristalino Tipo P con Átomos de Aluminio como Impurezas

6.3.2. Unión PN

Cuando dos semiconductores de los tipos P y N se encuentran en contacto como se muestra en la figura 53, y forman lo que se llama una unión -empalme- PN. En la región de contacto, los

electrones libres en el cristal N se difunden en los agujeros a través del límite, estableciendo así una diferencia de potencial entre los cristales que antes eran neutros. Puesto que los electrones han dejado el cristal N, ese lado adquiere un potencial positivo, mientras que el cristal P, que tiene algunos agujeros llenos, adquiere un potencial negativo.

Si la unión se mantiene a una temperatura constante dentro de un cuarto oscuro, no se observará corriente en el miliamperímetro. La razón de esto es que se forman potenciales inversos entre las extremidades del cristal y los electrodos metálicos, de modo que no existe diferencia de potencial entre A y B.

Si ahora prendemos una luz sobre la unión, la luz es absorbida liberando electrones adicionales y creando agujeros. Debido a la diferencia de potencial en la región cercana a la unión, los electrones se mueven hacia la derecha, los agujeros hacia la izquierda y tenemos una corriente. Fácilmente se puede demostrar la corriente por medio del miliamperímetro MA: éste es el principio de la llamada BATERIA SOLAR.

Puesto que el proceso de IONIZACION proviene de la absorción de la luz, únicamente se produce en las capas superficiales de átomos, las baterías solares se construyen con cristales muy delgados depositados sobre algún material aislante.

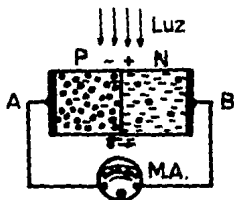
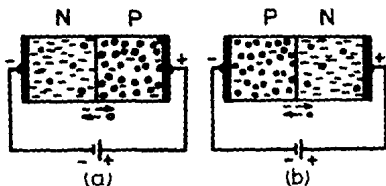


Figura 53 Unión PN de Semiconductores.
El Principio de la Batería Solar

6.4. Rectificador de Unión PN

Cuando un simple semiconductor se mantiene a la temperatura ambiente, la agitación térmica encuentra los átomos, lo mismo que los electrones libres y los agujeros, vibrando al azar. Este movimiento fortuito no produce algún flujo total de corriente en ninguna dirección. Para obtener una corriente, se aplica una batería a las terminales. Debido a que el cristal es un conductor relativamente pobre, la emigración de carga, llamada CORRIENTE DE DESVIACION, es lenta. Si ahora tenemos dos cristales formando una unión PN como se muestra en la figura 54, hay dos maneras de aplicar el voltaje para conseguir una corriente. Si el cristal P se hace positivo, como se indica en la izquierda figura 54, la fuerza es tal que empuja a los electrones a la de-

recha y a los agujeros a la izquierda. Ambos constituyen el flujo de la corriente, pero notemos que los agujeros son empujados desde donde hay muchos electrones, y así se obtiene una corriente muy intensa.



(a) Corriente Grande (b) Corriente Pequeña
 Figura 54 Las Uniones NP y PN Tienen una Acción Rectificadora

Si invertimos el voltaje como en el diagrama (b), estaremos tratando de sacar a los agujeros de donde hay muy pocos agujeros y a los electrones de donde hay muy pocos electrones y obtendremos una corriente relativamente muy pequeña. Si ahora aplicamos distintos voltajes a través de la unión PN y medimos el flujo de corriente, podemos trazar los resultados y obtener una gráfica del tipo indicado en la figura 55. En un sentido, conseguimos una corriente apreciable y en el otro una muy pequeña. Esto es el motivo de que una unión PN actúe como una válvula de Fleming, rectificador de corriente alterna donde una gran corriente circula cuando P es positivo, y una corriente muy pequeña, cuando P es negativo.

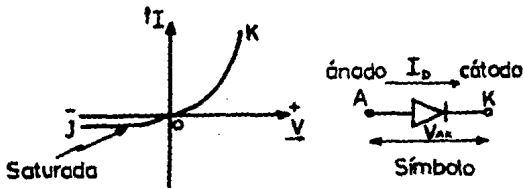


Figura 55 Curva Característica de una Unión PN

6.5. Transistores

Un transistor como el de la figura 56 está compuesto de tres elementos semiconductores: dos cristales de tipo N y un

crystal de tipo P. Esta combinación se llama TRANSISTOR NPN. También podemos tener un TRANSISTOR PNP.

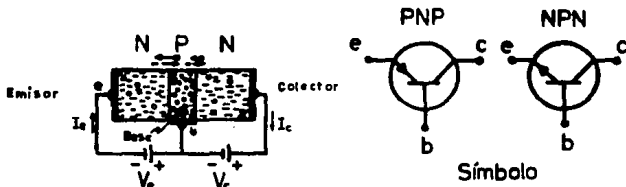


Figura 56 Diagrama del Circuito de un Transistor NPN

Supongamos ahora que aplicamos un potencial V_e a través de la primera unión del transistor NPN y un potencial V_c sobre el segundo empalme, como se muestra en el diagrama. Debido al campo eléctrico en la primera unión, los electrones del emisor e se mueven hacia la derecha y los agujeros positivos de la base b se desplazan hacia la izquierda. Funcionando en la región K de la figura 55, un pequeño voltaje V_e producirá una corriente relativamente grande a través de este empalme. En la zona cercana a la unión, los electrones llenarán los agujeros.

Con un campo eléctrico invertido sobre el segundo empalme, los electrones de la base b tratan de moverse hacia la derecha y los agujeros del colector c hacia la izquierda. Al trabajar en la región J de la figura 55 -la condición saturada- poco o ningún transporte de carga tiene lugar. Un incremento de V_c , incluso grande, no cambiará este estado NO CONDUCTOR.

Si el elemento central del transistor es muy delgado, se produce un comportamiento enteramente distinto del traslado de carga. Los electrones que emigran a través del primer empalme tienen poco tiempo para encontrar un agujero y ser neutralizados. La mayoría de ellos cruza el cristal del colector donde hay relativamente pocos agujeros. Por lo tanto, el flujo de la corriente que atraviesa las dos uniones es aproximadamente el mismo. Sin embargo, puesto que unos cuantos electrones se recombinan con los agujeros en el elemento central, la corriente I_c no es tan grande como la corriente I_e así es que la relación es ligeramente menor que la unidad:

$$I_c = \alpha I_e + I_{co} \quad (1)$$

Un valor típico de α es 0.90 ó 90% a 0.995 ó 99.5%. Es una constante que depende de la construcción o estructura física del transistor y representa a la cantidad de corriente del emisor que logra llegar hasta el colector.

I_{co} es la corriente inversa de saturación en la unión colector-base; inversamente polarizado y con el emisor abierto,

es del orden de μA en transistores de germanio -Ge- y de nA, en transistores de silicio -Si-.

$$\text{Si } I_e = I_b + I_c \quad (2)$$

$$\therefore I_b = I_e - I_c ; \text{ entonces}$$

$$I_b = I_e - \alpha I_e - I_{co} ; \text{ factorizando}$$

$$I_b = I_e(1 - \alpha) - I_{co} \quad (3)$$

sustituyendo (3) en (1), tenemos que:

$$I_c = \alpha(I_b + I_c) + I_{co}$$

$$I_c = \alpha I_b + \alpha I_c + I_{co}$$

$$I_c - \alpha I_c = \alpha I_b + I_{co}; \text{ factorizando}$$

$$I_c(1 - \alpha) = \alpha I_b + I_{co}$$

$$\alpha I_b = I_c(1 - \alpha) - I_{co}$$

$$I_b = \frac{I_c(1 - \alpha) - I_{co}}{\alpha}$$

$$I_b = \frac{I_c \left[\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right] - \frac{I_{co}}{\alpha}}{\alpha} \quad (4)$$

El factor de amplificación de corriente; por definición es:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

y son generalmente proporcionados por el fabricante:

$$\therefore I_b = \frac{I_c}{\beta} - \frac{I_{co}}{\alpha} \quad (5)$$

Las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) son fundamentales para el análisis de un transistor polarizado para operación en amplificación lineal ordinaria.

6.5.1. El Transistor Como Amplificador

Las aplicaciones del transistor bipolar son muy numerosas lo que hace imposible hacer una exposición detallada de éstas, por lo que nos limitaremos a exponer, en forma breve, al transistor como AMPLIFICADOR, para estar acorde con esta tesis.

Un circuito amplificador, usando un transistor en lugar de una válvula al vacío, se muestra en la figura 57. Puesto que la corriente I_c es casi igual a la corriente I_e , circulan pocos electrones a través de BM. Con una pequeña resistencia de en-

trada I_e y una gran resistencia de salida R_c , las corrientes, casi iguales, que las recorren representan una pequeña caída de voltaje $I_e R_e$ en la entrada, y una caída grande $I_c R_c$ en la salida. Así, hay ganancia -AMPLIFICACION- de voltaje y, por lo tanto, ganancia de potencia.

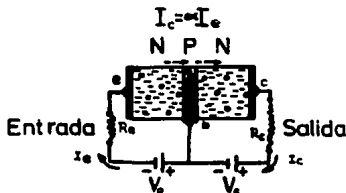


Figura 57 Diagrama del Circuito Amplificador de un Transistor. La Relación de la Potencia de Salida $I_c R_c$ con la potencia de entrada $I_e R_e$ se llama GANANCIA DE POTENCIA

$$A = \frac{I_c R_c}{I_e R_e}$$

Una ganancia de potencia frecuente sería $A = 40$. Si ahora aplicamos una corriente alterna débil como potencia de ENTRADA, LA POTENCIA DE SALIDA de la corriente alterna en el circuito colector será 40 veces más grande.

El transistor trabaja en tres regiones:

REGION ACTIVA: En esta región el transistor está polarizado para amplificación lineal ordinaria. La juntura emisor-base de entrada se encuentra directamente polarizada y la juntura colector-base o de salida se encuentra inversamente polarizada.

REGION DE CORTE: En esta región el transistor prácticamente no conduce; se dice que está apagado o que está cortado. Tanto la juntura de entrada como la de salida están inversamente polarizadas.

REGION DE SATURACION: En esta región la corriente de salida no se puede controlar con seguridad. La corriente de salida toma el valor máximo posible. Tanto la juntura de entrada como de salida están directamente polarizadas.

En las regiones de corte y saturación no son aplicables las ecuaciones fundamentales del transistor. Además, el transistor puede ser empleado en las configuraciones básicas de emisor común, base común y colector común, tanto para amplificación de señales pequeñas como para la amplificación de señales grandes.

6.6. Circuitos Integrados

El primer concepto del circuito integrado, o CI, fue utilizado en 1952. Jack Kilby y Robert Noyce concibieron el CI en 1958, el primero para la empresa Texas Instruments y el segundo para la Fairchild Semiconductor.

6.6.1. Introducción a los Circuitos Integrados

Típicamente, un CIRCUITO INTEGRADO, o CI, consta de transistores, resistores y diodos grabados en un material semiconductor. Usualmente este material es silicio y se obtiene o se usa, finalmente, en la forma de una "partícula". Como todos los componentes se fabrican de la misma partícula, la construcción de un CI se conoce como "monolítica". Todos los dispositivos se conectan entre sí (mediante técnicas similares a las que se emplean en los tableros de los circuitos impresos) para desempeñar una función u operación definidas. Entonces, el concepto de CI es el de un circuito completo (o casi completo), en vez de un grupo de dispositivos semiconductores relacionados.

Para convertir el paquete de CI en una unidad de funcionamiento se debe conectar a una fuente de energía, una entrada y una salida. En la mayoría de los casos la salida también se debe conectar a los componentes externos, tales como capacitores y bobinas, ya que no es práctico combinar estas piezas relativamente grandes en la partícula del semiconductor tan pequeño.

6.6.2. Circuitos Integrados en Paquete

En teoría, una partícula semiconductor de un circuito integrado se puede conectar directamente a la fuente de energía, la entrada, etcétera. Sin embargo, esto no es práctico por el tamaño tan reducido de la partícula. Las partículas de los CI casi siempre son de medidas microscópicas. En lugar de efectuar la conexión directa, la partícula se monta en un recipiente adecuado y se conecta al circuito externo a través de las puntas unidas a aquél.

Se conocen tres paquetes básicos de CI: el de TRANSISTOR, el PLANO y el de DOS UNIDADES EN LINEA. En la figura 57-A se muestran ejemplos típicos de éstos.

En el PAQUETE DE TRANSISTOR la partícula se monta en el interior de una envolvente de transistor, tal como la TO-5. En lugar de las tres puntas que se encuentran usualmente en una envolvente de transistor (emisor, colector y base), hay 8, 10, 12 o más puntas para aceptar las diversas conexiones de la fuente de energía y la entrada/salida que se necesitan para un circuito completo.

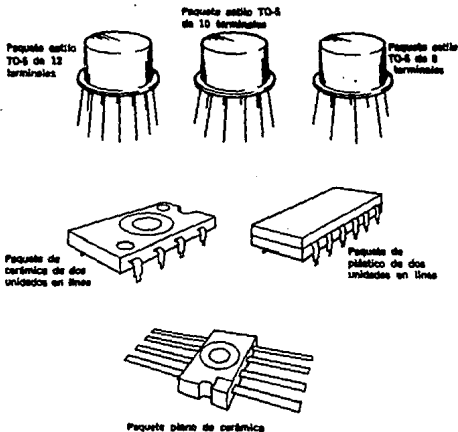


Figura 57-A Paquetes Típicos de CI

En el PAQUETE PLANO la partícula se encierra en una envolvente rectangular con puntas terminales que se extienden por los lados y los extremos.

En el PAQUETE DE DOS UNIDADES EN LINEA (PDU), la partícula se encierra en una envolvente rectangular de longitud mayor que el paquete plano. En general, el PDU ha remplazado al paquete plano para la mayoría de las aplicaciones.

Aunque se han hecho algunos intentos de normalizar las conexiones terminales de los CI, los diferentes fabricantes aún emplean sus propios sistemas. Por lo tanto, es necesario consultar la hoja de datos para el CI en particular al efectuar conexiones desde un circuito externo.

6.6.3. Construcción Interna de los Circuitos Integrados

Se conocen muchos sistemas para la fabricación de la partícula semiconductor de un CI, y de manera constante se están creando procedimientos nuevos. Debido al gran número de méto-

dos, y por estar interesados principalmente en el uso de existentes de CI, no los trataremos todos. En vez de esto, describiremos una técnica muy conocida que es similar al sistema que se emplea para la fabricación de TRANSISTORES PLANARES DE SILICIO.

Como se muestra en la figura 57-B, el material inicial para un transistor planar es un solo cristal uniforme de silicio del tipo N. (también se podría usar el silicio del tipo P como material inicial.

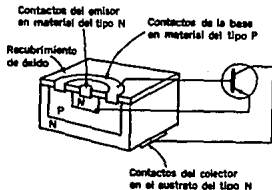


Figura 57-B Transistor Planar Básico

El colector del transistor planar se forma mediante la oblea (o SUSTRATO) de silicio del tipo N que se ha recubierto con una capa de óxido. Sobre el óxido se graba una ranura circular. La ranura se llena con un cristal del tipo P mediante un proceso de difusión que exige un tiempo preciso y control de temperatura. El material del tipo P forma el elemento de la base del transistor. Se graba otra zona en forma de disco en el centro y se llena (por difusión) con un cristal del tipo N que forma el emisor del transistor. El resultado es un transistor NPN. Se unen contactos metalizados a los tres elementos. La capa de óxido impide la formación de cortocircuitos entre los contactos metalizados, protegiendo las uniones del emisor y la base, así como al colector y la base contra contaminaciones.

En la figura 57-B se muestra un transistor. Se emplea el mismo proceso básico para fabricar muchos transistores aislados eléctricamente sobre un solo sustrato de silicio. El primer paso consiste en difundir dos (o más) regiones de material recubierto de cristal similar en un sustrato de material diferente, como se muestra en la figura 57-C. Aquí se difunden dos regiones del tipo N en un sustrato del tipo P. Sin un proceso posterior esto resultaría en dos diodos con ánodos comunes, pero con cátodos aislados.

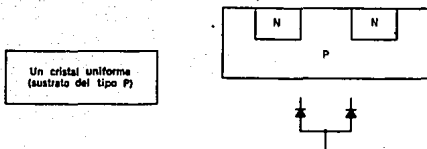


Figura 57-C Difusión de Zonas del Tipo N en un Sustrato del Tipo P para Producir dos Diodos con Anodos Comunes y Cátodos Aislados

Los transistores se forman por medio de difusión de regiones adicionales de los tipos N y P, como se muestra en la figura 57-D. Después se recubre la oblea de silicio con una capa de óxido aislante y se abre (se graba) el óxido selectivamente para permitir los contactos metalizados y las interconexiones entre los elementos (y entre los transistores), según sea necesario. Con el arreglo de los contactos que se muestran en la figura 57-E se forman dos transistores NPN separados y aislados eléctricamente en un sustrato del tipo P.

Cuando se necesitan resistores en el circuito integrado se omite la difusión del emisor del tipo N y dos contactos forman una región del tipo P (que se forman al mismo tiempo con la difusión de la base del transistor), como se muestra en la figura 57-F. Aquí se integra un transistor NPN con una resistencia conectada al emisor en un sustrato del tipo P.

Cuando se necesitan capacitores en el circuito integrado el óxido propiamente dicho se utiliza como dieléctrico, como se muestra en la figura 57-G. Aquí se integra un transistor NPN con una capacitancia conectada al emisor en un sustrato del tipo P.

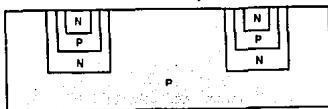


Figura 57-D Difusión de Materiales de los Tipos P y N en un Sustrato del Tipo P para Formar dos Transistores

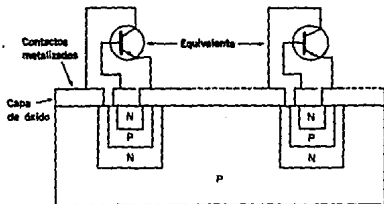


Figura 57-E Adición de Contactos Metalizados a los Elementos del Transistor que se Forman en una Partícula Semiconductora del Tipo P

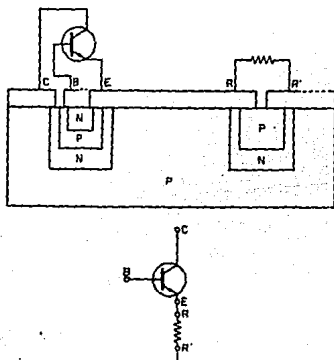


Figura 57-F Conexión de los Contactos a la Región del Tipo P para Formar un Transistor y Un Resistor Integrados

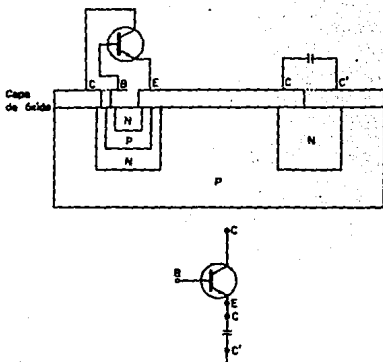


Figura 57-G Uso del Oxido como Dieléctrico
para Formar un Capacitor Integrado

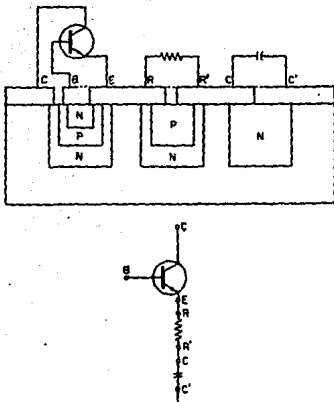


Figura 57-H CI Sencillo con Tres Elementos Básicos en una Sola Partícula

La figura 57-H muestra un circuito integrado muy sencillo con una combinación de los tres tipos de elementos en una sola partícula. No es raro encontrar varias docenas de componentes de una sola partícula. La Figura 57-I muestra el arreglo físico de una partícula semiconductor típica de CI. El CI que se presenta en la figura 57-I es un circuito completo regulador de voltaje que contiene aproximadamente dos docenas de transistores, 18 resistores y 10 diodos.

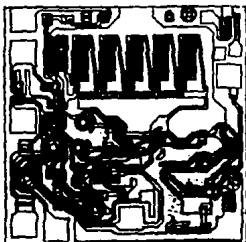


Figura 57-I Arreglo Físico de una Partícula Semiconductor Típica de CI.

