



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

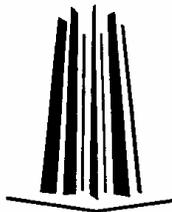
**"OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA
DE UN TRANSMISOR DE AM MODELO
HARRIS DX 50"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

PRESENTA
RICHARD ARIZAGA PALOMO

ASESOR: ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DIAZ



MÉXICO

2007



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 esta 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.

AGRADECIMIENTOS.

“Les doy las gracias a todos ustedes, que confiaron en mí para lograr éste propósito, que me cobijaron con su amor, estímulos y apoyo, que me ayudaron en todo lo que pudieron, con el único fin de que saliera adelante, me superara a mí mismo y comenzará a cosechar lo que sembré en estos años de estudio, teniendo aún muchas metas y sueños por cumplir; todo esto y muchas otras cosas les debo; por lo pronto les quiero dar éste primer pago...

Los quiero mucho: Papá, Mamá y Hermanos, Hugo y Nubia.”

“A ti, que nunca has perdido la confianza en mí, que esperas logremos juntos muchos sueños que nos hemos trazado, también te dedico éste primer sueño, el cual tiene tú granito de arena, y ojalá sea el primero de muchos otros; lo más importante, es que sepas que tengo un logro importante para mí, antes de éste, y ese es que te conocí...

Te Amo Sara.”

“A usted que me tendió la mano cuando lo busqué y le pedí ayuda, le agradezco la confianza para poder desarrollar juntos éste trabajo, que se sumará a muchos otros proyectos que ha culminado con éxito. Espero siga compartiendo todos sus conocimientos y tenga la satisfacción de que colaboró en la formación de muchos ingenieros...

Muchas Gracias Ing. Margarito.”

INDICE

Introducción y Objetivos	i
1.- GENERALIDADES	1
1.1 Términos y Conceptos.....	1
1.2 Radiofrecuencia	22
1.3 Transmisión y Recepción	29
1.4 Líneas de Transmisión	37
1.5 Antenas y Propagación	48
1.6 Modulación en Amplitud	73
1.7 Conversión Analógica/Digital	86
1.8 Conversión Digital/Analógica	93
2.- OPERACIÓN DEL SISTEMA	99
2.1 Diagrama a Bloques	99
2.2 Módulo de Radiofrecuencia	104
2.3 Módulo de Entrada	116
2.4 Módulo de Control	140
2.5 Módulo de Alimentación	174
2.6 Módulo de Salida	180
2.7 Módulo de Ventilación	190
3.- INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	197
3.1 Introducción	197
3.2 Instalación	198
3.2.1 Transmisión	201
3.2.2 Sistema de Aire	204
3.2.3 Alimentación	207
3.2.4 Control Remoto	211
3.2.5 Antena	214
3.2.6 Interfases	217
3.2.7 Barra de Salida	219
3.2.8 Placa de Tierra	220
3.3 Puesta en Marcha	222
3.3.1 Datos del Fabricante	223
3.3.2 Revisión de la Alimentación	229
3.3.3 Sobrecarga	234

3.3.4 Ventilación	235
3.3.5 Radiofrecuencia	237
3.3.6 Ruido	238
3.3.7 Amplificación	240
3.3.8 Modulación	244
3.3.9 Audio	247
3.3.10 Ajuste del Estéreo AM	248
3.3.11 Batería de Respaldo	250
3.4 Grabación de las lecturas	251
CONCLUSIONES	252
BIBLIOGRAFIA	253

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el uso del Transmisor ocupa una parte fundamental en toda Planta Transmisora por todos los beneficios que se obtienen con su uso, principalmente su tiempo de duración comparado con el de las válvulas termoiónicas de antaño, su fiabilidad, su bajo costo y, sobre todo, sus sobrias necesidades de energía han permitido que el 50% de funcionamiento de la Planta Transmisora dependa en gran parte de este elemento.

Por tal motivo, al tener contacto con éste tipo de equipo durante la prestación del servicio social en Radio UNAM, se constató que el tiempo de funcionamiento depende en gran medida de la forma en que se opere y de la planeación de una óptima instalación, pues está comprobado que, a diferencia de los equipos diseñados con válvulas termoiónicas que soportan condiciones extremas de operación, los equipos de estado sólido no pueden mantener un tiempo de vida útil si se operan continuamente al máximo de su capacidad.

Es importante mencionar que la información contenida en éste trabajo, puede servir como apoyo didáctico a algunas materias de la carrera, por ejemplo, a la materia de Filtrado y Modulación (por mencionar una de ellas), así como los tópicos contenidos en el mismo también pueden utilizarse para enriquecer conceptos ya conocidos, y otros más que son necesarios para abordar temas específicos de ingeniería.