6.6.4. Diferencias entre los Circuitos Discretos e Integrados

Aunque los circuitos básicos que se usan en los CI son similares a los de los transistores discretos, existen ciertas diferencias. Por ejemplo, nunca se encuentran inductancias (bobinas) como parte de un CI. Es imposible formar una inductancia útil en un material que contenga transistores y resistores. Igualmente, no se forman capacitores de valores altos (más o menos 100 pF) como parte de un CI. Cuando un capacitor de valor alto o una inductancia de cualquier tipo constituyen una parte necesaria de un circuito, estos componentes son parte del circuito externo.

A menudo los circuitos integrados emplean circuitos acoplados directamente para eliminar los capacitores. La figura 57-J muestra la manera de cómo usar un transistor, Q_3 , para eliminar la necesidad de un capacitor entre $Q_1 - Q_2$ y $Q_4 - Q_5$. Eliminando al capacitor también se amplía la escala de la frecuencia del circuito.

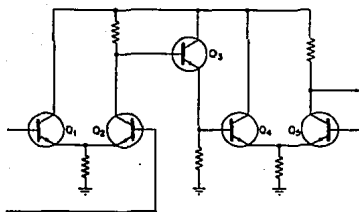


Figura 57-J El Transistor Q_3 Sustituye al Capacitor en un CI Típico

Con frecuencia se utilizan transistores en lugar de los resistores en los paquetes de CI, que por lo general es un TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO (TEC), pues el TEC básico actúa relativamente como un resistor. La figura 57-K muestra la manera en que un TEC puede sustituir un resistor en un CI. En este circuito se regresa la compuerta del TEC a un lado de la línea de alimentación. Con esa clase de arreglo el TEC toma menos espacio que un resistor correspondiente y proporciona una capacidad de disipación de energía mucho más alta. Los transistores integrados también se pueden conectar para formar diodos.

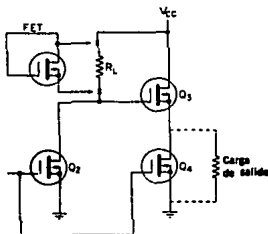


Figura 57-K Forma de Sustituir un Resistor Mediante un TEC en un CI

Por lo tanto, el valor del resistor depende principalmente de su forma física. El valor de la resistencia, R , del CI, se

determina por el producto de la hoja de difusión especificada o la resistencia de la partícula R_g y la relación de su longitud L a su anchura W (es decir, $R = R_g \times L/W$). Como resultado, los resistores de valores pequeños son cortos y gruesos, mientras que los de valores elevados son largos y estrechos.

El valor de un capacitor integrado C es igual al producto de su superficie A , y la relación de la constante dieléctrica E al espesor D de la capa de óxido (es decir, $C = A \times E/D$). Como D se mantiene constante, los valores del capacitor varían directamente con la superficie.

Como punto de referencia, un resistor de CI de 1,000 ohms ocupa aproximadamente dos veces el espacio de un transistor de CI, mientras que un capacitor de 10 pF ocupa tres veces la superficie de un transistor.

6.6.5. Voltajes de Alimentación para los Circuitos Integrados

Los voltajes típicos de alimentación para los circuitos integrados generalmente son menores de 35 volts. Sin embargo, los adelantos futuros de los métodos de fabricación y formación de paquetes de CI pueden aumentar esa cifra. El factor limitante para los voltajes máximos de alimentación para los CI es, usualmente, el voltaje de ruptura del colector al emisor de los transistores.

Típicamente se aplican los voltajes de alimentación a los circuitos integrados en la misma polaridad necesaria para las etapas del transistor NPN. Es decir, el voltaje del colector es positivo, con el emisor conectado a tierra, con un voltaje de cero o en algún valor negativo. Si se invierte la polaridad, la unión de aislamiento del colector al sustrato polarizada normalmente en forma inversa, será fuertemente conductora y causará la destrucción de alguna porción de la sección metalizada de los contactos. Por esta razón frecuentemente se emplea un diodo de protección en la línea de alimentación de c-d.

6.6.6. Tipos Básicos de Circuitos Integrados

Existen dos tipos básicos de circuitos integrados: digital y lineal.

6.6.6.1. Circuitos Integrados Digitales

Los CI DIGITALES son los circuitos integrados equivalentes de los circuitos básicos de lógica de transistor. Como sus contrapartes de componentes discretos, los CI digitales se emplean en las computadoras, la telemetría digital, etcétera y forman circuitos tales como las compuertas, los contadores, los interruptores rotatorios, los vibradores múltiples, los registradores de desplazamiento, etcétera. Un CI digital es una red completa de operación de lógica que, usualmente, no necesita más que una entrada, una salida y una fuente de energía. Sin embargo, como se explica en los párrafos siguientes, la intercone-

xión de los paquetes de CI digital necesitan cierto análisis en su diseño.

Por lo general, los circuitos digitales son repetitivos y sólo se relacionan con dos niveles de voltaje o corriente. Entonces, no necesitan el control exacto de las características de la región de transición (linealidad de la transconductancia, por ejemplo). Por lo tanto, los circuitos digitales constituyen un grupo estándar con respecto a unos cuantos diseños básicos y se producen en cantidades grandes como dispositivos de costo bajo que se pueden obtener en el comercio.

6.6.6.2. Circuitos Integrados Lineales

Los CI LINEALES son los circuitos integrados equivalentes de los circuitos básicos de transistor. Ejemplos de esto son los amplificadores, los osciladores, los mezcladores, los multiplicadores de frecuencias, los moduladores, los limitadores, los detectores y algunos otros. Aunque los CI lineales representan circuitos completos de operación, frecuentemente necesitan componentes externos adicionales (además de una fuente de alimentación de energía) para operar a satisfacción.

Usualmente, los CI lineales para propósitos especiales se diseñan para sustituir varias etapas de los circuitos de componentes discretos. Ejemplos típicos de lo anterior incluyen las secciones de FI en los receptores de radio de AM o FM, los circuitos de sonido (amplificador y limitadores de FI, discriminador y amplificadores de voltaje de audio) en los receptores interportadores de televisión, los amplificadores remotos para los receptores de televisión de control remoto y tipos similares de circuitos especializados de etapas múltiples de la industria consumidora de instrumentos para aparatos domésticos. Con unas cuantas excepciones los CI para propósitos especiales pueden proporcionar funciones múltiples en los circuitos a niveles de funcionamiento iguales o mayores que los de sus contrapartes de componentes discretos.

La alta ganancia que se necesita en las secciones del amplificador en los CI para propósitos especiales se pueden obtener conectando en cascada AMPLIFICADORES DIFERENCIALES EQUILIBRADOS, que constituyen los bloques básicos de construcción para la mayoría de los circuitos integrados lineales.

Resumiendo:

La primera aplicación de los circuitos integrados estuvo limitada a los programas militares, de misiles antibalísticos y a los programas espaciales.

Los programas espaciales tuvieron su mejor evolución con el uso de las computadoras durante los años sesentas. El desarrollo de la tecnología de semiconductores ha permitido, sin embargo, la sustitución paulatina de las ferritas, usadas en las computadoras, por circuitos integrados en gran escala, tanto bipo-

lares como MOS <<Metal Oxide Semiconductors>>. Ello ha dado lugar a la tecnología de MICROSISTEMAS o MICROPROCESADORES para uso comercial o general, lográndose actualmente costos de almacenamiento de datos inferiores a 0.1 centavos de dólar norteamericano, con consumos de potencia de μ W por BIT. Es posible afirmar que la gran mayoría de las computadoras diseñadas desde principios de los años setentas utilizan sistemáticamente MEMORIA PRINCIPAL con semiconductores. En un futuro se tendrán nuevas tecnologías como la de burbujas magnéticas para sustituir discos y cintas, y las memorias criogénicas, basadas en efecto de tuneo a muy bajas temperaturas; se espera que éstas últimas operen a velocidades mayores que aquellas a las que operan las memorias semiconductoras con tecnología bipolar actualmente en uso.

**PROYECTO PARA EL DISEÑO DE UN RECEPTOR
SUPERHETERODINO DE AM**

Debo manifestar que para este proyecto se tomó en cuenta, principalmente, lo ya mencionado en los capítulos III y IV de esta tesis; por tal motivo, se hará frecuente referencia a los puntos de estos capítulos.

También es cierto, que dentro del diseño de un receptor de AM influyen muchos aspectos, así como variantes que se deben tomar en cuenta al diseñar: la sección convertora, la sección de F.I., el control automático de volumen, la sección detectora o demoduladora, el amplificador de potencia, los altavoces, etc.

Los temas que no afectan directamente a los parámetros de diseño se han omitido en las exposiciones que siguen. Se dispone de muchos textos excelentes para aquellos interesados en seguir temas, tales como la física de los semiconductores, los transistores en radio y televisión, criterios rigurosos de estabilidad, el análisis en el dominio de la frecuencia, etc.

Aunque el receptor a transistores comercialmente se ha construido en diversas versiones, tales como radiofrecuente, regenerativo, superheterodino, etc., este último sistema, realmente es el de mayor uso. El receptor transistorizado comparado superficialmente con el proyectado a válvula electrónica que también es superheterodino, es un tanto similar, pues cuenta con amplificador de r-f, convertor, detector, sección de audio y fuente de alimentación. Véase la figura 40 del punto 4.2.

Sin embargo, una comparación más precisa, nos indica que el receptor a transistores posee ciertas características particulares entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- los circuitos transistorizados, por regla general cuentan con dispositivos de estabilización térmica
- los transistores son sensibles a la corriente, en cambio las válvulas electrónicas son al voltaje
- los circuitos transistorizados consumen poca potencia
- la fuente de alimentación de receptores transistorizados, usualmente proporciona voltaje de polarización muy bajo, que fluctúa entre 6 a 22 voltios, aproximadamente
- en algunos casos, por el montaje especial del paso de potencia, se puede prescindir del transformador de salida

1. La Radio de AM

Las señales de AM comerciales utilizan frecuencias portadoras entre 530 y 1600 KHz. En el estudio modulan la portadora para producir la señal de AM como la que se muestra en la figura 45 del punto 5.1. Realmente la envolvente es más complicada que la que se indica porque la voz y la música contienen muchas componentes senoidales. Finalmente, la antena transmisora es la

encargada de transmitir la señal de AM al espacio.

Cuando la señal de AM. es recibida, se procesa por diferentes etapas y en un lugar cercano a las etapas de salida del receptor, la señal original de audio -envolvente- se recupera. Esta señal de audio es esencialmente la misma señal moduladora original. De esta forma, toda la señal que ingresa al micrófono en el estudio de transmisión llega al altavoz del receptor.

La transmisión de señales de radio de AM es un ejemplo de multicanalización, porque en el mismo medio de transmisión -el espacio- se encuentran simultáneamente muchos canales de información -las señales de AM- Las frecuencias portadoras están comprendidas, como ya se dijo, entre 530 y 1600 KHz, espaciadas 10 KHz entre sí.

La figura 58 muestra parte del espectro de radiodifusión de A.M. Nótese, especialmente, que el espectro no presenta solapes, que para evitarlos, cada estación de AM debe mantener todo su espectro a menos de 5 KHz de la portadora. Esto implica que la máxima frecuencia de modulación $f_{m\max}$ debe ser menor que 5 KHz.

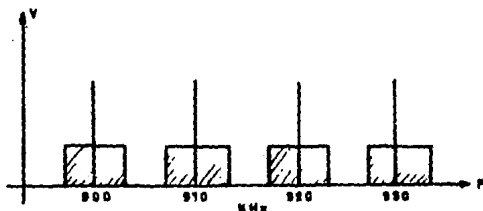


Figura 58. Parte del Espectro de la Radiodifusión de AM

Ejemplo: El espectro de audio de entrada contiene todos los componentes hasta 20 KHz. Este espectro excita un filtro pasa-bajas cuya frecuencia de corte f_c es de 5 KHz. Idealmente la salida de este filtro contiene solamente componentes espectrales hasta de 5 KHz. Por esta razón, la máxima frecuencia de modulación es de 5 KHz. (Ver figura 59(b)).

Como la frecuencia de la portadora es de 1 MHz, el espectro de salida tiene una BANDA LATERAL INFERIOR comprendida entre 995 y 1,000 KHz y una BANDA LATERAL SUPERIOR entre 1,000 y 1,005 KHz. (Ver figura 59(c)). Por lo tanto, el espectro de la señal de AM está comprendido entre 995 y 1005 KHz, y el ancho de banda es de 10 KHz; es decir, el doble de la máxima frecuencia de modulación.

En este ejemplo se indica la razón de la BAJA FIDELIDAD de la radiodifusión de AM. Como la máxima frecuencia de modulación es de 5 KHz, muchas de las armónicas superiores que pertenecen

a la voz y a la música no se transmiten.

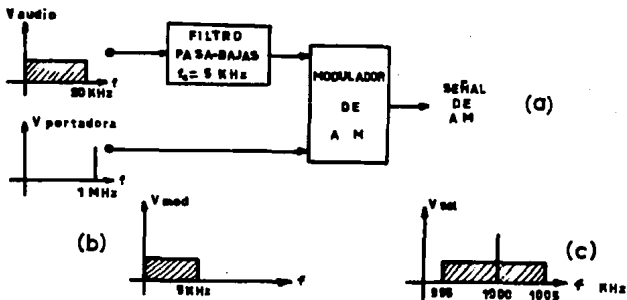


Figura 59 Espectro de Audio de Entrada

1.1. Longitud Práctica de las Antenas

Los textos sobre teorías de antenas describen las razones por las cuales la longitud de las antenas debe ser por lo menos de un cuarto de la longitud de onda. En términos de la frecuencia, un cuarto de longitud de onda es igual a:

$$L' = \frac{7.5 (10^7)}{f}$$

donde L' se mide en metros y f en hertz. Si la antena es más corta que este valor, no podrá irradiar la señal en forma eficiente.

Las antenas serían mucho mayores para frecuencias de audio; por ejemplo, para irradiar 1,000 Hz en forma eficiente, se necesitaría una antena de longitud igual a:

$$L' = \frac{7.5 (10^7)}{1,000} = 7.5 (10^4) \text{ metros} = 47 \text{ millas}$$

Esta es una longitud demasiado grande, por lo que no es práctico irradiar frecuencias de audio directamente. En lugar de ello, los sistemas de comunicaciones transmiten frecuencias de radio mayores de 20 KHz. (complemento del punto 3.2.3.)

2. La Sección Conversora

Para convertir la estación seleccionada en el valor de la F.I. el sistema de conversión usado en los receptores a transistores básicamente puede ser de dos tipos que son:

- 1.- Conversora autodina
- 2.- Conversora a oscilador separado

De estos dos tipos se escogió al primero para nuestro proyecto. En la conversión autodina, mediante un sólo transistor, se llevan a cabo los dos trabajos fundamentales del proceso HETERODINO. Es decir, GENERACION de la oscilación local y DETECCION de la oscilación compleja que resulta de la MEZCLA de la estación seleccionada y la oscilación local. Posteriormente, a la salida del sistema se recoge la nueva frecuencia -F.I. - 455 KHz- a que fue convertida la estación seleccionada. Véase el capítulo IV, punto 4.2. y la figura 60 de esta sección.

En la siguiente lista quedan indicados algunos ejemplos de conversión, en donde se ha considerado que la F.I. a que debe ser convertida la estación seleccionada es de 455 KHz.

Estación Seleccionada	Oscilación Local	F.I.
XEX 730 KHz	1185 KHz	455 KHz
XEQ 940 KHz	1395 KHz	455 KHz
XEQK 1350 KHz	1805 KHz	455 KHz

De la lista anterior, se desprende el hecho de que el oscilador local debe producir una oscilación de R.F. pura de frecuencia mayor que la portadora sintonizada, cuya diferencia invariablemente debe ser igual al valor de la F.I. obviamente, esta condición se debe observar para cualquier estación seleccionada y cuando es así, teóricamente se dice que hay ARRASTRE.

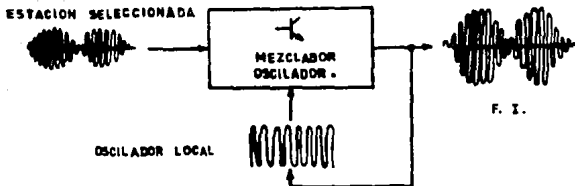


Figura 60 Conversora Autodina

En la figura 61 mostramos el circuito de conexiones práctico de la CONVERSORA AUTODINA más comercial.

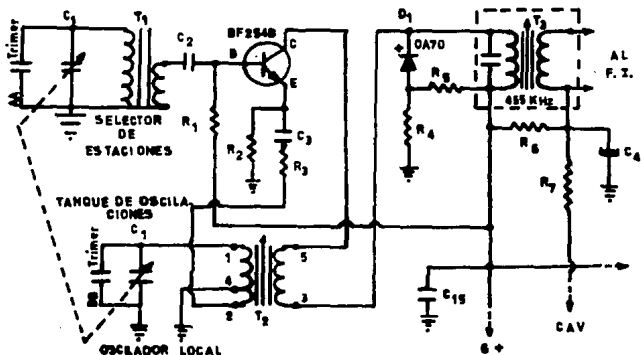


figura 61 Conversora Autodina Usada en Nuestro Receptor de AM Tipo Económico

Como se podrá observar, la sección emplea un transistor NPN de silicio número BF 254B; en montaje emisor a tierra. Este transistor es usado como amplificador VHF-UHF, mezclador y oscilador (*). Este transistor está operando casi al punto de

corte de su curva; para lo cual recibe una pequeña polarización directa en su diodo de entrada.

(*) Véase la hoja de datos al final de este anexo

Fundamentalmente, se entiende por ARRASTRE a una condición de equilibrio constante que debe existir entre el SELECTOR DE ESTACIONES y el TANQUE DE OSCILACION del oscilador local. Esta condición consiste en que para cada punto del cuadrante, el selector debe sintonizar la estación marcada por la flecha en la escala o dial del aparato y a su vez, el tanque de oscilación, para esa posición, debe desarrollar críticamente una frecuencia igual a la suma de la estación seleccionada, más el valor de la frecuencia intermedia.

No olvidar que si el oscilador local genera una frecuencia mayor o menor que la necesaria, la estación convertida difícilmente podrá atravesar el canal de F.I., pues la HETERODINA por la diferencia resultante será de una frecuencia diferente a la legítima. Así pues, aquellos puntos del cuadrante con desequilibrio entre el selector de estaciones y el oscilador local son equivalentes de falta de arrastre y en esos puntos, la estación seleccionada no se reproducirá en la bocina o se manifestará débilmente o bien se escuchará una estación distinta o surgirán silbidos, dependiendo el fenómeno de la magnitud del desequilibrio, esto es, falta de arrastre.

Para lograr el arraste, la resonancia del selector de estaciones y la del tanque de oscilaciones es gobernada por un mando único, ya sea modificando la inductancia de las bobinas de cada selector o la capacidad de los propios selectores.

Ahora bien, tomando en cuenta que la modificación de la resonancia se efectúa regularmente por variación de la capacidad.

En esta sección, para lograr el arraste, el capacitor variable tiene una sección recortada que es justamente la que se usará como osciladora. Además, el capacitor variable está dotado de TRIMMERS compensadores, los cuales modifican o compensan las pequeñas diferencias que existan entre ambos circuitos. Los compensadores quedan conectados en paralelo y el usado en el selector de estaciones recibe el nombre de TRIMMER o COMPENSADOR DE ANTENA. En cambio, el empleado en el tanque de oscilación recibe el nombre de TRIMMER o COMPENSADOR DEL OSCILADOR. La capacidad de los trimmers-compensadores varía de 2 a 30 micro-micro faradios (pf) y tanto uno como otro, gobiernan el arrastre en la parte alta de la banda. Este sistema generalmente es empleado en RECEPTORES SUPERHETERODINOS de tipo económico.

A continuación, después de dar los valores aproximados de los trimmers y su funcionamiento, se pasará a presentar los valores de los componentes más importantes de esta sección.

- Cálculo del capacitor C_2

$$\text{Si } f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$\therefore C_2 = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} ; \quad \left\{ \begin{array}{l} f = 530 \text{ KHz (porque se toma} \\ \text{el m\u00ednimo valor} \\ \text{del rango de sinton\u00eda)} \\ L = 2 \mu\text{H (dato dado por el} \\ \text{fabricante)} \end{array} \right.$$

$$C_2 = \frac{1}{4(3.14159)^2 (530 \times 10^3)^2 (2 \times 10^{-6})}$$

$$C_2 = 0.045 \mu\text{F} = 0.047 \mu\text{F} \text{ valor comercial}$$

Por medio de C_2 la estaci\u00f3n seleccionada es aplicada en la base del transistor BF254B. Es un capacitor de ACOPLAMIENTO que deja pasar hacia el conversor (BF254B) solamente la componente de se\u00f1al de ca y bloquea la cd de base del transistor.

- La resistencia R_1 debe tener un valor alto; que puede ir de 350 K Ω a m\u00e1s de 470 K Ω , para poder obtener una ca\u00edda de voltaje en cd que proporcione el POTENCIAL DE POLARIZACION correcto a la base de la etapa y no da\u00f1e el dispositivo. Para nuestro caso, se opt\u00f3 por una resistencia de $R_1 = 470 \text{ K}\Omega$ para limitar el voltaje de alimentaci\u00f3n al nivel requerido.

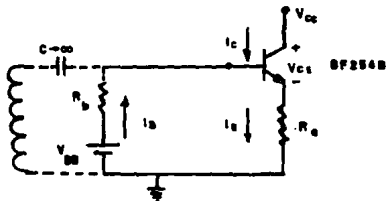
- C\u00e1lculo de los par\u00e1metros m\u00e1s importantes del transistor BF254B de silicio, donde:

$$h_{FE} (\beta) = 60 ; R_D = R_1 = 470 \text{ K}\Omega$$

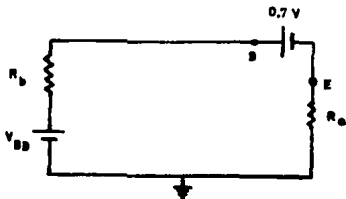
$$V_{BE} = 0.7 \text{ V} ; R_E = R_2 = 560 \Omega$$

v\u00e9ase los dem\u00e1s par\u00e1metros en la hoja de datos

Consideremos el siguiente circuito equivalente:



del circuito de entrada en cd y suponiendo que el TBJ conduce:



$$V_{BB} = R_b I_B + V_{BE} + R_e I_E \quad (1)$$

$$\text{pero } I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$\therefore I_E = I_B (\beta + 1) \quad (2)$$

despejamos a I_B de la ecuación (1):

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_b + R_e (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{6 - 0.7}{470000 + 560(61)} = 10.512 \mu\text{A}$$

para calcular I_C , tenemos que:

$$I_C = \beta I_B = 60 (10.512 \times 10^{-6}) = 0.631 \text{ mA}$$

hacemos uso de la Ec (2) para calcular I_E :

$$I_E = 10.512 \times 10^{-6} (60 + 1) = 0.641 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_E \approx I_C$$

otra forma:

$$I_E = I_B + I_C = 10.512 \times 10^{-6} + 0.631 \times 10^{-3} = 0.641 \text{ mA}$$

Obsérvese que en el circuito de la figura 61, el emisor tiene conectada una resistencia R_2 , en paralelo con un capaci-

tor C_3 y éste conectado en serie con una resistencia R_3 . Para nuestro caso particular y para obtener la estabilidad de esta parte del circuito se le asignó a R_2 un valor comercial de 560Ω .

• $R_2 = 560\Omega$, es la resistencia ESTABILIZADORA del funcionamiento de la etapa contra las variaciones de temperatura. Además, a R_2 se le consideró como la R_e del transistor BF254B, porque C_3 es un capacitor que se encuentra abierto para cd; por lo cual puede analizarse cada etapa por separado.

el voltaje en el emisor es:

$$\begin{aligned} V_E &= R_e I_E = R_2 I_C \\ &= 560 (0.631 \times 10^{-3}) \\ &= 0.35 \text{ V} \end{aligned}$$

el voltaje en la base es:

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BB} - R_B I_B \\ &= 6 - 470000 (10.512 \times 10^{-6}) \\ &= 1.05 \text{ V} \end{aligned}$$

El voltaje que el colector recibe es de aproximadamente 5.5 V positivo, a través del secundario del transformador T_2 , que recibe la polarización desde la fuente, pasando por el primario del transformador T_3 de F.I.

Lo anterior nos servirá para comprobar el voltaje en el colector (V_C).

Tenemos que:

$$\begin{aligned} V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\ V_C &= 5.5 - 0.631 \times 10^{-3} (0) \\ &= 5.5 \text{ V} = V_{CC} \end{aligned}$$

• La reducción en Amplificación introducida por la estabilización de la resistencia R_2 puede ser eliminada al conectar un capacitor de GRAN BYPASS en paralelo con R_2 . Por lo anterior, se escogió a $C_3 = 0.022 \mu\text{f}$ en serie con una resistencia $R_3 = 10\Omega$.

Asimismo, las oscilaciones producidas en el tanque de oscilaciones $-T_2$ - son aplicadas al emisor del transistor BF254B por medio del capacitor de acople C_3 . Véase el circuito de la figura 61.

RESUMIENDO: El mecanismo para desarrollar la OSCILACION LOCAL se reduce a lo siguiente: al fluir la corriente de colector por el oscilador autoexcitado, tipo Tickler de T_2 , varía ligeramente su campo magnético, con lo cual se induce un potencial

en el TANQUE DE OSCILACION, para que éste inicie las OSCILACIONES. También, la señal generada en el SELECTOR DE ESTACIONES, a través del capacitor C_2 , es aplicada a la base para su AMPLIFICACION y las variaciones que experimente la corriente de colector, al fluir por el tickler, vuelven a causar inducción en el tanque para sostener una señal de amplitud constante. La frecuencia de trabajo del oscilador, queda fijada por la componente inductiva y capacitiva del tanque de oscilación.

La oscilación local tomada de una derivación del primario de la bobina del tanque del transformador de oscilación T_2 , es aplicada por medios capacitivos al circuito del emisor.

Realmente, el transistor polarizado al corte, al recibir la estación seleccionada y la oscilación local, en su circuito de salida esos componentes aparecen rectificadas y eso es equivalente del efecto heterodino, del cual la nota heterodina por diferencia es seleccionada por el transformador de F.I. $-T_3-$, para aplicarla posteriormente al canal de frecuencia intermedia.

La conversora autodina, constituye una sección sumamente económica, razón por la cual es de gran aplicación práctica. Sin embargo, por desarrollar la función de oscilador es un tanto delicada y es necesario tener en cuenta que esta sección no puede ser alimentada por el CONTROL AUTOMATICO DE VOLUMEN -CAV-, pues se corren riesgos de causar inestabilidad en la oscilación local desarrollada.

3. La Sección de F.I.

La sección de frecuencia intermedia de un receptor a transistores usualmente se compone de dos etapas amplificadoras sintonizadas a una frecuencia fija que por lo general es de 455 KHz. Estos amplificadores constituyen el amplificador principal del receptor y usualmente emplean transistores en montaje emisor-tierra (emisor-común), con los cuales se consigue la debida ganancia del componente de F.I.

Considerando la alta ganancia que deben aportar estos pasos, con mucha frecuencia el montaje se encuentra en disposición NEUTRALIZADA; pues de otra manera se corre el riesgo de que la etapa entre en estado oscilatorio, ya que parte de la señal amplificada puede regresar al circuito de entrada con la consiguiente oscilación.

La sección de F.I. invariablemente es gobernada por el CONTROL AUTOMATICO DE VOLUMEN -CAV-, cuyo potencial automático se aplica de preferencia al primer paso. Otras veces, en esta sección vamos a encontrar asociado al primer transformador de F.I. $-T_3-$ un diodo -0A70- que recibe el nombre de DIODO DE SOBRECARGA. En la figura 62, mostramos el circuito de conexiones de la sección de F.I. empleada en receptores de tipo económico, de dos pasos y usando diodo de sobre-carga.

Los amplificadores de F.I. por regla general operan en clase "A" para lo cual reciben en su diodo de entrada una polarización en sentido directo. Siendo el montaje emisor-tierra el que aporta MAYOR GANANCIA, usualmente ese es el tipo de montaje em-

pleado en los amplificadores de F.I.

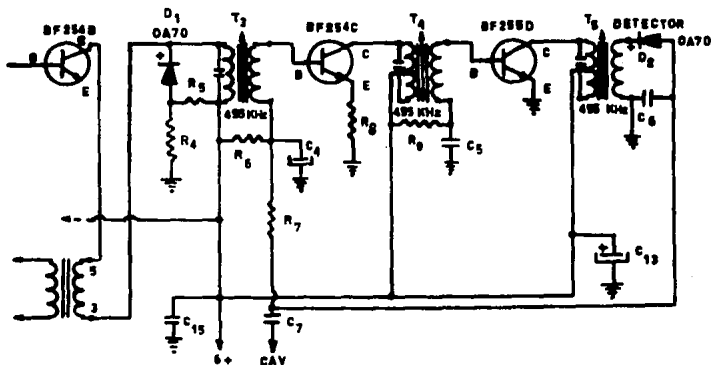


Figura 62 Sección de F.I. de Dos Pasos con Diodo de Sobre-Carga

3.1. El Diodo de Sobrecarga D1-0A70-

Aunque el CAV asociado al canal de F.I. introduce una marcada estabilidad en el funcionamiento del receptor, con la llegada de señales de muy alto nivel, aún persiste el riesgo de la SOBRECARGA. Por otra parte, al aplicar el potencial de CAV al primer paso de F.I., particularmente con la llegada de señales fuertes, su efecto de monitoreo modifica la resistencia interna del transistor respectivo, en tal forma que el selector de F.I. que acopla el mezclador con el propio primer paso de frecuencia intermedia, experimenta ligera desintonización y obviamente un MAL FUNCIONAMIENTO. Sobre este aspecto, aunque el fabricante previene estos riesgos, dando valores críticos a los componentes de esta primera etapa, siempre hay tendencia a una deficiente labor selectiva. Justamente, el problema planteado se ha resuelto intercalando el diodo de CAV o de sobrecarga -0A70-. El diodo actúa como un dispositivo CONTROLADOR DE LA EXCITACION DE SERAL que recibe el primer paso de frecuencia intermedia.

Este diodo, de hecho, monitorea el factor "Q" del selector de F.I., operando como una especie de RESISTOR VARIABLE DE CARGA.

Prácticamente, el diodo de sobrecarga, en combinación con redes resistivas, queda conectado en paralelo con el PRIMARIO del primer selector de F.I. -T₃- y su mecanismo se limita a lo

siguiente:

1- Cuando la señal de entrada es de BAJO NIVEL, el diodo de sobrecarga no actúa, consecuentemente la carga que impone al selector de F.I. es despreciable. Este comportamiento se debe a que el diodo con señales débiles queda POLARIZADO EN SENTIDO INVERSO.

2- Cuando la señal de entrada es de ALTA MAGNITUD, el diodo de sobrecarga queda POLARIZADO EN SENTIDO DIRECTO y conduce, tanto más, cuanto más intensa sea la señal de entrada. De esta manera, su baja resistencia interna produce un notable efecto de carga sobre el selector de F.I., con lo cual se evitan desajustes y obviamente el efecto de sobrecarga.

Un ejemplo de circuito práctico de conexiones del diodo D1-0A70- es el que se indica en la figura 63.

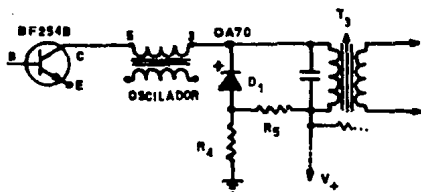


Figura 63 Circuito de Conexiones del Diodo de Sobrecarga

Como se podrá observar, el diodo \$D_1\$ -en serie con \$R_5\$ - queda conectado en paralelo con el PRIMARIO DE \$T_3\$.

Por otra parte, \$R_4\$ y \$R_5\$ forman un DIVISOR DE VOLTAJE, de cuya red el diodo \$D_1\$ recibe una POLARIZACION INVERSA. Las resistencias \$R_4\$ y \$R_5\$ toman los valores comerciales de 4.7 K Ω y 680 Ω , respectivamente, para suministrar esa polarización inversa al diodo en cuestión.

Aplicando el teorema Thévenin en el circuito de la figura 63 se tiene:

$$R_{TH} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

$$= \frac{4.7 \text{ K}\Omega (0.68 \text{ K}\Omega)}{4.7 \text{ K}\Omega + 0.68 \text{ K}\Omega}$$

$$\begin{aligned}
 &= 594 \Omega \\
 E_{TH} &= \frac{R_5 \times V_+}{R_4 + R_5} \\
 &= \frac{0.68k\Omega \times 6V}{4.7 K\Omega + 0.68 K\Omega} \\
 &= 0.7584 V \quad \text{este voltaje a través de } R_5 \text{ polariza inversamente al diodo}
 \end{aligned}$$

La ecuación del diodo es:

$$I_D = I_o (e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

donde:

- V_D = caída de voltaje en directa = 1 V
 - V_D = Voltaje pico inversa = 100 V
 - V = Voltaje aplicado = 6 V
 - V_T = Voltaje térmico = 26 mV a 27°C
 - I_D = Corriente media en sentido directo = 0.2 A a 1 V
 - I_o = Corriente inversa de saturación = 270 μ A a 100 V
- Material: Ge (Germanio)

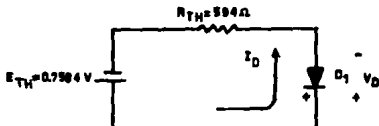
Los parámetros: $-V_D$, V_D , V_T , I_D , I_o y el tipo de material fueron suministrados por el fabricante para el diodo D1(DA70).

La ecuación del diodo, también se usa cuando el voltaje se aplica en INVERSA; es decir, si "V" es negativo y mucho mayor que V_T , entonces la corriente en el diodo es aproximadamente igual a I_o .

$$\text{Si } V \gg V_T$$

$$I_D = I_o (0 - 1) = -I_o$$

$$I_D = -270 \mu A$$



Del circuito se tiene la siguiente relación:

$$E_{TH} = V_D + R_{TH} (I_o)$$

$$\begin{aligned} \therefore V_D &= E_{TH} - R_{TH} I_o \\ &= 0.7584 - (-270 \times 10^6 \times 594) \\ &= 0.9188 \text{ V} \end{aligned}$$

Obsérvese que este voltaje de polarización en inversa está muy por debajo del voltaje pico en inversa dado por el fabricante. Por lo tanto, los valores de las resistencias R_4 y R_5 , así como el seleccionar al diodo OA70 nos dará la confianza de que el circuito funcionará con muy buena estabilidad y evitará el riesgo de la sobrecarga.

Bajo tales condiciones y mientras la señal de entrada es de BAJO NIVEL, el diodo no actúa, en consecuencia, la carga dispuesta al selector T_3 es mínima. Sin embargo, con la presencia de SEÑALES FUERTES, la propia señal neutraliza la polarización inversa previamente aplicada al diodo D_1 , tornándola directa; con lo cual el diodo conduce y al hacerlo decrece notablemente su resistencia interna. En esta forma la combinación D_1 , R_5 carga notablemente al selector de T_3 , eliminándose el efecto de sobrecarga.

3.2. Amplificador de F.I.

Nuestro amplificador de F.I. se forma a base de dos etapas sintonizadas a transistor NPN en montaje emisor-común, con los cuales se consigue la debida ganancia del componente de F.I.

• A continuación se calcularán los parámetros más importantes de los transistores NPN de silicio; el BF254C y el BF255D respectivamente; y que sus valores de voltajes sin señal no sobrepasen a los valores críticos dados en las hojas de datos, que se encuentran al final de este anexo.

Para el transistor BF254C se tienen los siguientes datos: $h_{FE}(\beta) = (20)$ mínima; $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ y el $V_C = 5.5 \text{ V}$. Este potencial positivo de colector proviene directamente de la fuente y se aplica a través del primario del transformador de F.I. de salida T_4 ; véase la figura 62. Asimismo, podemos ver que la base del transistor se alimenta con un voltaje positivo aproximado de 0.7 V que proviene del CAV y de la fuente de 6 V cd., en combinación con R_6 y R_7 que forman un divisor de voltaje. Ese potencial pasa a través del devanado secundario del transformador T_3 y de ahí alimenta la base del transistor BF254C.

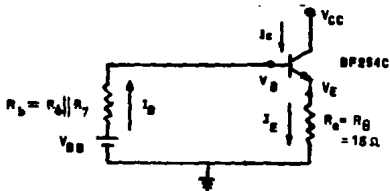
Los valores comerciales de R_6 y R_7 , para nuestro circuito son:

$$\begin{aligned} R_6 &= 100 \text{ K} \\ R_7 &= 82 \text{ K} \end{aligned}$$

además, R_7 es el resistor de filtro de CAV

En ausencia de señal, el potencial es aplicado al diodo de entrada base-emisor únicamente por la fuente.

Consideremos el siguiente circuito equivalente:



$$V_{BB} = R_b I_B + V_{BE} + R_e I_E \quad (1)$$

$$\text{pero } I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$\therefore I_E = I_B (\beta + 1) \quad (2)$$

de (2) en (1), tenemos:

$$\begin{aligned} V_{BB} &= R_b I_B + V_{BE} + R_e I_B (\beta + 1) \\ &= I_B (R_b + R_e (\beta + 1)) + V_{BE} \end{aligned}$$

despejamos a I_B :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_b + (\beta + 1) R_e}$$

$$I_B = \frac{6 - 0.7}{45055 + (20 + 1) (15)}$$

= 116.81 μ A -es el valor mınimo de corriente de base necesario para saturar el transistor-

para calcular I_C , tenemos que:

$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ &= 20 (116.81 \times 10^{-6}) \\ &= 2.336 \text{ mA} \end{aligned}$$

el cálculo de I_E

$$\begin{aligned} I_E &= I_B + I_C \\ &= 116.81 \times 10^{-6} + 2.336 \times 10^{-3} \\ &= 2.45 \text{ mA} \\ \Rightarrow I_E &= I_C \end{aligned}$$

el voltaje en el emisor es:

$$\begin{aligned} V_E &= R_B I_C \\ &= 15 (2.336 \times 10^{-3}) \\ &= 35.04 \text{ mV} \end{aligned}$$

el voltaje en la base es:

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BB} - R_b I_B \\ &= 6 - 45055 (116.81 \times 10^{-6}) \\ &= 0.73 \text{ V} \end{aligned}$$

el voltaje colector-emisor es:

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_C - V_E \\ &= 5.5 - 35.04 \times 10^{-3} \\ &= 5.46 \text{ V} \\ \Rightarrow V_{CE} &= V_C \end{aligned}$$

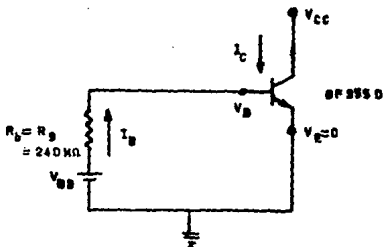
• $R_B = 15 \Omega$, es la resistencia estabilizadora del funcionamiento de la etapa contra las variaciones de temperatura.

• $C_4 = 2.5 \mu\text{F}$ a 6 V, es un capacitor electrolítico DE PASO, con el cual se dispone de una conexión hacia TIERRA para la base del transistor BF254C y el secundario de T_3 . Un capacitor de paso es similar a un capacitor de acoplamiento, excepto porque en este caso se acopla un punto no conectado a tierra con un punto de tierra, sin alterar el voltaje de cd en el punto.

• Cálculo de los parámetros más importantes del transistor de silicio BF255D. Los datos dados por el fabricante son iguales al del transistor BF254B.

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}, h_{FE} (\beta) = 60$$

se considera el siguiente circuito equivalente:



$$V_{BB} = R_b I_B + V_{BE} \quad (1)$$

Despejamos a I_B :

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_b} \\ &= \frac{6 - 0.7}{240 \times 10^3} \\ &= 22.08 \mu\text{A} \end{aligned}$$

la corriente I_C , es:

$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ &= 1.325 \text{ mA} \end{aligned} \quad (2)$$

el voltaje en la base es:

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BB} - I_B R_b \\ V_B &= 6 - 22.08 \times 10^{-6} (240 \times 10^3) \\ &= 0.7 \text{ V} \end{aligned}$$

el voltaje en el colector es:

$$V_C = 5.5 \text{ V} = V_{CC}$$

proviene directamente de la fuente y se aplica a través del primario del transformador de F.I. de salida T_g .

El voltaje colector emisor para esta configuración es:

$$V_{CE} = V_C$$

$$V_{CE} = 5.5 \text{ V}$$

• $C_{13} = 200 \mu\text{f}$ a 15 V; es también un capacitor electrolítico de PASO, con el cual se dispone una conexión eléctrica hacia TIERRA para el colector del transistor BF255D.

3.3. Mecanismo Básico de Operaciones

Al presentarse la señal de F.I., lo cual ocurre a través del transformador T_1 , la señal modula la polarización de la base, con lo cual, también se modula la polarización directa aplicada al diodo de entrada base-emisor. Lo anterior se refleja en cambios en la corriente de colector del transistor BF254C, las cuales representan el efecto de amplificación a que es sometida la señal, para luego llevar al componente amplificado a un proceso más de selección por parte del transformador de salida de F.I. T_4 , para causar inducción del primario al secundario y aplicar la señal de F.I. a la base del otro transistor BF255D y realizar el efecto de amplificación de la señal, con proceso idéntico a lo ya mencionado en líneas atrás. Ese componente amplificado es seleccionado por el transformador de salida de F.I. T_5 para finalmente transferir ese componente al SISTEMA DETECTOR.

Por otra parte y con el fin de evitar el ESTADO DE OSCILACION que puede caer la etapa por la RETROALIMENTACION DE SEÑAL que ocurre o puede ocurrir a través de la capacidad interna colector-base de los transistores, se dispone la capacidad $C_6 = 0.22 \mu\text{f}$ en paralelo con $C_7 = 0.10 \mu\text{f}$, cuya capacidad retroalimenta una señal defasada 180° con respecto a la que se regresa por la vía capacitiva interna de BF254C y BF255D, como los dos componentes son de igual magnitud obviamente se cancelan.

No olvidar que por usarse dos pasos amplificadores, la sensibilidad del receptor aumenta notablemente. El segundo paso de F.I. no es controlado por el CAV, causa por lo cual la polarización de la base se consigue mediante la caída de voltaje en $R_9 = 240 \text{ K}\Omega$. Los componentes R_9 y $C_5 = 0.022 \mu\text{f}$ hacen de filtro de la señal de audio antes de ser aplicada al secundario de T_4 y de ahí a la base del transistor BF255D. C_5 debe ser grande para no trabajar como realimentador junto con R_9 y para presentar impedancia a altas frecuencias.

4. La Sección Detectora o Demoduladora

Con el fin de extraer el ENVOLVENTE DE MODULACION que contiene la F.I., en receptores a transistores, por REGLA GENERAL se emplea un diodo del tipo de punta de contacto, esta etapa puede ser dispuesta para entregar una señal de FASE NEGATIVA o bien de FASE POSITIVA.

En la mayoría de casos, en ausencia de señal el diodo utilizado recibe una pequeña polarización directa con el fin de

eliminar las porciones no lineales de la curva, evitándose en esta forma efectos de DISTORSION, principalmente cuando la señal de entrada es débil. En la figura 64, se trata de un circuito detector de fase negativa, de acorde a nuestro circuito usado.

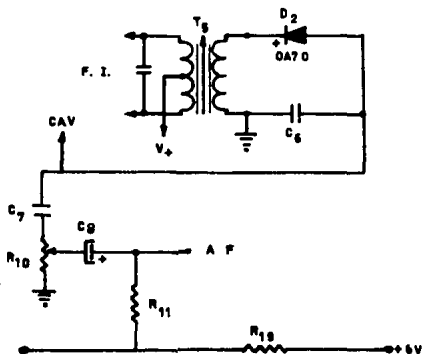


Figura 64 Detector a Diodo de Fase Negativa

En donde, C_6 en paralelo con C_7 constituyen el capacitor de FILTRO DE ALTA FRECUENCIA, como ya se mencionó, y R_{10} es una resistencia variable -20 K Ω -, que es usada como carga del detector 0A70, este dispositivo es a la vez el CONTROL DE VOLUMEN; además de actuar como fuente de CAV.

El control de volumen, en combinación con R_{11} forman un divisor de voltaje que proporciona la pequeña polarización directa que se aplica al diodo detector. Exactamente de la unión de las resistencias R_{10} y R_{11} nace la línea de alimentación de CAV, este conducto es a la vez el punto de alimentación para polarizar la base del amplificador -BF254C- de F.I.

Cuando el elemento de carga - R_{10} - del detector actúa como fuente de CAV, la fase de salida del sistema depende del tipo de transistor usado en la sección de F.I. y del punto exacto donde se vaya a aplicar el potencial automático.

Los detectores que usan un diodo de contacto, como es nuestro caso, para llevar a cabo el proceso de la detección reciben el nombre de DETECTORES DE BAJA POTENCIA y por regla general, cuando su carga actúa como fuente de CAV, este potencial automático es aplicado al CIRCUITO DE BASE DEL AMPLIFICADOR DE F.I.

Véase la figura 62.

Por lo anterior, se utilizó una resistencia variable de carga igual a $20 \text{ K}\Omega$ - R_{10} = $20 \text{ K}\Omega$ -.

El diodo detector D_2 -0A70- cuando recibe una pequeña polarización directa y bajo estas condiciones, al presentarse la señal de F.I. el circuito de SALIDA solamente responde para los 180° del ciclo, efectuándose la DETECCION. Este circuito aporta una señal de AF, lo que permite aplicar la señal detectada directamente al circuito de entrada del AMPLIFICADOR DE POTENCIA DE AUDIO.

5. El Control Automático de Volumen -CAV-

Con el fin de hacer llegar una señal de magnitud constante al detector, sin importar la intensidad de la señal sintonizada, los receptores proyectados tanto a válvula electrónica como a transistores usan el CAV. Con este dispositivo de acción automática se obliga a la sección de RF, convertor y etapa de F.I., a desarrollar una amplificación que queda en proporción inversa con la magnitud de la señal de entrada. Esto es: al sintonizarse una señal fuerte, por efecto del CAV, automáticamente las etapas controladas reducen su ganancia y la señal poderosa es poco amplificada. En cambio, con señales débiles por efecto del CAV las etapas controladas aumentan su ganancia y la señal débil es amplificada mucho.

En receptores proyectados a válvula electrónica, el efecto se logra modificando el bias de rejilla de control de las etapas de RF, convertor y F.I. Por el contrario, en aparatos transistorizados, el efecto se logra modificando el potencial aplicado al diodo de entrada base-emisor.

El empleo de CAV en los receptores trae como consecuencia una mayor estabilidad de funcionamiento, pues la magnitud de señal que recibe el detector invariablemente es la misma. En esta forma, el riesgo a una posible sobrecarga se descarta completamente.

Aunque el CAV en receptores proyectados, tanto a transistores como a válvula electrónica, desempeña la misma función, tomando en consideración que las válvulas son sensibles al VOLTAJE y los transistores a la CORRIENTE, para gobernar la ganancia de las etapas a válvula electrónica, el potencial de CAV requerido es muy bajo. En cambio, en circuitos transistorizados para controlar la ganancia, se demanda de un potencial de CAV de mayor magnitud.

Respecto a la forma como el CAV puede aumentar o disminuir la ganancia de la etapa transistorizada, esta se ajusta a los puntos siguientes:

- 1.- Modificación de la ganancia, llevando al transistor de su punto original de trabajo hacia el corte de su curva. A este sistema se le conoce con el nombre de CAV INVERSO, por usar amplificadores de F.I. con transistores PNP.

- 2.- Modificación de la ganancia, llevando al transistor de su punto original de trabajo hacia la zona de saturación de su curva. Este sistema es conocido con el nombre de CAV DIRECTO, por usar amplificadores de F.I. con transistores NPN, el CAV se abastece de la carga (R_{10}) de un detector de fase negativa, como el utilizado en nuestro circuito. Véase el circuito de la figura 62 en complemento con el circuito de la figura 64.

En el segundo caso, el control automático de volumen con la llegada de una señal, desarrolla un potencial de CAV, que aplicado a la base del transistor BF254C, reduce la polarización del diodo de entrada de este transistor. En esta forma, la corriente del diodo de salida decrece y al desbalancearse las impedancias, tanto de entrada como de salida de la etapa, la ganancia disminuye.

Quando la señal de entrada es de gran magnitud, el detector de fase negativa desarrolla en los extremos de R_{10} gran potencial que es aplicado a la base del transistor BF254C de F.I.; por lo tanto, el potencial de base disminuye, reduciéndose así la polarización para el diodo de entrada. En esta forma, al aumentar tanto la resistencia de entrada como de salida del transistor, las impedancias de carga de la etapa se desbalancean y disminuye el rendimiento de la etapa.

Con señales débiles, el voltaje de base se altera muy poco; en consecuencia, la etapa queda perfectamente balanceada tanto en su entrada como en su salida, aportando la máxima ganancia.

6. Sección Amplificador de Potencia de Audio

6.1. Análisis del preamplificador de audio

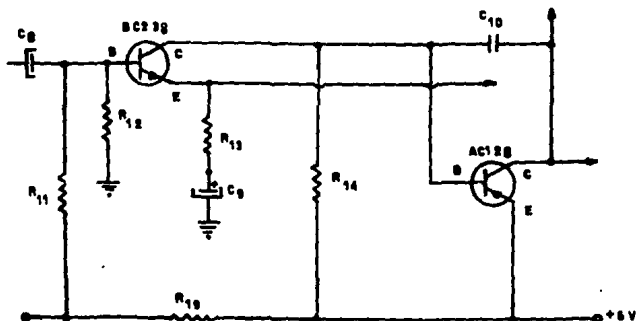
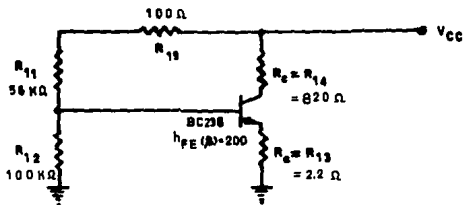


Figura 65 Preamplificador de Audio

Observando el circuito de la figura 65 que contiene al transistor NPN de silicio BC238; podemos analizarlo con el siguiente circuito, para poder obtener los parámetros más importantes del transistor.



• En este circuito R_{13} en serie con R_{11} y en paralelo con R_{12} constituyen un DIVISOR DE VOLTAJE.

Aplicando el teorema de Thévenin en el circuito de base, se tiene:

$$R_{TH} + R_{19} = 56 \times 10^3 + 0.1 \times 10^3$$

$$= 5.61 \text{ K}\Omega$$

$$R_{TH} = R_b = \frac{(R_{11} + R_{19})(R_{12})}{R_{11} + R_{19} + R_{12}}$$

$$= \frac{56.1 \times 10^3 (100 \times 10^3)}{56.1 \times 10^3 + 100 \times 10^3}$$

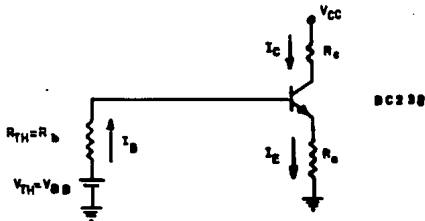
$$= 35.94 \text{ K}\Omega$$

$$V_{BB} = E_{TH} = \frac{R_{12}}{R_{11} + R_{19} + R_{12}} V_{CC}$$

$$= \frac{100 \times 10^3 (6)}{156.1 \times 10^3}$$

$$= 3.84 \text{ V}$$

Nuestro anterior circuito quedó reducido a:



Para la malla del circuito de base:

$$V_{BB} = I_B R_b + V_{BE} + I_E R_e = 3.84 \text{ V} \quad (1)$$

para la malla del circuito de colector:

$$V_{CC} = I_E R_e + V_{CE} + I_C R_c = 6 \text{ V}$$

$$\therefore V_{CE} = V_{CC} - (I_E R_e + I_C R_c) \quad (2)$$

$$\text{pero } I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$\therefore I_E = I_B (\beta + 1) \quad (3)$$

de (3) en (1), tenemos que:

$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_b + V_{BE} + R_e I_B (\beta + 1) \\ &= I_B (R_b + R_e (\beta + 1)) + V_{BE} \end{aligned}$$

despejamos a I_B :

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_b + (\beta + 1) R_e} \\ &= \frac{3.84 - 0.7}{35.94 \times 10^3 + (201) 2.2} \\ &= 86.31 \mu\text{A} \end{aligned}$$

La corriente del colector es:

$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ &= 200 (86.31 \times 10^{-6}) \\ &= 17.26 \text{ mA} \end{aligned}$$

La corriente del emisor es:

$$\begin{aligned} I_E &= I_B + I_C \\ &= 86.31 \times 10^{-6} + 17.26 \times 10^{-3} \\ &= 17.35 \text{ mA} \\ \Rightarrow I_E &\approx I_C \end{aligned}$$

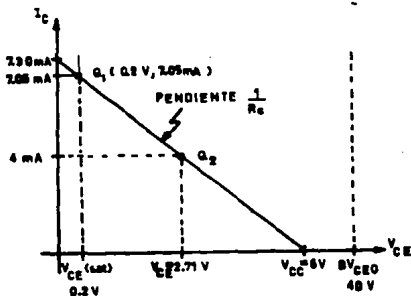
de la ecuación (2), calculamos el voltaje colector-emisor:

$$\begin{aligned} V_{CE} &= 6 - (17.35 \times 10^{-3} (2.2) + 17.26 \times 10^{-3} (820)) \\ &= -8.19 \text{ V} \end{aligned}$$

Como esto físicamente no puede ser, el TBJ estará necesariamente saturado. Normalmente, para los transistores de silicio el $V_{CE}(\text{SAT})$ es de 0.1 V a 0.5 V; para nuestro caso tomaremos a $V_{CE}(\text{SAT}) = 0.2 \text{ V}$, que es dato dado por el fabricante.

$$\begin{aligned}
 \text{si } I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE} (\text{SAT})}{R_C + R_E} \\
 &= \frac{6 - 0.2}{822.2} \\
 &= 7.05 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Lo que implica que la corriente de colector no puede variar simétricamente alrededor del punto Q, por estar éste en el límite de la región activa. Es decir, la I_C puede tomar valores menores a 7.05 mA, pero no mayores porque entraríamos a la región de saturación.



Cuando el transistor opera en la región de corte, todo el voltaje de la fuente aparece aplicado en las terminales colector-emisor del transistor y vale:

Del circuito de salida:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C + I_E R_E$$

$$\text{donde } I_E \approx I_C$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C (R_C + R_E)$$

$$\text{Si } I_C = 0$$

$$V_{CC} = V_{CE} = 6 \text{ V} \\ (\text{corte})$$

Cuando el transistor opera en la región de saturación, se comporta como si estuviera cortocircuitado y todo el voltaje de

la fuente aparece en la conexión en serie de R_c y R_e ; por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Si } V_{CE} &= 0 \\ I_C &= \frac{V_{CC}}{R_c + R_e} = \frac{6}{822.2} \\ &= 7.30 \text{ mA} \end{aligned}$$

No olvidemos que el voltaje a través de la resistencia de base de $100 \text{ K}\Omega - R_{12}$ - es de $3.84 \text{ V} - E_{TH}$ -. Por otro lado, la caída de voltaje del diodo del emisor es de 0.7 V dejando 3.14 V para que caigan en la resistencia R_e ; entonces, ése será el voltaje en el emisor:

$$\begin{aligned} V_E &= E_{TH} - V_{BE} \\ &= 3.84 - 0.7 \\ &= 3.14 \text{ V} \end{aligned}$$

Consideremos que I_C toma el valor de 4 mA ; implica que:

$$\text{si } I_C = 4 \text{ mA} \approx I_E$$

de la ecuación (2) calcularemos el voltaje colector-emisor:

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C (R_e + R_c) \\ &= 6 - 4 \times 10^{-3} (822.2) \\ &= 2.71 \text{ V} \end{aligned}$$

El voltaje de colector será:

$$\begin{aligned} V_C &= V_E + V_{CE} \\ &= 3.14 + 2.71 \\ &= 5.85 \text{ V} \end{aligned}$$

La corriente de base es:

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{I_C}{\beta} \\ &= \frac{4 \times 10^{-3}}{200} \\ &= 20 \mu\text{A} \end{aligned}$$

El voltaje en la base es:

$$\begin{aligned}V_B &= V_{BB} - I_B R_b \\V_B &= 3.84 - 20 \times 10^{-6} (35.94 \times 10^{-3}) \\&= 3.12 \text{ V}\end{aligned}$$

6.2. Consideraciones más importantes para el Diseño del Amplificador de Potencia de Audio de AM

En esta sección se dará una introducción básica sobre el diseño práctico de un amplificador de potencia de audio de AM. En los puntos 3.2.5. y 3.2.5.1. se ha dado un panorama general sobre algunos circuitos amplificadores. Aquí se darán los méritos de los amplificadores clase A; normalmente contiene un transistor, contra los amplificadores clase B, contienen dos transistores, que son los más usados en los radios comerciales y, que fueron base para seleccionar el amplificador de nuestro proyecto.

6.2.1. Selección del Circuito Amplificador

Los amplificadores clase A, generalmente proporcionan una menor distorsión pero menor potencia de salida que los amplificadores clase B. Los amplificadores clase A proporcionan mayor ganancia en potencia por etapa, pero tienen una pobre eficiencia en potencia. Esta baja eficiencia limita seriamente la aplicación de los amplificadores clase A, donde el consumo de potencia es un factor limitador; por ejemplo, en los radios portátiles.

El diseño clase B proporciona una mayor eficiencia en potencia que la clase A, pero requiere más componentes por etapa. La clase B es adecuada para SALIDA DE ALTA POTENCIA y en aplicaciones en donde el consumo de potencia es un factor limitador. Los comentarios anteriores proporcionan una guía para escoger entre los amplificadores clase A y clase B.

La clase A constituye la forma más común de emplear un transistor en circuitos lineales, porque es la forma más simple y son los circuitos de polarización más estables. El amplificador de clase B es un circuito de dos transistores, con ventaja deseable en los sistemas alimentados con baterías, como los receptores transistorizados. Al diseñar se debe escoger un arreglo de acoplamiento. La selección del circuito de acoplamiento depende del funcionamiento y la economía requeridos. La siguiente descripción da un bosquejo de las características de acoplamiento. Estas características son reglas inflexibles. En verdad un diseño cuidadoso puede mezclar las virtudes de varios arreglos en uno solo, pero usualmente a un costo superior.

Por las ventajas del amplificador clase B contra los de la clase A, se optó por el amplificador de clase B, sin transformador.

6.2.2. Selección de Transistores

El funcionamiento y la confiabilidad de un amplificador dependen de una cuidadosa selección del tipo de transistor. A continuación se mencionan las consideraciones de los parámetros más importantes al hacer esta selección. Estos parámetros son suministrados por el fabricante a través de hojas de datos. Este recurso de selección fue usado en las diferentes etapas del diseño del receptor de AM.

• Consideraciones de Potencia:

P_D La potencia disipada por el dispositivo mientras entrega la potencia especificada de salida a la carga. La temperatura del dispositivo, mientras disipa esta potencia, deberá mantenerse abajo de la temperatura especificada t_1 del dispositivo, calculada a P_D . Los fabricantes incluyen una curva segura de operación en las hojas de datos de dispositivos que requieren esta consideración.

• Consideraciones de Corriente:

I_{CM} La corriente máxima de colector del dispositivo mientras opera a potencia máxima de salida. I_{CM} debe ser menor que la corriente nominal máxima de colector del dispositivo. El diseñador deberá seleccionar un transistor que no solamente proporcione suficiente I_{CM} , sino que también mantenga características prácticas de ganancia y saturación a dicha corriente.

• Consideraciones de Voltaje:

BV_{EBO} Voltaje inverso de ruptura emisor-base con el colector abierto. Este parámetro es de importancia en los amplificadores clase B, puesto que las uniones emisor-base se polarizan en forma inversa alternativamente cada medio ciclo. BV_{EBO} deberá especificarse siempre mayor que el voltaje pico de entrada Vip entregado a la base.

BV_{CEO} Voltaje inverso de ruptura colector-emisor con la base abierta. Esta especificación proporciona el valor nominal más bajo del voltaje de colector-emisor del dispositivo.

BV_{CES} Voltaje inverso de ruptura colector-emisor con el emisor en corto a la base. Esta especificación puede ser tan alta como BV_{CBO} , pero por lo general es ligeramente inferior.

BV_{CBO} Voltaje inverso de ruptura, colector a base con el emisor abierto.

• Otras Consideraciones:

h_{FE} El valor estático de la ganancia de corriente en corto circuito con emisor-común. h_{FE} se puede suponer usualmente como igual a $h_{f\beta}$ para frecuencias de audio. Esta aproximación no es verdadera a bajos niveles de corriente en donde la corriente de saturación inversa se hace apreciable.

Y_{FE} Transconductancia a cd. La gráfica de V_{BE} versus I_C se llama la curva de Y_{FE} . Para las corrientes de colector arriba de un miliampere, la curva Y_{FE} es aproximadamente lineal. V_{BE} varía con los dispositivos individuales así como con los materiales semiconductores. El voltaje V_{BE} cae con incrementos de temperatura. Para el silicio la reducción es de aproximadamente 2.0 millivolts por $^{\circ}C$; para el germanio es de aproximadamente 1.3 millivolts por $^{\circ}C$. La curva Y_{FE} es muy útil para seleccionar el punto Q de operación.

$V_{CE(sat)}$ Es el voltaje de saturación de colector a emisor con las uniones emisor-base y colector-base con polarización DIRECTA. Este parámetro se mide generalmente con varias veces la cantidad mínima de corriente de base requerida por el h_{FE} del dispositivo para la corriente requerida de colector.

7. Proceso para la Selección de los Transistores de Potencia del Amplificador de Audio.

A continuación, se aplican ecuaciones para obtener los transistores de potencia usados en nuestro proyecto. Aunque se puede obtener cierta ventaja utilizando circuitos más complejos al nuestro, los principios básicos de diseño permanecen iguales. Si se requiere saber el desarrollo de las ecuaciones y el por qué de ellas, favor de consultar el texto -Engineering Staff of Texas Instruments Incorporated: "Audio Circuit Design of AM/FM and TV", McGraw Hill Book Co., Inc., New York 1969.- principalmente los capítulos 3 y 5 relacionados con los amplificadores clase B.

Los únicos dos parámetros conocidos y requeridos, son la POTENCIA DE SALIDA requerida $P_o(rms)$ de 2 watts y la impedancia de carga de la bocina; R_L de 8 ohms.

1. El primer paso es seleccionar transistores para la etapa de salida que sean capaces de satisfacer los requisitos. La disipación de potencia para cada transistor de salida se evalúa en la ecuación (1)

$$\begin{aligned} P_D / \text{Dispositivo} &= 0.25 P_o(rms) & (1) \\ &= 0.25 (2 \text{ W}) \\ &= 0.5 \text{ W} \end{aligned}$$

2. Cada transistor de salida debe disipar 0.5 watts a la temperatura máxima de operación t_1 . Deberá considerarse un transistor que tenga una especificación de potencia de más de 0.5W, a menos que la temperatura t_2 sea superior a t_1 . En la ecuación (2) se considera el AC128, clasificado a 1.4 watts a 25 $^{\circ}C$ de temperatura t_2 del casco. Véase la hoja de datos al final de este anexo.

$$t_1 = \frac{P(\text{nom}) - P_D + K_1 t_2}{K_1} \quad (2)$$

Donde:

$$K_1 \quad \text{pendiente de corrección del transistor} \\ = 0.5 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

t_1 Temperatura máxima de operación del dispositivo a P_D ($^\circ\text{C}$)

t_2 Temperatura relacionada a la $P(\text{nom})$ máxima del dispositivo ($^\circ\text{C}$)

$P(\text{nom})$ Especificación máxima de potencia del dispositivo (W)

$$t = \frac{1.4 \text{ W} - 0.5 \text{ W} + 0.5 \text{ W} / ^\circ\text{C} (25 ^\circ\text{C})}{0.5 \text{ W} / ^\circ\text{C}} \\ = 26.8 ^\circ\text{C}$$

La temperatura máxima permisible para el casco del dispositivo AC128, mientras disipa 0.5 watts, es de aproximadamente $27 ^\circ\text{C}$. Deberá usarse un disipador de calor para mantener la temperatura del casco abajo de esta temperatura mientras disipa 0.5 watts. Esta es una tarea razonablemente fácil.

3. Se determina el cambio en voltaje de base a emisor ΔV_{BE} , sobre la escala de temperaturas de operación para el AC128 de germanio en la ecuación (3).

$$\Delta V_{BE} = K_2 (t_1 - t_4) \quad (3)$$

en donde:

K_2 término dependiente de la temperatura base-emisor, para el:

$$\begin{array}{ll} \text{Silicio} & = 2.0 \times 10^{-3} \text{ V} / ^\circ\text{C} \\ \text{Germanio} & = 1.3 \times 10^{-3} \text{ V} / ^\circ\text{C} \end{array}$$

t_4 Temperatura mínima de operación del dispositivo.

$$\Delta V_{BE} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ V} / ^\circ\text{C} (26.8 ^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \\ = 2.34 \text{ mV}$$

4. Este cambio en voltaje de base a emisor ΔV_{BE} es importante para la estabilidad de polarización. Consecuentemente, el diseño del circuito de polarización se basa parcialmente en dicho cambio y ΔV_{BE} se considera al determinar el voltaje V_{CC} de alimentación de cd de colector.

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= \sqrt{8 P_{DR_L}} + 50 \Delta V_{BE} + 2 V_{CE(SAT)} \text{ (MAX)} & (4) \\
 &= \sqrt{8 (0.5 \text{ W}) 8 \Omega} + 50 (2.34 \times 10^{-3} \text{ V}) + 2 (0.1 \text{ V}) \\
 &= 5.98 \text{ V}
 \end{aligned}$$

5. El V_{CC} requerido para una salida de 2 watts y una impedancia de carga de 8 ohms es de aproximadamente 6 volts, utilizando en este circuito el AC128. Como una comprobación para asegurar que no se exceda la especificación de voltaje por los requerimientos del circuito, se deberá satisfacer la relación siguiente:

$$\begin{array}{rcl}
 BV_{CE} & > & V_{CC} \\
 32 \text{ V} & > & 6 \text{ V}
 \end{array} \quad (5)$$

puesto que BV_{CE} es mayor de 6 V, el AC128 estará dentro de sus especificaciones de voltaje.

6. No se deberá exceder la corriente máxima de colector de un ampere. La ecuación (6) calcula la corriente pico del colector.

$$\begin{aligned}
 I_{cp} &= \sqrt{\frac{2 P_o \text{ (rms)}}{R_L}} & (6) \\
 &= \sqrt{\frac{2 (2 \text{ W})}{8 \Omega}} \\
 &= 0.71 \text{ A}
 \end{aligned}$$

7. Se fija la corriente quiescente para que sea una pequeña porción de I_{cp}

$$\begin{aligned}
 I_{cq} &= 0.01 I_{cp} & (7) \\
 &= 0.01 (0.71 \text{ A}) \\
 &= 7.1 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

8. La corriente máxima de colector I_{CM} no deberá exceder la especificación máxima de corriente para el dispositivo considerado.

$$\begin{aligned}
 I_{CM} &= 1.01 I_{cp} & (8) \\
 &= 1.01 (0.71 \text{ A}) \\
 &= 0.72 \text{ A}
 \end{aligned}$$

La corriente máxima requerida no excede a la especificación de un ampere del AC128, véase hoja de datos.

9. Se calcula la corriente quiescente de base I_{BQ} para uso posterior en el diseño de la red de polarización.

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{h_{FE}} \quad (9)$$

$$= \frac{7.1 \times 10^{-3}}{90}$$

$$= 78.9 \mu A$$

10. También deberá considerarse en el diseño del circuito de polarización la corriente de corte de colector a la temperatura máxima de operación $I_{CBO}(t_1)$. Esta corriente de fuga es importante para evaluar los criterios de estabilidad del circuito.

$$I_{CBO}(t_1) = I_{CBO}(t_3) 2^{(t_1 - t_3)/Kt} \quad (10)$$

en donde:

Kt constante empírica dependiente de la temperatura.

para el: Silicio = $12^\circ C$
Germanio = $8^\circ C$

t_3 Temperatura máxima a I_{CBO} dada por el fabricante: $50^\circ C$

$I_{CBO}(t_3)$ I_{CBO} máxima especificada por el fabricante a la temperatura t_3 : $10 \times 10^{-3} A$

$$I_{CBO}(t_1) = (10 \times 10^{-3} A) 2^{(26.8^\circ C - 50^\circ C)/8^\circ C}$$

$$= 1.34 mA$$

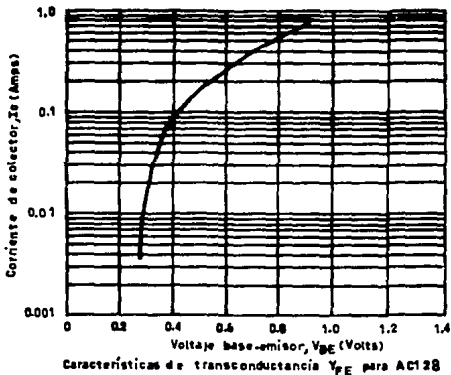
11. Se determina ahora el requerimiento total de corriente de polarización de I_{BB} a través de la resistencia R_{15} .

$$I_{BB} = I_{BQ} + 10 I_{CBO}(t_1) \quad (11)$$

$$= 78.9 \times 10^{-6} A + 10 (1.34 \times 10^{-3} A)$$

$$= 13.48 mA$$

12. El requerimiento del voltaje quiescente de base V_{BEQ} se toma de la curva Y_{FE} , véase gráfica, a I_{CQ} .



$$V_{BEQ} = 0.3 \text{ V}$$

13. Se determina también el cambio en la corriente de corte de colector, I_{CBO}

$$\begin{aligned} \Delta I_{CBO} &= I_{CBO}(t_1) - I_{CBO}(25^\circ\text{C}) \quad (12) \\ &= 1.34 \times 10^{-3} - 0.14 \times 10^{-3} \\ &= 1.2 \times 10^{-3} \text{ A} \end{aligned}$$

14. Se determina R_{15} , que desarrolla el voltaje quiescente apropiado de polarización. El valor de R_{15} evitará que la corriente quiescente de colector aumente a más de cinco veces el valor nominal de I_{CQ} .

$$\begin{aligned} R_{15} &\leq \frac{5 V_{BEQ} + \Delta V_{BE}}{5 I_{BB}} \quad (13) \\ R_{15} &\leq \frac{5 (0.3 \text{ V}) + 2.34 \times 10^{-3} \text{ V}}{5 (13.48 \times 10^{-3} \text{ A})} \\ &\leq 22.3 \Omega \end{aligned}$$

15. La resistencia de emisor R_e se selecciona considerando ΔV_{BE} y ΔI_{CQ} a la corriente quiescente de colector. Se calcula R_e con la suposición de que la corriente quiescente no se dejará cambiar más de cinco veces el valor nominal de I_{CQ} .

$$R_e > \frac{\Delta V_{BE} + \Delta I_{CQ} R_{15}}{5 I_{CQ}} \quad (14)$$

$$> \frac{2.34 \times 10^{-3} \text{ V} + 1.2 \times 10^{-3} \text{ A} (22.3 \Omega)}{5 (7.1 \times 10^{-3} \text{ A})}$$

$$> 0.82 \Omega$$

$$\therefore R_e = R_{17} = R_{18} = 0.82 \Omega$$

16. Se determina la corriente pico de base I_{bp} para el requerimiento del circuito excitador.

$$I_{bp} = \frac{I_{cp}}{h_{FE}} \quad (15)$$

$$= \frac{0.71 \text{ A}}{90}$$

$$= 7.89 \text{ mA}$$

17. Se determina también la caída de voltaje $V_{R_{15}}$ a través de R_{15} .

$$V_{R_{15}} = I_{bp} R_{15} \quad (16)$$

$$= 7.89 \times 10^{-3} \text{ A} (22.3 \Omega)$$

$$= 0.176 \text{ V}$$

18. Se calcula la caída de voltaje V_{R_e} a través de R_e debida a I_{cp} .

$$V_{R_e} = I_{cp} R_e \quad (17)$$

$$= 0.71 \text{ A} (1 \Omega)$$

$$= 0.71 \text{ V}$$

Nota: Se tomó el valor comercial de R_e de 1 ohms

19. El tamaño del capacitor C_{11} de acoplamiento de salida se puede determinar suponiendo una frecuencia mínima f. Supongamos una frecuencia del extremo bajo a 3db, de 20 Hz.

$$\begin{aligned}
 C_{11} &> \frac{1}{2\pi f R_L} && (18) \\
 &> \frac{1}{2\pi(20 \text{ Hz}) 8\Omega} \\
 &> 994.718 \mu\text{F} \\
 C_{11} &= 1000 \mu\text{F} \text{ valor comercial}
 \end{aligned}$$

Si se suprimiera el condensador, el retorno del altavoz debería hacerse a través del punto medio de la fuente de alimentación.

El circuito amplificador de potencia de audio en clase B, sin transformador y con dos transistores de potencia del mismo tipo -AC128- se muestra a continuación:

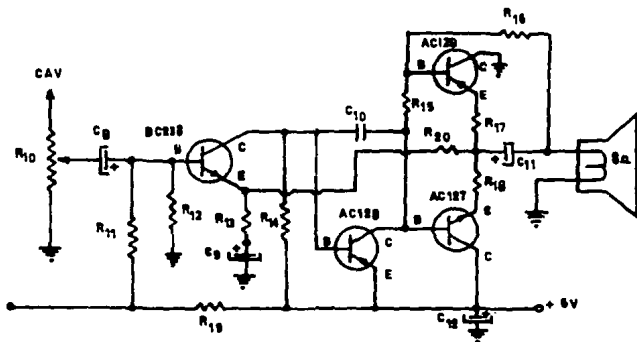


Figura 66 Amplificador de Potencia de Audio sin Transformador

Con objeto de conseguir tamaños más reducidos y más amplia respuesta a la frecuencia, se prefiere cada vez más diseñar los amplificadores de audio y las etapas de salida prescindiendo de transformadores. La conexión en contrafase -push-pull- con unidades con simetría complementaria, permite entradas y salidas uniterminales, no requiere transformador y permite una baja impedancia de carga (8Ω) y una buena respuesta a la frecuencia. El circuito de la figura 66 es un ejemplo de dicha disposición.

El circuito emplea tres etapas, como PREAMPLIFICADOR con el transistor BC238, que alimenta la etapa de ataque en contrafase complementaria con el primer transistor de potencia AC128, que a su vez alimenta la etapa de salida conformada con el otro transistor de potencia AC128 y con el de media potencia AC127.

Las etapas complementarias emplean un transistor PNP y otro tipo NPN para conseguir el funcionamiento en clase B sin el empleo de un INVERSOR DE FASE. Cada transistor conduce durante media alternancia.

Las resistencias utilizadas en este amplificador son de valor bajo, de acuerdo al diseño; porque confieren un alto grado de estabilidad respecto a las variaciones de temperatura.

El preamplificador eleva la señal de entrada de AF a un nivel superior al de RUIDO del circuito siguiente.

8. El Eliminador de Baterías o Rectificador de Onda Completa con Capacitor de Integración

Este circuito es opcional para nuestro proyecto, mas sin embargo, al considerarsele, da lugar a nuestra fuente de alimentación.

Cuando se rectifica una senoide en media onda, la energía que la fuente pudiera suministrar a la carga cuando $V_e < 0$ no se aprovecha. Esta razón es la que motiva la creación de rectificadores de onda completa; es decir, que utilicen toda la senoide de entrada, el circuito típico es como el que se muestra en la figura 67.

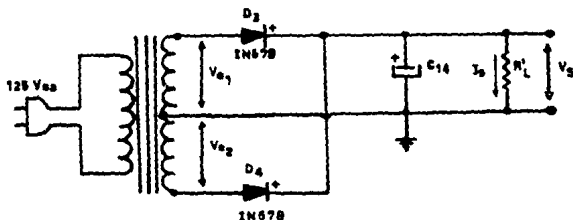


Figura 67 Circuito Rectificador de Onda Completa con Transformador con Derivación Central

Para el rectificador de onda completa de dos diodos, el transformador se diseña para que $V_{e1} = -V_{e2}$, o sea que en magnitud son iguales ~ 6 Vca- pero se encuentran desfasados 180° entre sí. Así, durante el semiciclo positivo de V_{e1} , V_{e2} es negativo, por lo tanto, D_3 conduce y D_4 no conduce y al revés, cuando V_{e1} es negativo, V_{e2} es positivo y entonces D_3 no conduce mientras que D_4 sí conduce; de manera que aunque la entrada sea alterna, la corriente que circula en la carga $-I_s$ - es

siempre en el mismo sentido, observándose las formas de onda siguientes:

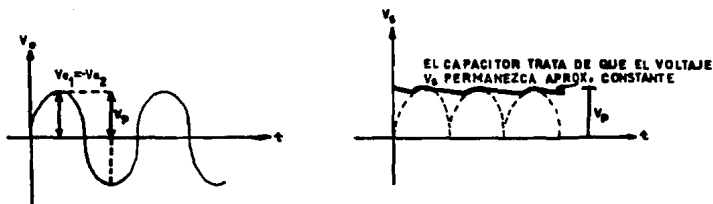


Figura 68 Formas de Onda Observados en un Rectificador de Onda Completa

Un método para reducir las componentes armónicas, es conectar a las terminales de salida, un capacitor $-C_{14}$ - al cual se le denomina capacitor de integración.

En este circuito el capacitor C_{14} se carga a través de los diodos D_3 y D_4 al valor pico $-V_p$ de la señal de entrada $V_e = V_p \text{ Sen}\omega t$, y al disminuir la señal de entrada, el capacitor mantiene su carga porque los diodos están polarizados inversamente.

Se diseña el circuito de manera que la constante de descarga $R_L C$ sea mucho mayor que el periodo de la señal de entrada, para que el voltaje V_s permanezca aproximadamente constante.

El transformador debe tener las siguientes características de alimentación:

Voltaje de entrada en ca: 110 V a 125 V

Voltaje de salida en ca: 12 V de extremo a extremo y 6 V de extremo a derivación central

Frecuencia: 50/60 Hz.

Potencia (máxima): 6 W

• Los diodos D₃ y D₄ ; con capacidades acordes al transformador y a la rectificación de voltaje para el receptor de AM, son el IN678 de silicio. Véase la hoja de datos al final del anexo.

- El capacitor C₁₄ es electrolítico de 1000 μ f a 16 V.

Los datos de funcionamiento del receptor son:

TIPO	Radio portátil de 7 transistores y 2 diodos
------	--

Salida acoplada a RC

ALIMENTACION	6 Volts CD. 125 Volts CA 50/60 Hz.
--------------	---------------------------------------

RANGO DE SINTONIA	530 KHz A 1620 KHz.
-------------------	---------------------

FRECUENCIA CENTRAL	455 KHz.
--------------------	----------

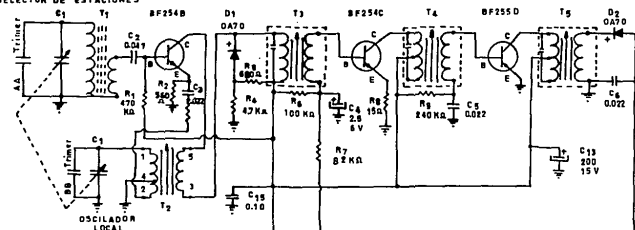
CARGA DE FI	Diodo OA70
-------------	------------

NUMERO DE ETAPAS DEL AMPLIFICADOR DE FI	2
--	---

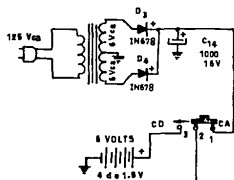
POTENCIA MAXIMA DE SALIDA	2 W
---------------------------	-----

NUMERO DE ETAPAS DEL AMPLIFICADOR DE AUDIO	3
---	---

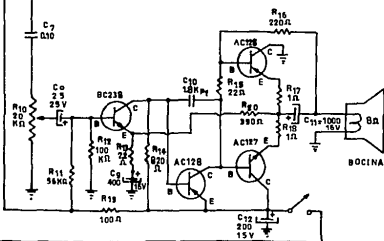
SELECTOR DE ESTACIONES



LOS VOLTAJES SON $\pm 10\%$ SIN SEÑAL



Capacitancia en μF

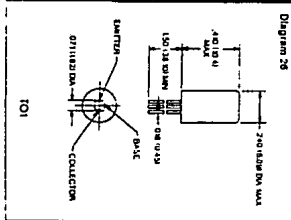
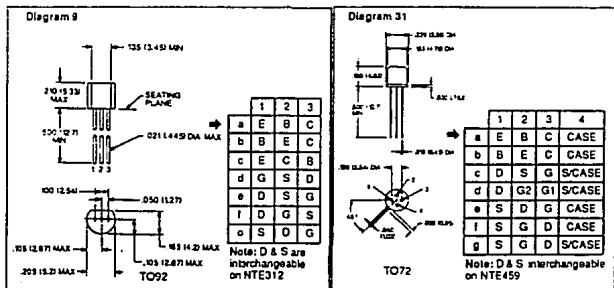


CIRCUITO GENERAL DE UN RECEPTOR SUPERHETERODINO DE A. M.

TRANSISTORS BI-POLAR

Part No.	Polarity and Material	Description and Application	Case Style	Diag. No.	Maximum Breakdown Voltage				Typical Forward Current Gain	Maximum Collector Dissipation (Watts)	Typical Freq. (MHz)
					Maximum Collector Current (Amps)	Collector to Base (Volts)	Collector to Emitter (Volts)	Emitter to Base (Volts)			
AC127	NPN-Ge	Medium Power Amplifier (Compl to NTE102A)	TO1	26	1	32	32 (CES)	10	110	0.65	—
BF254 C	NPN-Si	RF-IF Amp and Osc	TO92	9a	0.05	30	15	2	20 Min	0.625	800
			TO106	29a							
BC23B	NPN-Si	Amp. Audio to VHF Freq., Driver (Compl to NTE159)	TO92	9a	0.5	75	40	6	200	0.625	300 Min.
AC129	PNP-Ge	Audio Power Amp	TO1	26	1	32	32	10	90	1.4	1.5
BF255 D	NPN-Si	VHF-UHF Amp. Mast Osc	TO72	31a	0.05	45	45 (CES)	3	50	0.2	800

DIMENSIONAL OUTLINE DRAWINGS



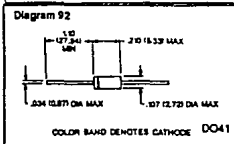
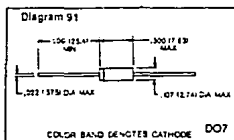
DIODES AND RECTIFIERS GENERAL PURPOSE

Material	Description and Application	Case Style	Diag. No.	Maximum Peak Reverse Voltage (Volts)	Maximum Average Forward Current (Amps)	Max Peak Surge Forward Current (Amps)	Maximum Forward Voltage Drop (Volts)	Reverse Recovery Time (ns)
				$V_{R\max}$	I_F	I_{FSM}	V_F	t_r
Ge	Gen Purp. Fast Switch	DO7	91	100	0.2	0.5	1	-
Si	General Purpose Rectifier	DO41	92	500	1	30	1.1 @ 1A Typ	-

QA70

IN 678

DIMENSIONAL OUTLINE DRAWINGS



APENDICE A

BIOGRAFIAS SELECTAS DE CIENTIFICOS E INVENTORES QUE INTERVINIERON EN EL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS

BARDEEN, John

Físico americano nacido: en Madison, Wisconsin, E.U.A., el 23 de mayo de 1908.

Bardeen se graduó en la Universidad de Wisconsin en 1928 y obtuvo su doctorado bajo la supervisión de Wigner, en la Universidad de Princeton en 1936. Impartió cátedra en la Universidad de Minnesota durante algunos años y posteriormente entró en los laboratorios de la Bell Telephone en 1945. Compartió con Shockley y Brattain la gloria del descubrimiento del transistor y del premio Nobel de Física en 1956. Desde 1951 ha sido profesor de física en la Universidad de Illinois, donde ha estado trabajando sobre la superconductividad.

BELL, Alexander Graham

Inventor escocés americano. Nacido en Edimburgo, Escocia el 3 de marzo de 1847. Muerto en Baddeck, Nueva Escocia, el 2 de agosto de 1922.

Bell nació en una dinastía que se interesaba en los problemas del lenguaje. Sus padres habían estudiado la mecánica del sonido y fue su padre uno de los primeros en enseñar a hablar a los sordomudos.

Entre los años de 1868 y 1870 Alexander trabajó con su padre en el estudio de las palabras y enseñó a los niños sordos de Edimburgo. Dos hermanos suyos murieron de tuberculosis y él mismo estuvo amenazado de correr la misma suerte. Con lo que quedaba de la familia, se trasladaron a Canadá en 1870 en donde mejoró rápidamente su salud.

Al año siguiente fue a Estados Unidos y en 1873 le nombraron profesor de fisiología vocal en la Universidad de Boston. Se enamoró de una alumna sorda, quien le alentó a que se dedicase con más intensidad a sus estudios. Se interesó en la producción mecánica del sonido, basando su trabajo en las teorías de Helmholtz y recibió el aplauso del americano Henry.

Le pareció a Bell que si las vibraciones de ondas sonoras se pudiesen convertir en corriente eléctrica ondulatoria, esa corriente podría otra vez convertirse en ondas sonoras iguales a las originales del otro lado del circuito. De este modo, el sonido podía transportarse por alambres con la velocidad de la luz. Un día que había vertido el ácido de una batería sobre el pantalón, cuando trabajaba con un instrumento proyectado para transportar el sonido, gritó a su ayudante: «por favor, Watson, Ven; te necesito». Watson, al otro lado del circuito, en otro piso, oyó hablar al instrumento y bajó apresuradamente, a pesar suyo, con gran alegría. Fue la primera comunicación telefónica

En 1876 Bell patentó el teléfono. En 1877 se casó y en 1882 se hizo ciudadano americano. Edison descubriría la transmisión con carbón en polvo que transmitiría la electricidad con más o menos intensidad al comprimirse o no por las vibraciones que originaba el sonido. Esto creaba una corriente que se transformaba, a su debido tiempo en ondas sonoras.

El nuevo teléfono fue lo más importante de la exposición que tuvo lugar en Filadelfia en el año de 1876. para celebrar el centésimo aniversario de la Declaración de la Independencia. El científico británico Lord Kelvin se sorprendió gratamente con el invento. Inmediatamente se introdujo el teléfono en América y Bell, a los treinta años, era rico y famoso. Continuó su carrera de inventos, realizando mejoras en el fonógrafo de Edison.

Bell recibió muchos honores en vida y en 1915, cuando se inauguró la primera línea telefónica transcontinental, Bell - en el Este- habló otra vez con su antiguo ayudante Watson, quien estaba en el Oeste. Le repitió lo que le había dicho cuarenta años antes: «Por favor, Watson ven; te necesito», y las palabras no fueron de una habitación a otra sino de costa a costa. En 1950 pusieron una efigie de Bell en la Galería de la Fama de los grandes hombres americanos.

BRATTAIN, Walter Houser

Físico americano nacido en Amoy (actualmente Hsiamen), China, el 10 de febrero de 1902.

Brattain se graduó en la Universidad de Whitman, en Walla, Washington en 1924, y obtuvo su doctorado en la Universidad de Minnesota en 1929. Entró a formar parte del personal de los laboratorios de la Bell Telephone ese mismo año como físico investigador, y en 1956 compartió el premio Nobel de Física, con Shockley y Bardeen.

DE FOREST, Lee

Inventor americano. Nacido en Coucil Bluffs, Iowa, el 26 de agosto de 1873. Murió en Hollywood, California, el 30 de junio de 1961.

De Forest se graduó en la Universidad de Yale en 1896 y obtuvo su doctorado en Física en 1899. Cuando era estudiante se interesó en el nuevo campo de la telegrafía sin hilos, campo abierto por Marconi. En 1901 inventó métodos de acelerar la transmisión de señales sin hilos y su sistema fue usado en 1904 por primera vez para la retransmisión de noticias.

Sin embargo, su gran invento (que había tenido trescientas patentes antes de que se hiciera) fue el triodo. El efecto Edison, que había sido investigado por Fleming y en 1904 sirvió de base para un rectificador. En 1906 De Forest insertó un tercer elemento, llamado rejilla haciendo del instrumento un triodo (tres electrodos) en vez de un diodo

La fuente de electrones se movía desde el filamento a la placa a una velocidad que variaba marcadamente con la carga colocada en la rejilla. Haciendo variar muy débilmente un potencial eléctrico producido en la rejilla podría convertirse en una corriente electrónica que varía de manera similarmente, pero con mucha más fuerza, en la combinación filamento-placa. En las manos de De Forest el instrumento de Fleming se convirtió en un amplificador tanto como un rectificador. Su triodo -audición- siguió siendo indiscutiblemente necesario para la industria electrónica durante una generación hasta que el invento del transistor de Shockley lo dejó en la sombra. De Forest ha sido llamado algunas veces el padre de la radio. Sin embargo, pocos inventos han tenido tantos padres.

EDISON, Thomas Alva

Inventor americano. nacido en Milan, Ohio el 11 de febrero de 1847 Muerto en West Orange, New Jersey, el 18 de octubre de 1931.

Cuando empezó a leer libros de ciencia, hizo experimentos en un laboratorio de química que construyó en su casa. Para sacar dinero para los productos químicos y equipo de laboratorio empezó a trabajar vendiendo periódico. En 1862 aprendió telegrafía y enseguida se hizo el

mejor y el más rápido telegrafista de los Estados Unidos. Después de unos meses decidió convertirse en un inventor profesional.

En Menlo Park mejoró el teléfono, inventado unos cuantos años antes por Alexander Graham Bell, e hizo que su uso fuese práctico. Inventó lo que resultó su invento favorito: el fonógrafo, al colocar un papel de estaño sobre un cilindro, dejando que una aguja flotante la rozase a medida que el cilindro giraba y conectó un receptor que mandaba ondas sonoras a la aguja. Esta, al vibrar, impresionaba una huella ondulatoria en el estaño. Después, al seguir la huella reproducía las ondas sonoras no muy perfectas, pero reconocibles. El invento se fue perfeccionando en todo detalle y el sonido se amplificó electrónicamente, mejorando muchísimo en calidad. No obstante, el principio básico sigue siendo el mismo.

Edison inventó la bombilla el 21 de octubre de 1879, utilizando varios metales y comprobar que se fundían después de ciertas horas de trabajo en vacío, usó un hilo de algodón chamuscado que ardió durante cuarenta horas continuas. La luz eléctrica al fin era una realidad. Al producir electricidad, Edison tuvo conflictos con hombres como Tesla y Westinghouse.

En 1883, en uno de sus experimentos, mientras buscaba cómo mejorar la luz eléctrica, metió un alambre metálico en una bombilla cerca del filamento caliente. Con sorpresa vio que la electricidad fluía desde el filamento caliente al alambre metálico a través del espacio que lo separaba. Edison apuntó esto en su cuaderno, y lo patentó en 1884. No tuvo utilidad inmediata para sus proyectos de modo que lo dejó, pero el efecto Edison fue de gran importancia en la década siguiente, cuando se comprendió su naturaleza eléctrica, gracias a hombres más científicos como J. J. Thompson. Fleming utilizó este efecto y de él surgió la gran industria electrónica, incluyendo la radio, la televisión, etc.

FARADAY, Michael

Físico y químico inglés nacido en Newington, Surrey el 22 de septiembre de 1791. Murió en Hampton Court, cerca de Londres, el 25 de agosto de 1867.

Faraday era uno de los diez hijos de un herrero que se trasladó con su familia a Londres. Es raro encontrar una familia pudiente de clase obrera con diez hijos, así que no hubo ninguna duda respecto a la educación del joven Faraday, quien se hizo aprendiz de un encuadernador siendo éste un golpe de suerte para él, porque tuvo los libros a su al-

cance, que oficialmente sólo le incumbían por el exterior pero no pudo evitar el hojearlos. Su segundo golpe de suerte fue que su patrón sentía simpatía por el deseo que tenía el joven de aprender y le permitía leer los libros y asistir a conferencias científicas.

En 1812 un cliente obsequió a Faraday localidades para asistir a las conferencias de Humphry Davy, en el Royal Institution. El joven Faraday tomó notas que después detalló cuidadosamente con diagramas en color y se las mandó a Banks, presidente de la Royal Society, esperando obtener un empleo que le permitiera tener un contacto más íntimo con la ciencia. Como no tuvo contestación le mandó al mismo Davy otras notas con la petición que le nombrase su ayudante. A Davy esto le impresionó mucho, tanto por la adulación implícita del gesto, como por la evidente habilidad del joven, y aunque de inmediato no le complació, cuando tuvo la primera oportunidad le ofreció un puesto, del cual tomó posesión Faraday en 1813, a la edad de veintidos años, con un sueldo menor que el que había estado percibiendo como encuadernador.

Faraday probó ser más merecedor que su maestro. Virtualmente vivía en y para el laboratorio, no teniendo entonces, ni más tarde, colaboradores o ayudantes, mostrándose Davy amargado y resentido cuando comprobó que su protegido finalmente le eclipsaría, sobre todo cuando Faraday señaló algunos defectos en su invento: la lámpara de seguridad usada por los mineros.

El una vez aprendiz de encuadernador, llegó a ser director del laboratorio en 1825 y en 1833 profesor de Química en el Royal Institution. Realizó estudios en la rama de la Física moderna llamada CRIÓGENES -estudio de bajas temperaturas- que fue causa de otro resentimiento de Davy, porque en los informes que hizo Faraday sobre la licuefacción de gases -según opinión de Davy- no dio debido crédito al trabajo que él había hecho con anterioridad en este mismo campo.

Faraday continuó, además, la gran obra de Davy en electroquímica, al cual le dio el nombre de electrólisis y enunció sus leyes. Estas leyes favorecían enormemente la propuesta que había sugerido Franklin cerca de un siglo antes, de que la corriente eléctrica se componía de partículas. Esta teoría de electricidad corpuscular no progresó, hasta que Arrhenius, medio siglo más tarde, trabajó en ella.

Faraday, como casi todos los científicos contemporáneos, se sorprendió con el experimento de Oersted, que daba a conocer que una corriente eléctrica es capaz de desviar una aguja imantada. Dos años después, en 1821, Faraday ideó un dispositivo que consistía en dos vasijas con mercurio unidas a una batería por unas varillas que entraban en las vasijas de mercurio por el fondo. Los niveles superiores del

mercurio estaban unidos por otra varilla curva de metal, que formando un puente, se introducía en ambos recipientes. De esta forma se completaba un circuito. Un extremo de la varilla puente estaba fijo al recipiente, mientras que la varilla inferior estaba unida a un imán que podía girar alrededor de la varilla fija. En el otro recipiente un imán fijo en la varilla inferior se extendía hacia arriba en el mercurio, mientras que la barra superior terminaba en un alambre que podía girar libremente sobre un gozne alrededor del imán fijo. Cuando Faraday daba paso a la corriente, el alambre móvil empezaba a girar cerca del imán fijo, mientras que el imán móvil lo hacía cerca de la barra fija. De esta manera Faraday convertía con éxito fuerzas eléctricas y magnéticas en movimiento mecánico continuo.

Parece ser que fue en este tiempo cuando estallaron los celos científicos de Davy. Atribuía éste que Faraday se había apropiado de una idea suya para hacer el experimento, escuchando una conversación que él había mantenido con Wollaston. Faraday protestó diciendo que quizá la conversación pudiera haber llamado su atención hacia los experimentos eléctricos, pero que el descubrimiento no tenía nada que ver con la conversación. Verdaderamente, los intentos hechos por Davy y Wollaston, habían fracasado, aceptándose hoy en día que Faraday estaba en lo justo y que su trabajo era original, mismo que dio lugar al motor eléctrico.

Puesto que Oersted había producido atracciones magnéticas de una corriente eléctrica, Faraday deseaba invertir las cosas y generar corriente eléctrica de atracción magnética. Al estar realizando su experimento para producir corriente eléctrica mediante atracciones magnéticas había descubierto el primer transformador, que no funcionaba tan bien como el había esperado.

La educación de Faraday dejaba bastante que desear, desconocía por completo el cálculo matemático - quizá el científico más grande de la historia de quien se puede decir esto-, cosa que compensó con una enorme habilidad para diseñar gráficos, quizá única en la historia científica.

Descubrió las líneas de fuerza al esparcir limaduras de hierro sobre un papel bajo el cual había colocado un imán; comprobó que formaban diseños regulares cuando se golpeaba el papel. Por procedimientos análogos, fue posible conocer las líneas de fuerza que formaban los alambres, las varillas magnéticas, las herraduras magnéticas y también los globos magnéticos -tales como la Tierra-. Esto fue el principio de una descripción del universo como compuesto de campos de varios tipos. Esta descripción era más sutil, más flexible y más útil que la puramente mecánica de Galileo y Newton. Este campo magnético iba a ser reco-

nocido por Maxwell medio siglo más tarde y por Einstein después de un intervalo de otro medio siglo. La imaginación diseñadora pero no matemática de Faraday, hizo visibles estas líneas como si fuesen reales.

Su teoría de las líneas de fuerza no se tomó muy en serio al principio -la publicó en 1844-, pero cuando Maxwell se ocupó del electromagnetismo, basándose en los hechos con precisión matemática, iría a desembocar en los mismos resultados que Faraday había planteado con simples palabras.

Faraday no deseaba crear un campo magnético partiendo de la corriente eléctrica, lo que él quería era que un campo magnético originase una corriente eléctrica. Para esto hizo girar una rueda de cobre de tal modo que el borde pasase entre los polos de un imán permanente, produciéndose entonces corriente eléctrica en el disco de cobre, fluyendo esta corriente tanto tiempo como estuviere girando la rueda. Esta corriente podía desviarse al exterior y hacer que efectuase un trabajo, inventando de este modo Faraday el primer generador eléctrico, hecho que tuvo lugar en 1831, siendo probablemente el descubrimiento eléctrico individual más grande de la historia.

Se necesitaba solamente instalar una máquina de vapor o la fuerza de agua, para hacer girar el disco de cobre; de esta manera se podía convertir en electricidad la energía del combustible o la caída del agua. Hasta la época de Faraday, la única fuente de corriente eléctrica era la batería química, que era cara y que producía electricidad en pequeña escala.

Años más tarde Faraday hizo más descubrimientos relacionados con el electromagnetismo y su acción recíproca con la luz. Fallándole la memoria, se retiró del laboratorio, rehusando trabajar cuando no confiaba plenamente en sí mismo, no admitiendo ayudantes.

Cuando Tyndall finalmente le ofreció la presidencia de la Royal Society, Faraday declinó tal honor y lo mismo hizo cuando tuvo el ofrecimiento de ser nombrado Caballero; estaba decidido a ser simplemente Michael Faraday. En vida pidió ser enterrado bajo una lápida de lo más sencilla, cosa que se cumplió. Su gran monumento, sin duda, es el mundo electrificado y comunicado -comunicación inalámbrica- de nuestro tiempo.

FLEMING, John Ambrose

Ingeniero eléctrico inglés. Nacido en Lancaster, Lancashire, el 29 de noviembre de 1849 y muerto en Sidmouth, Devonshire, el 19 de abril de 1945.

Entro en 1877 en Cambridge y trabajó para Maxwell, repitiendo los experimentos eléctricos de Cavendish, los cuales Maxwell había descubierto recientemente. En los años de 1880 sirvió como asesor de Edison en relación con la industria de la luz eléctrica, y en los años de 1890 trabajó con Marconi.

Se ocupó del efecto de Edison (el paso de electricidad de un filamento caliente a una placa fría dentro de una bombilla) y encontró que era debido a que pasaban los electrones (recientemente descubiertos) que saltaban del filamento caliente.

Los electrones sólo pasaban cuando la placa estaba unida a un terminal positivo de un generador, porque atraía a la carga negativa del electrón. Esto quería decir que en corriente alterna (donde la carga de la placa se desvía continuamente de negativo a positivo, como la carga del filamento se desvía del positivo al negativo) la corriente pasaba solamente la mitad del tiempo con el filamento negativo y la placa positiva y no en la otra mitad. La corriente alterna entraba en el invento, y salía corriente constante. En 1904 había así descubierto un rectificador -DIODO- al que dio el nombre de válvula porque abría el paso de la corriente en una dirección y la cerraba por el otro. La aportación de De Forest de una rejilla transformaba el tubo en un amplificador, así como en un rectificador, fue el toque final que se necesitaba para hacer prácticos a los aparatos eléctricos.

FRANKLIN, Benjamin

Estadista y científico americano. Nació en Boston, Massachusetts el 17 de enero de 1706 y murió en Filadelfia, Pensilvania, el 17 de abril de 1790.

Benjamin Franklin, hijo número quince de una familia de 17 hermanos, fue escritor, impresor, político, diplomático y científico, y era un fenómeno del Nuevo Mundo del Siglo XVIII. Fue el único americano de la época colonial que alcanzó fama en Europa. Es más conocido por los americanos como uno de los fundadores de la nación; sin embargo, su fama en Europa, por lo menos en su época, es la de un filósofo natural.

La electricidad estática se había convertido en algo fascinante en ese siglo. Muchos científicos experimentaban con vasos de Leyden, y Franklin era uno de ellos. Observó la chispa luminosa y el crujido y consideró la posibilidad de que fueran diminutos rayos y truenos. Acaso, viéndolo desde otro punto de vista, ¿no podían ser los majestuosos rayos y truenos del cielo un intercambio de electricidad entre la Tierra y el cielo que hacían de partes de un gigantesco vaso de Leyden?

Franklin decidió probar un experimento, el cual lo haría inmortal de una manera espectacular. Voló una cometa durante una tormenta en 1752 que tenía un alambre de punta en su extremo superior, la enganchó con hilo de seda que se cargaría con la electricidad que hubiera por arriba, suponiendo que la hubiera en alguna parte. En plena tormenta Franklin acercó la mano a la llave (metálica) a la que estaba atado el hilo de seda y saltó una chispa del mismo modo que ocurría en el vaso de Leyden. La cometa de Franklin <<electrizó>> el mundo científico y por ello le hicieron miembro de la Royal Society.

Franklin tuvo una suerte tremenda, dado el peligro que representaba su experimento, prueba de ello son las dos víctimas que causó en los dos científicos que lo intentaron inmediatamente después. Descubrió el pararrayos al observar que el vaso de Leyden se descargaba mucho más rápidamente a través de mayores espacios de aire si se acercaba un objeto puntiagudo. Parecía que esta punta atraía a la electricidad, por lo que sugirió que se debían colocar en los techos de las casas varillas con punta de metal que se conectaran a tierra. Tales objetos descargarían las nubes rápidamente, con lo que se alejaba el peligro de los edificios.

GILBERT, William

Físico y médico inglés. Nacido: en Colchester, Essex, el 24 de mayo de 1544. Muerto: en Londres o Colchester, el 10 de diciembre de 1603.

Gilbert fue médico de profesión, quien obtuvo su título en Cambridge y viajó luego por Europa. En 1601 lo nombraron médico de la corte de la Reina Isabel I. El año anterior publicó su libro "De Magnete" - (<<Del Magnetismo>>) - que lo acreditó como físico. Gilbert demostró cómo la aguja imantada no sólo servía para indicar la dirección Norte-Sur, sino que además si se suspendía de manera que tuviera libertad para colocarse en sentido vertical, apuntaba siempre a la tierra (inclinación magnética). Por ser Gilbert el pionero en el es-

tudio del magnetismo, la fuerza magnetomotriz se mide hoy en unidades llamadas <<gilberts>>. Fue el primer inglés que aceptó las ideas de Copérnico. Estudió también otras fuerzas de atracción del Universo. Se sabía desde la antigüedad que al frotar ámbar, éste adquiría el poder de atraer objetos pocos pesados. Esto difería del magnetismo en cuanto a que éste implicaba la presencia del hierro solamente, mientras que con el ámbar servía cualquier objeto ligero.

Gilbert amplió los conocimientos en esta materia al descubrir que además del ámbar, el cristal de roca y algunas gemas presentaban la misma propiedad al frotarlas. Agrupó todas estas sustancias bajo el nombre de <<eléctricas>>, del griego electrón, que significa ámbar.

HERTZ, Heinrich Rudolf

Físico alemán. Nacido: En Hamburgo, el 22 de febrero de 1857. Muerto: En Bonn, el 10. de enero de 1894.

Después de empezar estudios de ingeniería, Hertz los dejó por la física. Fue alumno de Helmholtz y Kirchhoff. Cuando trabajaba en la Universidad de Keil en 1883, se interesó en la ecuación que gobierna el campo electromagnético, misma que había conseguido Maxwell recientemente fallecido. La Academia de Ciencias de Berlín ofreció un premio por un cierto trabajo relacionado con el campo magnético. Hertz se puso a trabajar; había montado un circuito eléctrico oscilante, moviéndose entre dos esferas metálicas separadas por un espacio de aire. Cada vez que el potencial alcanzaba un máximo en una dirección u otra, saltaba una chispa entre las esferas. (Durante estos experimentos notó que cuando brillaba la luz violeta en el terminal negativo, la chispa saltaba más fácilmente). No continuó con esto, aunque fue el primer conocimiento del efecto fotoeléctrico que explicaría una generación más tarde Einstein. Con la chispa oscilante, la ecuación de Maxwell predecía que se podrían generar radiaciones electromagnéticas. Cada oscilación debía producir una onda, de modo que la radiación sería de una longitud de onda extremadamente larga.

Hertz utilizó como dispositivo para descubrir la presencia posible de tal radiación, un simple alambre enrollado con un pequeño espacio de aire entre las espiras. Cuando la corriente originaba radiación en la primera espiral, ésta originaba corriente en la segunda. Hertz descubrió pequeñas chispas que saltaban por los espacios de aire en su espiral detectora. Se las arregló para demostrar que estas ondas implicaban un campo eléctrico y magnético; por lo tanto, eran de naturaleza electromagnética. De este modo comprobó la utilidad de la ecuación de

Maxwell. Marconi inventó un medio práctico para utilizar estas ondas en la telegrafía sin hilos, les dieron el nombre de ondas de radio (telégrafo por medio de radiación, que es opuesto al telégrafo por corriente eléctrica).

En 1889, Hertz trabajó con rayos catódicos, que él creía que eran ondulatorios, y no corpusculares, porque penetraban finas películas metálicas y le parecía que las partículas no podrían realizar esto. Si hubiese vivido más tiempo habría visto que la radio se convertía en un factor importante de la sociedad humana. Ni tampoco presencié el descubrimiento de Thompson del electrón, que es una partícula más pequeña que el átomo, por ello podría penetrar fácilmente la materia.

LANGMUIR, Irving

Químico americano. nacido: En Brooklyn, Nueva York, el 31 de enero de 1881. Muerto: en Palmouth, Massachusetts, el 16 de agosto de 1957.

Langmuir obtuvo su título de ingeniero metalúrgico en la Universidad de Columbia en 1903, y en 1906 el doctorado de Química en la Universidad de Gotinga en Alemania. Después de volver a los Estados Unidos, Langmuir trabajó en la General Electric en Nueva York, en 1909 y se retiró en 1950.

En la General Electric su primer trabajo fue alargar la vida de las bombillas, que era muy corta por aquel entonces. Los estudios de Langmuir demostraron que en el vacío los átomos de tungsteno se evaporaban lentamente del hilo metálico cuando la temperatura llegaba a calentar el metal al blanco, dentro de la bombilla. El hilo se hacía cada vez más delgado hasta que finalmente se rompía. La proporción de la evaporación disminuía con la presencia de un gas -uno que naturalmente no se combinara con el tungsteno-. A partir de entonces, las bombillas se llenaron con nitrógeno y más tarde con argón, todavía menos activo y su duración se multiplicó. Su interés en producir el vacío dentro de las viejas bombillas eléctricas le llevó a descubrir métodos para producir tubos de alto vacío, que resultaron ser esenciales para las emisoras de radio.

Por sus trabajos conectados con la química de las superficies, Langmuir recibió el premio Nobel de Química en 1932, siendo el primer científico industrial americano en recibirlo.

LODGE, Oliver Joseph

Físico inglés. Nacido: en Penkhill, Staffordshire, el 12 de junio de 1851. Muerto: en Amesbury, Wiltshire, el 22 de agosto de 1940.

En 1881 nombraron a Lodge profesor de la Universidad de Liverpool. En el año de 1890 se interesó en las radiaciones electromagnéticas y realizó experimentos similares a los de Hertz y Marconi. Estos ensayos le convirtieron en precursor de la radiocomunicación. Le hicieron Caballero en 1902 por el trabajo hecho en este campo. Tenía una inteligencia muy lúcida y en el año de 1900 se convirtió en un paladín de las teorías nuevas y radicales de la estructura atómica, enunciada por jóvenes como Rutherford y Soddy. Después del año 1910 esa inteligencia le llevó a realizar intentos por los que quería reconciliar las divergencias aparentes entre ciencia y religión. Esto, a su vez, lo condujo a la creencia de la posible comunicación con los muertos, con la esperanza de comunicarse con un hijo que había muerto en la Primera Guerra Mundial. Se convirtió en un gafa de la <<investigación física>>. Es el primer ejemplo de un científico serio involucrado en un campo que es generalmente del dominio de los charlatanes.

MARCONI, Guglielmo

Ingeniero eléctrico italiano. Nacido: en Bolonia, el 25 de abril de 1874. Muerto: en Roma, el 20 de julio de 1937.

En 1894 llegó a sus manos un artículo sobre ondas electromagnéticas descubiertas ocho años antes por Hertz, y se le ocurrió que podrían usarse para señalizaciones. Hizo uso del método de Hertz de producción de ondas de radio y de un invento llamado cohesor para detectarlas. El cohesor consistía en un recipiente de virutas de metal poco apretadas entre sí, que ordinariamente conducían poca corriente, pero sí algo cuando eran incididas por ondas de radio. De esta manera las ondas de radio podían convertirse en una corriente eléctrica que era posible detectar fácilmente.

Gradualmente Marconi mejoró sus instrumentos conectando a tierra tanto el transmisor como el receptor y usando un hilo aislado de la tierra que servía de antena o de parte aérea para facilitar tanto la emisión como la recepción. En el uso de la antena fue anticipado por Popoff.

En 1901 Marconi alcanzó el desenlace de su trabajo. Sus experimentos le habían ya convencido de que las ondas hertzianas seguirían la

curva de la Tierra en lugar de radiar en línea recta como se esperaba que lo hicieran las ondas electromagnéticas. En esta fecha se indica la invención de la radio, aunque todavía era sólo útil para enviar señales en Morse. En 1909 Marconi compartió el premio Nobel de Física con Braun. La radio empezó a ser usada como el medio principal de distracción pública hasta que una generación más tarde fue reemplazada ampliamente por la televisión.

MAXWELL, James Clerk

Matemático y físico escocés. Nacido: en Edimburgo, el 13 de noviembre de 1831. Muerto: en Cambridge, Inglaterra, el 5 de noviembre de 1879.

A los quince años contribuyó, con un trabajo original: el diseño de las curvas ovaladas, a la Royal Society de Edimburgo. Estaba tan bien hecho este trabajo que muchos se negaron a creer que fuera hecho por un muchacho. En la Universidad de Cambridge, a donde ingresó en 1850, se graduó siendo segundo de su clase de matemáticas, como Kelvin lo había sido antes que él y J. J. Thomson lo sería después. El primero fue un notable matemático, pero no alcanzó nunca la fama de Maxwell. Hizo su contribución más importante a la astronomía en relación con los anillos de Saturno. Trabajó en la teoría cinética de los gases junto con Boltzmann.

El trabajo más importante de Maxwell se efectuó entre 1864 y 1873, cuando dio forma matemática a las especulaciones de Faraday, respecto a las líneas de fuerzas magnéticas. Al Hacerlo, Maxwell pudo conseguir unas cuantas ecuaciones simples que expresaban todos los fenómenos variados de electricidad y magnetismo, y las unió de una manera indisoluble. Su teoría demostraba que la electricidad y el magnetismo no podían existir aisladamente; donde está una, allí está el otro; por lo tanto, se hace referencia a su obra, generalmente, como la teoría del electromagnetismo, de gran uso en la radio, la televisión, el radar, etc.

MORSE, Samuel Finley Breese

Inventor y artista americano. Nacido: en Charlestown -ahora parte de Boston-, Massachusetts, el 27 de abril de 1791. Muerto: en Nueva York, el 2 de abril de 1872.

Morse se graduó en Yale en 1810 y se fue a Inglaterra para estudiar arte. Permaneció allí durante la guerra de 1812, cosa que en aquellos tiempos tan fáciles parecía no molestar a nadie.

En su país adquirió fama de muy buen artista, pero sin dinero. Ingresó a la política sin éxito, como miembro de un partido nacional americano -grupo fanático de anticatólicos y antiinmigrantes-. Durante los años de 1830 se aficionó a los experimentos eléctricos, por obra de C. T. Jackson, un pasajero amigo en un viaje oceánico, y decidió construir un telégrafo eléctrico, cosa que no pudo hacer por tener pocos conocimientos de electricidad. Accidentalmente conoció a Henry -la unidad de autoinducción lleva su nombre henrio-, que le ayudó sin limitaciones y dio contestación a todas sus preguntas. Empezó Morse a conseguir ayuda para la construcción del telégrafo. Aquí desplegó un talento real como hombre tenaz y con una determinación de gran calibre. Se las arregló para persuadir y conseguir de un Congreso muy mal dispuesto a su favor, que le adjudicase 30,000 dólares para construir una línea telegráfica sobre una extensión de 40 millas, entre Baltimore y Washington. Se construyó y funcionó en 1844. El primer mensaje de Morse fue <<¿Qué ha trabajado Dios?>>, que envió en una clave de puntos y rayas, invención suya y que todavía se llama <<Código Morse>>.

Morse demostró tener mezquindad de espíritu, porque nunca reconoció la ayuda de Henry y durante un pleito muy prolongado que tuvo con Jackson sobre la prioridad del invento, trató de mantener que Henry nunca le había ayudado. Cuando Henry atestiguó en el juicio, pudo fácilmente probar lo contrario. Durante la Guerra Civil, aunque Morse era del Norte, simpatizaba con los del Sur por sus principios raciales y su creencia que era justificada la esclavitud del negro. Sin embargo, cuando se abrió en 1900 el Hall of Fame para los americanos notables, en la Universidad de Nueva York, hicieron miembro a Morse, mientras que el auténticamente gran americano Henry, no fue elegido sino hasta 1915.

POPOFF, Alexander Stepanovich

Físico ruso. Nacido: en Bogoslavsky, Perm, el 16 de marzo de 1859. Muerto: en San Petersburgo, el 13 de enero de 1905.

Popoff, hijo de un sacerdote, tenía planes para dedicarse él mismo al sacerdocio, pero cambió de idea, dedicándose a las matemáticas. Se graduó en la Universidad de San Petersburgo en 1883, y durante un tiempo fue profesor en ella. Como Marconi reconoció la importancia del

descubrimiento de Hertz de las ondas de radio y empezó a estudiar métodos para su recepción a larga distancia un año antes de que lo hiciera Marconi. Fue el primero en usar una antena y en 1897 pudo enviar una señal desde un barco a la orilla a tres millas de distancia. Durante los años siguientes, Popoff se las arregló para persuadir a la marina rusa de empezar la instalación de un equipo de radio en sus navíos. Sin embargo, Popoff estaba principalmente interesado en usar su receptor de señales para captar ráfagas luminosas en conexión con sus estudios de la física de las tormentas, y fue Marconi el que se decidió a dar el salto crucial de la comercialización de las señales de radio y el de enviarlas a través del océano. La Unión Soviética -ahora llamada Unión de Estados Independientes-, en un momento de fervor nacionalista insistió en que fue Popoff el que inventó la radio. Aunque la Unión Soviética defiende un triste caso, no es tan triste como lo presenta el fervor nacionalista de las naciones opuestas a la Unión Soviética.

SHOCKLEY, William Bradford

Físico Inglés-americano. Nacido: en Londres, Inglaterra, el 31 de febrero de 1910.

Shockley se graduó en el California Institute of Technology en 1932 y obtuvo su doctorado en el Massachusetts Institute of Technology en 1936. En el último año entró a formar parte del personal técnico de los laboratorios de la Bell Telephone.

Allí, Shockley y sus colaboradores, Bardeen y Brattain, llegaron a un hecho interesante en el curso de sus investigaciones. Durante mucho tiempo se había sabido que ciertos cristales podían actuar como rectificadores; es decir, permitían el paso de corriente en una dirección pero no en la opuesta. La corriente alterna que pasara a través de dichos cristales era rectificada y sólo las oleadas que pasaban en una dirección se transmitían, de modo que lo que resultaba era una corriente continua variable.

Si los aparatos de radio funcionan con corriente alterna, se necesitan este tipo de rectificadores. Primeramente se usaron cristales con este propósito y, por lo tanto, a los aparatos de radio primitivo se les conoce con el nombre de <<radios de galena>>. El desarrollo de los tubos de radio, gracias a Fleming y a De Forest, dieron lugar a rectificadores mucho más eficientes y menos complicados y los cristales pasaron de moda.

Se dio un giro total y Shockley descubrió que los cristales de germanio contenían trazas de ciertas impurezas que eran rectificadores mucho mejores que los cristales utilizados una generación antes y que además tenían ventajas concretas sobre los tubos usados hasta entonces. Las impurezas contribuían bien con electrones adicionales que no cabían dentro de la red de la estructura cristalina y que se dirigían hacia el electrodo positivo cuando se les sometía a un potencial eléctrico -pero no hacia el negativo-, o bien las impurezas eran deficientes en electrones, de modo que el <<agujero>> donde el electrón debería estar se dirigía hacia el electrodo negativo bajo la acción de un potencial -pero no hacia el positivo-. En cualquier caso, la corriente pasaría únicamente en una dirección.

En 1948 Shockley descubrió como combinar los <<rectificadores de estado sólido>> de estos dos tipos, de modo que fuera posible no sólo rectificar sino también amplificar una corriente, en definitiva, que hicieran todo lo que los tubos de radio podían hacer. El invento recibió el nombre de transistor, puesto que transfería -TRANSFER- la corriente a través de una resistencia -RESISTOR-.

Durante los años cincuenta, cuando se estandarizaron las técnicas para la fabricación de transistores, el producto se hizo más uniforme y fidedigno, empezó a reemplazar a los aparatos de radio, ya que eran mucho más pequeños que éstos, cuyo tamaño no podía reducirse y que además no podían funcionar sin un calentamiento preliminar -los transistores al revés que los filamentos situados en el interior de los aparatos de radio, no tienen que alcanzar una cierta temperatura para ponerse en marcha-.

Los computadores gigantes después de haberse <<transistorizado>> disminuyeron también drásticamente de tamaño. Este proceso de miniaturización cobró gran impulso a través de la segunda mitad de los años cincuenta a causa de la necesidad de llenar a los satélites artificiales con el mayor número posible de instrumentos, cuya masa debería reducirse al mínimo si se querían lanzar al espacio sin llegar a gastos prohibitivos de carburante y energía.

El descubrimiento y desarrollo de los inventos que hacen uso de pequeñas corrientes eléctricas dentro de semiconductores sólidos -sus-tancias que, como el germanio y la silicón, producen la electricidad mejor que los verdaderos aislantes como el cristal o el azufre, pero tan bien como los verdaderos conductores, como los metales- ha abierto el campo de la <<física del estado sólido>>. Los inventos termoeléctricos que se están desarrollando tienen la característica de que el calor se convierte directamente en electricidad y las baterías solares en las cuales la radiación del Sol se convierte directamente en elec-

tricidad.

Shockley, Bardeen y Brattain recibieron el premio Nobel de Física de 1956 por su descubrimiento del transistor. En 1955 Shockley fue nombrado director de investigación del Weapons System Evaluation Group en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y en 1963 fue nombrado profesor de Ingeniería en la Universidad de Stanford.

TALES DE MILETO

Filósofo griego. Nacido: en Mileto (en la costa occidental de lo que es actualmente Turquía), hacia el año 640 a.C. Muerto: en Mileto, en el año 546 a.C.

Los griegos posteriores consideraron a Tales como el fundador de la ciencia griega, matemáticas y filosofía, atribuyéndosele el origen de casi todas las ramas del conocimiento. Es muy difícil decir cuánto de todos estos son adornos posteriores.

Se cree que nació de madre fenicia, aunque algunos lo dudan. Quizá lo único que quiera significar la leyenda es que fue educado en la ciencia oriental. Sin duda visitó Egipto y probablemente Babilonia. Aseguró su reputación al predecir un eclipse de Sol, que tuvo lugar en el año que lo predijo. Sin embargo, la hazaña de Tales no resultó tan milagrosa si consideramos que los babilonios habían descubierto métodos para la predicción exacta de eclipses por lo menos dos siglos antes que él. Tales tomó prestada la geometría de los egipcios, pero fue en ella donde dió un avance fundamental. Inventó la matemática deductiva, que sería sistematizada y pulida por Euclides, dos siglos y medio más tarde.

En las ciencias físicas, fue el primero en estudiar el magnetismo pero aún más importante fue quien se preguntó ¿De qué está hecho el Universo? Tales, además de ser un filósofo era, según la tradición posterior, un hombre práctico de negocios. Se dice que Tales, molesto por las burlas como consecuencia de que al ser tan sabio, era raro que no fuera rico, se dedicó tranquilamente a comprar las prensas de la aceituna que había en Mileto y a adquirir tierras precisamente en el año en el que sus conocimientos sobre el tiempo aseguraban como bueno para la cosecha de la aceituna. Monopolizando los precios para el uso de las prensas se hizo rico en un año. Entonces, después de haber demostrado su capacidad, abandonó los negocios, volviendo al mundo del intelecto.

TESLA, Nikola

Ingeniero eléctrico croata-americano. Nacido: en Smiljan, Croacia- entonces parte del Imperio Austro-Húngaro, ahora parte de Yugoslavia-, el 9 de julio de 1856. Muerto: en Nueva York, el 7 de enero de 1943.

Tesla empezó su carrera en Hungría. En 1884 emigró a los Estados Unidos y por algún tiempo se asoció con Edison, quien de modo dictatorial se retractó de la promesa de pagarle una suma de dinero por un invento particular. Tesla deshizo la colaboración y se dedicó a la invención solo. Hay que mencionar que Tesla era un hombre extraño, seriamente neurótico y casi imposible de no ofender. Más adelante crió palomas, a las que prodigó todo el afecto que era incapaz de prodigar a las personas-. Como inventor no era de la categoría de Edison -nadie lo fue-.

La gran dificultad de la industria de la electricidad a finales del Siglo XIX era transportar la electricidad por alambres sin demasiada pérdida. Se halló que con alto voltaje se podía transportar con eficacia. Tesla logró transformadores que podían elevar el voltaje para el transporte y después reducirlo para utilizar la electricidad en su destino. Los transformadores sólo iban bien para corriente alterna, de modo que tuvo que inventar motores para utilizarla. Entre tanto, Edison se entregaba completamente al uso de la corriente continua, y como siempre quiso tener razón le fue penoso el equivocarse y luchó contra el uso de la corriente alterna sin escrúpulos. Primero se las arregló para que el estado de Nueva York adoptase la corriente alterna para la silla eléctrica, inventada por él recientemente -que realmente es más eficaz para electrocutar que la corriente continua-, y después la señaló con horror como un ejemplo mortal de esa corriente. Tesla con sufrida amargura, luchó contra él en términos tan duros y buscó la ayuda del inventor y negociante George Westinghouse; al fin, triunfó el eficaz transporte de la corriente alterna y el prestigio de Edison se vio un poco mermado. En 1912 hubo la intención de conceder el premio Nobel de Física conjuntamente a Tesla y a Edison, pero Tesla rehusó el estar asociado con Edison y el premio recayó en un inventor suco de menor mérito que los dos.

THOMSON, Joseph John

Físico inglés. Nacido: en Cheetham Hall, cerca de Manchester, el 18 de diciembre de 1856. Muerto: en Cambridge, el 30 de agosto de 1940.

Thomson entró en la escuela de Manchester a los catorce años para empezar ingeniería pero se interesó en la física. En 1876 entró a la Universidad de Cambridge con una beca y allí permaneció durante el resto de su vida. Terminó su carrera como segundo en matemáticas y en 1884, a los 20 años, sucedió a Rayleigh cuando este se retiró, como profesor de física. Dirigió el laboratorio Cavendish y, debido en gran parte a su dirección e inspirada enseñanza es por lo que Inglaterra mantuvo su predominio en el campo de la física subatómica durante los primeros treinta años de este siglo.

Thomson se interesó inicialmente en la teoría de radiaciones electromagnéticas de Maxwell, que lo condujeron a los rayos catódicos, que era una nueva forma de radiación y que no tenía carácter electromagnético. Thomson utilizó tubos en los que había hecho un vacío lo más perfecto posible y pudo demostrar en 1897 la desviación de los rayos catódicos por un campo eléctrico. Desde entonces se aceptaron los rayos catódicos como partículas cargadas negativamente, había descubierto el campo de las partículas subatómicas al medir la relación que existía entre la carga y la masa de las partículas de los rayos catódicos.

Estas partículas se aceptaron como unidades de la corriente eléctrica. El nombre que había propuesto Stoney para la unidad hipotética de electricidad era electrón, y Lorentz la aplicó a las partículas. Puesto que fue Thomson el que realizó la prueba final de la existencia de tales partículas en los rayos catódicos y que fue el primero que demostró su tamaño subatómico - $1/1837$ parte del átomo -, es a quien se le considera como descubridor del electrón.

Thomson contemplaba al electrón como el componente universal de la materia y fue uno de los primeros en indicar una teoría para la estructura interna del átomo. Creía que el átomo era como una esfera de electricidad positiva y que los electrones cargados negativamente estaban encajados en ella, en cantidad suficiente para neutralizar la carga positiva. Esta teoría, buena para empezar, se reemplazó enseguida por una más útil que enunció Rutherford, alumno de Thomson.

En 1906 recompensaron a Thomson con el premio Nobel de Física por su trabajo sobre el electrón y en 1908 le hicieron Caballero. Posteriormente, nada menos que siete de sus alumnos iban a alcanzar el premio Nobel. Realizó estudios en las variaciones de átomos de un elemento que se diferenciaban por su masa, llamados ahora como isótopos.

Aston, discípulo de Thomson, iba a proseguir en esta investigación y demostrar su existencia.

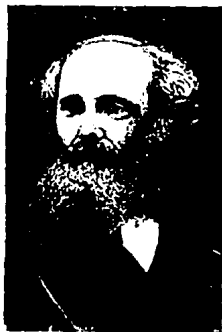
Thomson murió la víspera de la batalla de Inglaterra, cuando la suerte inglesa parecía peor que en cualquier época de la historia. Le enterraron en la abadía de Westminster, cerca de los restos de Newton.



Marconi



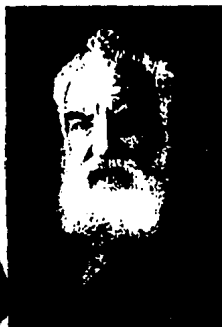
Popov



Maxwell



Hertz



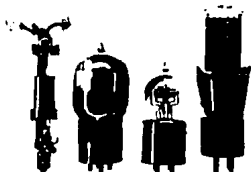
Bell



Samuel Morse



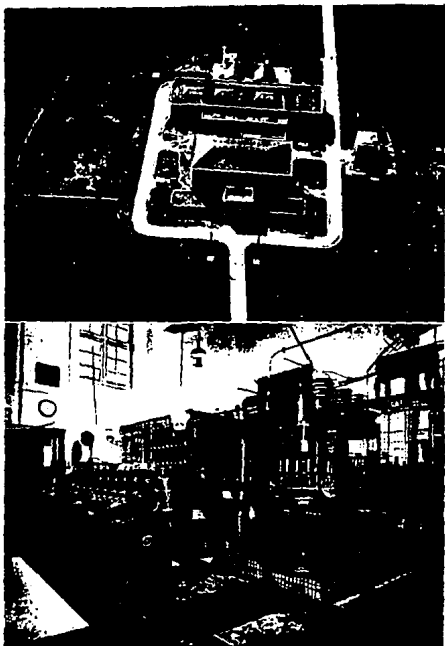
LEE DE FOREST



se ve a Lee de Forest con el transmisor que empleó en 1906 para difundir la voz del famoso tenor Enrico Caruso.

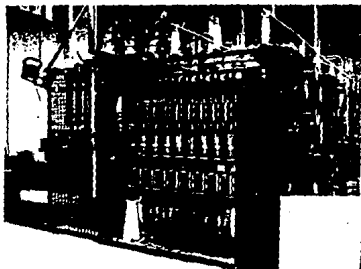
El "audion" de tres elementos, de Lee de Forest, presentado aquí en cuatro versiones hizo realidad la transmisión inalámbrica a larga distancia de la voz y la música.

APENDICE B
LAMINAS SELECTAS



Arriba: Edificios del transmisor de onda larga de Rugby, visto desde uno de los mástiles de 250 metros de altura.

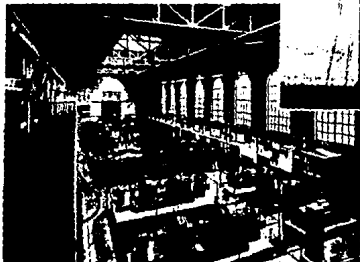
Abajo: Transmisor telefónico de onda larga de Rugby y mesa de control.

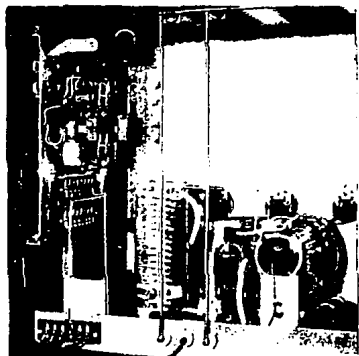


Estación transmisora de onda
larga de Rugby.

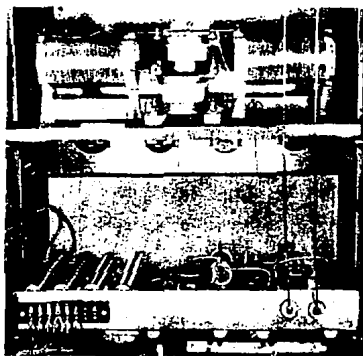
Arriba: Parte del equipo, con sus válvulas trans-
misoras.

A la derecha: Uno de los mástiles de 250 metros.
Abajo: Planta de luz y fuerza, para el transmisor
de onda larga.

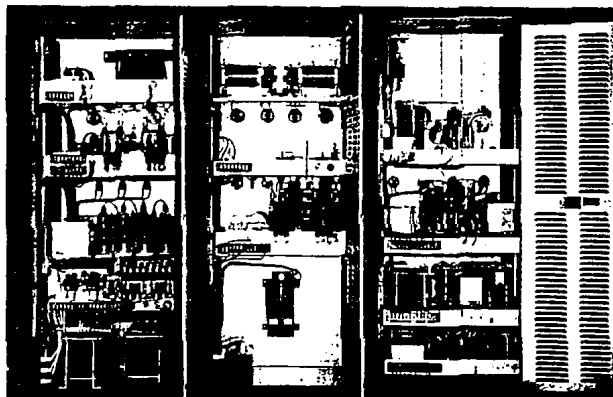




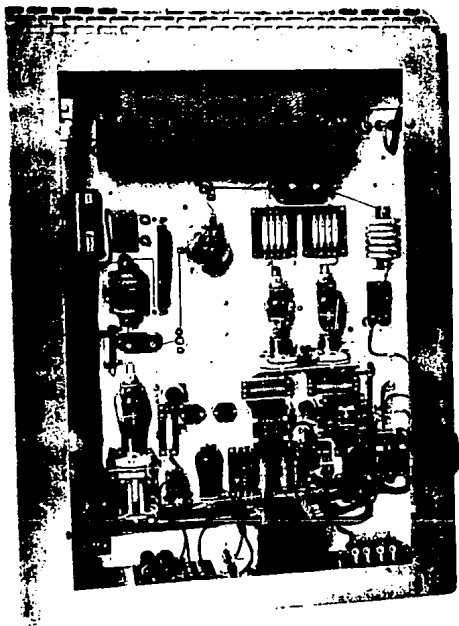
Circuito de excitación.



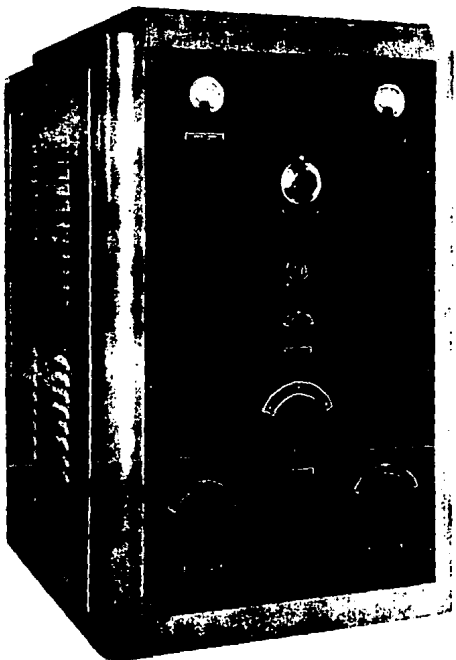
Circuito de antena.



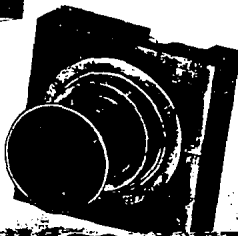
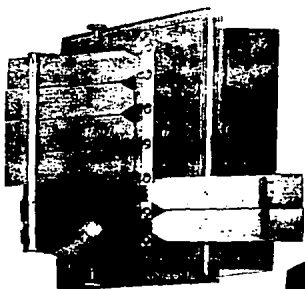
Equipo transmisor de 1000 watts.



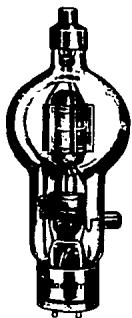
Vista interna del transmisor de comunicaciones de onda larga de 150 w.



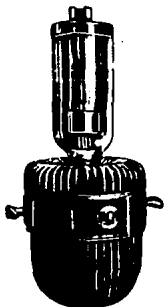
Transmisor de comunicaciones de onda larga de 150 w.



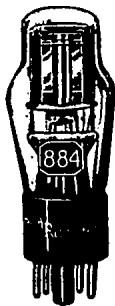
Transmisor de resistencia variable de 1 lb/cm.
Este transmisor se utilizó en su totalidad en la causa de su elevada sensibilidad.



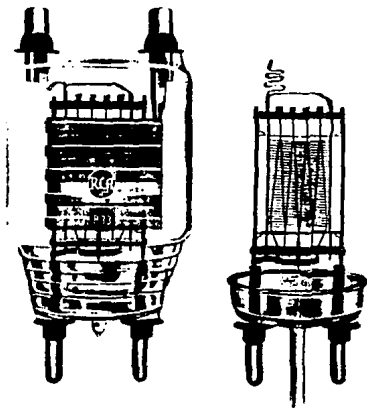
Válvula trans-misora.



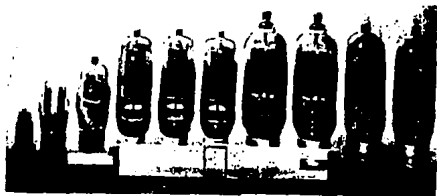
Válvula de poder com
enfriamento a ar.



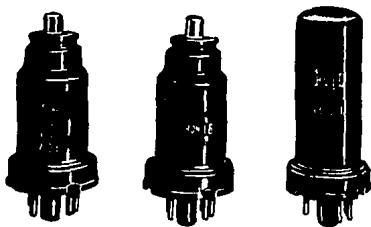
Válvula trans-misora.



Válvula amplificadora y detalles de su construcción.



Vista de un grupo de válvulas de gran eficiencia (1).



Válvulas metálicas.

(1) Todas las ilustraciones del apéndice han sido cedidas gentilmente por R.C.A. Victor.

APENDICE C

SIMBOLOGIA

A	Ganancia de voltaje
AF o (a-f)	Señal de audio frecuencia
α	Cantidad de corriente del emisor que logra llegar hasta el colector
CAV	Control automático de volumen
Cn, n = 1,2,...	Capacitores
c o v	Velocidad de la luz
ca o c-a	Corriente alterna
cd	Corriente directa
Dn; n = 1,2,...	Diodos
η	Coefficiente de amplificación
F.I.	Frecuencia intermedia
f	Frecuencia
h_{FE} o β	Ganancia de corriente en corto circuito a cd del dispositivo, emisor común
h_{fe}	Ganancia de corriente en corto circuito a ca del dispositivo, emisor común
I_{BB}	Corriente de polarización de base de cd del circuito
I_B	Corriente de base
I_{bp}	corriente pico de base, referida a cero ca
I_{BQ}	corriente de base, punto quiescente
I_c	Corriente de colector
I_{CBO}	Corriente inversa colector a base, emisor abierto

ΔI_{CBO}	Cambio en la corriente de colector a base, debida a variaciones en la temperatura
I_{CM}	corriente máxima de colector, referida a cero cd
I_{cP}	Corriente pico de colector, referida a cero cd
I_{CQ}	Corriente de colector, punto quiescente
I_E	Corriente de emisor
K_1	Factor de corrección térmica
K_2	Término dependiente de la temperatura base-emisor
K_t	Constante empírica dependiente de la temperatura
L	Inductor
$L' \text{ o } \lambda$	Longitud de onda
P_D	Disipación de potencia del dispositivo
$P_o \text{ (rms)}$	Potencia RMS de entrada
$P(\text{nom})$	Potencia nominal máxima del dispositivo
Q	Punto quiescente
R_b	Resistencia de base
R_c	Resistencia de colector
R_e	Resistencia de emisor
$RF \text{ o } r-f$	Señal de radio frecuencia
$R_n ; n = 1, 2, \dots$	Resistencias
R_{TH}	Resistencia Thévenin
R_L	Impedancia de carga
T_1	Transformador de antena

T_2	Transformador tanque de oscilación local
T_3, T_4 y T_5	Transformadores de F.I.
t_1	Temperatura máxima de operación del dispositivo, a plena carga
t_2	Temperatura relacionada con la potencia máxima nominal del dispositivo
t_3	Temperatura máxima I_{CBO} especificada en hoja de dato
t_4	Temperatura mínima de operación del dispositivo
V_B	Voltaje de base
V_{BB}	Voltaje de polarización de base de cd
V_{BE}	Voltaje base a emisor
ΔV_{BE}	Cambio en voltaje de base a emisor, debido a variaciones en la temperatura
V_{BEQ}	Voltaje de base a emisor, punto quiescente
V_C	Voltaje de colector
V_{CC}	Voltaje de alimentación del circuito
V_{CE}	Voltaje de colector a emisor
$V_{CE(sat)}$	Voltaje de saturación de colector a emisor
V_E	Voltaje de emisor
V_a	Voltaje de entrada
V_s	Voltaje de salida
V_{TH}	Voltaje Thévenin

BIBLIOGRAFIA

H. E. WHITE

Física Moderna Universitaria
UTEHA
España. 1965

F.W. SEARS Y M.W. ZEMANSKY

Física General
Aguilar, España. 1967

E. JAMES ANGELO, JR.

Electronics: BJTs, FETs and Microcircuits
McGraw Hill Kogakusha
Tokio, Japan. 1969

MILLMAN - HALKIAS

Integrated Electronics - Analog and Digital Circuits and Systems
McGraw Hill Kogakusha
Tokio, Japan. 1972

ELECTRONICS

50 Years - Special Commemorative Issue
Vol. 53, No. 9, April 17, 1980
McGraw - Hill Publication
New York, U.S.A.

DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

Elaborado en Coordinación con el Departamento de Ingeniería en
Comunicaciones y Electrónica de la Escuela Superior de Ingeniería
Mecánica Eléctrica
México, D.F. 1974

NTE SEMICONDUCTORS 6TH EDITION

NTE Electronics, Inc.
New Jersey, U.S.A. Junio de 1992

E. H. CHAPMAN

La Radiotelefonía al Día
Editorial Nova
Buenos Aires, Argentina. 1945

ISAAC ASIMOV

Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología: La Vida y la Obra de
1197 Grandes Científicos, Desde la Antigüedad Hasta Nuestros Días
Editorial Revista de Occidente

Madrid, España. 1982

HICKEY Y VILLINES
Elementos de Electrónica
Marcombo Boixareau Editores
Barcelona, España.

WILSON - KAUFMAN
Electrónica Básica - Principios
McGraw- Hill
México, D.F. 1979

KLOEPPER ROYCE
Principios de Electrónica
Editorial Continental, S. A.
México, D.F.

HENRY JACOBOWITZ
Electrónica Simplificada
Compañía General de Ediciones, S. A.
México, D.F.

BECK ARNOLD H.W.
Palabras y Ondas
Ediciones Guadarrama, S. A.
Madrid, España. 1967

HARRY MILRAP
Electrónica 1-7
Editoria Limusa
México, D.F. 1984

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED
Diseños de Circuitos para Audio AM - FM y TV
Compañía Editorial Continental, S. A.
México, D.F. Junio de 1969

ALBERT PAUL MALVINO, Ph D.
Principios de Electrónica
McGraw- Hill
México. 1979

PROF. ANGEL ZETINA M.
Transistores en Radio y Televisión
Compañía Editorial Continental, S. A.
México. Junio de 1980

PROF. ANGEL ZETINA M.
El Receptor Superheterodino
Compañía Editorial Continental, S. A.
México, D.F. 1982

JOHN D. LENK
Manual para Usuarios de Circuitos Integrados
Editorial Diana
México, D.F., 1977

BIBLIOTECA SALVAT DE GRANDES TEMAS
- Los Satélites ARTIFICIALES
Salvat Editores, S. A. .
Barcelona, España