En los capítulos siguientes se dará un panorama general de los conceptos aplicados dentro de la transmisión de una señal de AM, los elementos que componen al transmisor de AM modelo Harris DX 50, la forma en que trabaja cada módulo y todo el procedimiento que se lleva a cabo, tanto para la instalación del mismo, como para su puesta en marcha.

OBJETIVO GENERAL: Establecer los factores determinantes para el óptimo desempeño y durabilidad de un Transmisor de AM.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Explicar el funcionamiento de cada uno de los módulos que integran el Transmisor de AM modelo Harris DX 50.
2. Analizar las diferentes etapas que se llevan a cabo tanto para una instalación como una operación adecuada de dicho Transmisor.

TEMA 1.- GENERALIDADES.

1.1 Términos y Conceptos.

Carga eléctrica.

Es aquella que existe en todos los cuerpos y puede ser negativa o positiva, tomando en cuenta que “un objeto que tiene un exceso de electrones está cargado negativamente, y un objeto que tiene una deficiencia de electrones está cargado positivamente” ⁽¹⁾.

Conductor.

Es el material que de acuerdo a su composición química ⁽²⁾, permite el paso de la corriente eléctrica con un mínimo de resistencia. **Por ejemplo**, el cobre.

Aislante.

Es el material que a diferencia del conductor, no permite el paso de la corriente eléctrica. A los aislantes también se les llama **dieléctricos** ⁽³⁾ y poseen una característica denominada **rigidez dieléctrica**, la cual indica el punto a partir del cual un aislante se convierte en conductor.

En la tabla 1.1.1⁽⁴⁾ se pueden observar algunos materiales con su respectiva constante y rigidez dieléctrica.

Material	Constante dieléctrica promedio	Rigidez dieléctrica promedio MV / m
Aire seco a 1 atm	1.006	3
Baquelita	7.0	16
Vidrio	7.5	118
Mica	5.0	200
Plásticos de nitrocelulosa	9.0	250
Papel parafinado	2.0	51
Caucho	3.0	28
Teflón	2.0	59
Aceite de un transformador	4.0	16

TABLA 1.1.1 Constante y rigidez dieléctrica.

Voltaje.

Es la fuerza que hace circular la corriente eléctrica a través de un conductor. Al voltaje se le representa con el símbolo (v) y de acuerdo al SI (Sistema Internacional de Unidades), su unidad de medida es el voltio (V).

Corriente eléctrica.

Es el producto de cargas eléctricas en movimiento⁽⁵⁾. La corriente eléctrica usualmente se representa con el símbolo (I) y la unidad de intensidad de corriente eléctrica es el amperio (A).

Así mismo, existen dos tipos de corriente eléctrica, que a continuación se describen:

- **Corriente continua (c.c.):** Este tipo de corriente mantiene su amplitud constante todo el tiempo. Su forma se observa en la figura 1.1.1:

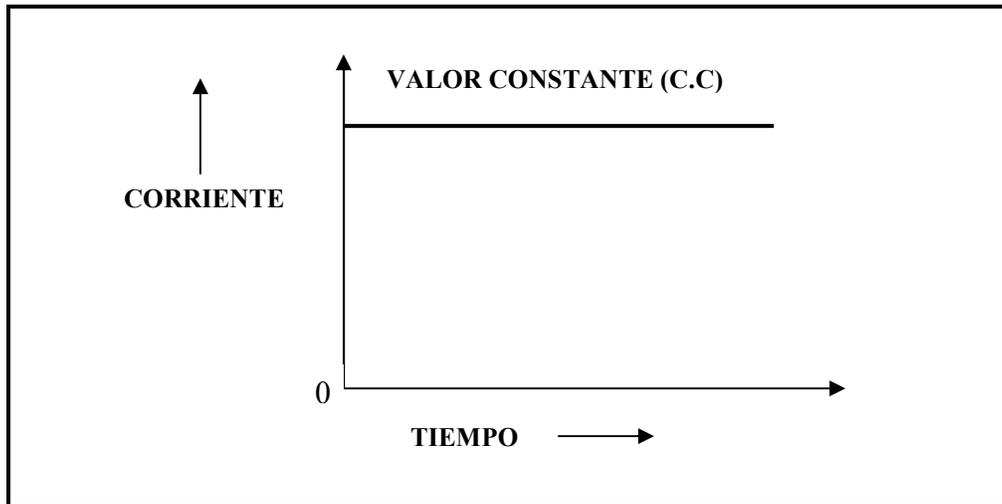


FIGURA 1.1.1 Representación de la corriente continua o c.c

- **Corriente alterna (c.a.):** Se caracteriza por variar la polaridad de su amplitud cíclicamente, es decir, durante medio ciclo alcanza su valor más positivo, en el siguiente medio ciclo, su valor más negativo, y entre cada medio ciclo pasa por cero. Usualmente éste tipo de corriente se representa mediante una onda llamada sinusoidal ⁽⁶⁾, como la observada en la figura 1.1.2:

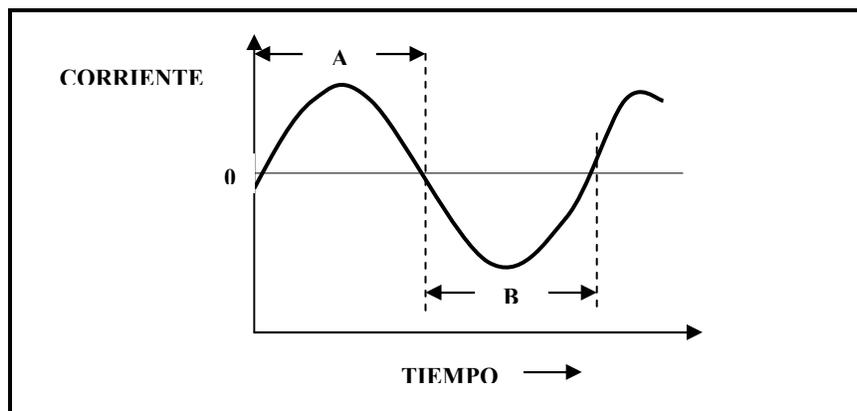


FIGURA 1.1.2 Onda sinusoidal que representa la corriente alterna ó c.a, donde A señala el medio ciclo positivo y B el medio ciclo negativo.

Frecuencia.

Es el número de veces que se repite el ciclo de una señal (un ciclo completo corresponde a dos medios ciclos) en un segundo (ver figura 1.1.3a). Se representa con el símbolo (f) y su unidad de medida es el Hertz (Hz). Por ejemplo, en México la corriente alterna de alimentación tiene una frecuencia de 60 Hz, esto es, que tiene una variación de 60 ciclos por segundo.

Longitud de onda.

“Es la distancia ocupada por el ciclo de una onda y casi siempre se expresa en metros (...)La longitud de onda de una señal (figura 1.1.3b), representada por la letra griega (λ), se calcula dividiendo la velocidad de la luz entre la frecuencia (f) de la onda expresada en Hertz”⁽⁷⁾

$$\lambda = c / f$$

Donde:

f = Frecuencia en Hertz (Hz)

λ = Longitud de onda en metros (m)

c = Velocidad de la luz cuyo valor usado es $3 * 10^8$ (m / s)

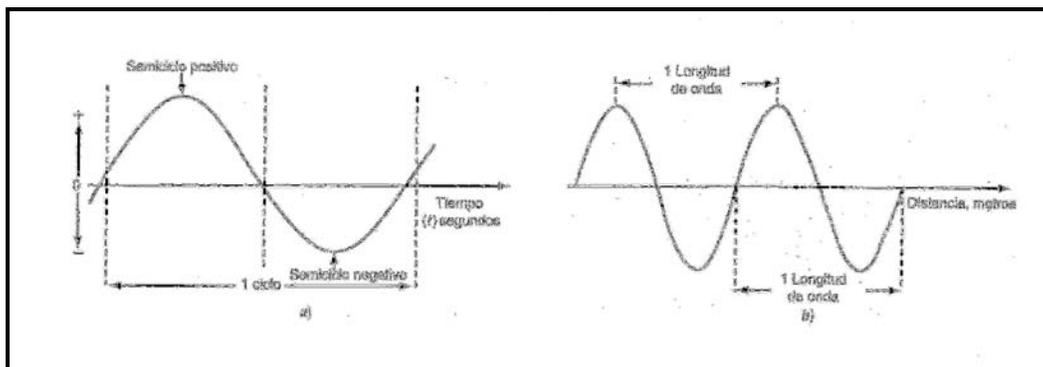


FIGURA 1.1.3 Frecuencia y longitud de onda: a) un ciclo, b) una longitud de onda.

Campo eléctrico.

En el espacio que rodea un cuerpo cargado existe un campo eléctrico aunque no haya una segunda carga en el campo; si la hubiera, ésta experimentaría una fuerza igual a:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

Donde:

\mathbf{F} = Fuerza del campo eléctrico (Newtons “N”)

q = Magnitud de la carga colocada en el campo (Coulombs “C”)

\mathbf{E} = Intensidad de campo eléctrico (Newton / Coulomb “N/C”)

La dirección del campo eléctrico se toma en función de cómo se movería una carga positiva si estuviera en él, es decir:

- Cuando está cerca de una carga positiva ($q+$), la dirección es hacia fuera (figura 1.1.4).

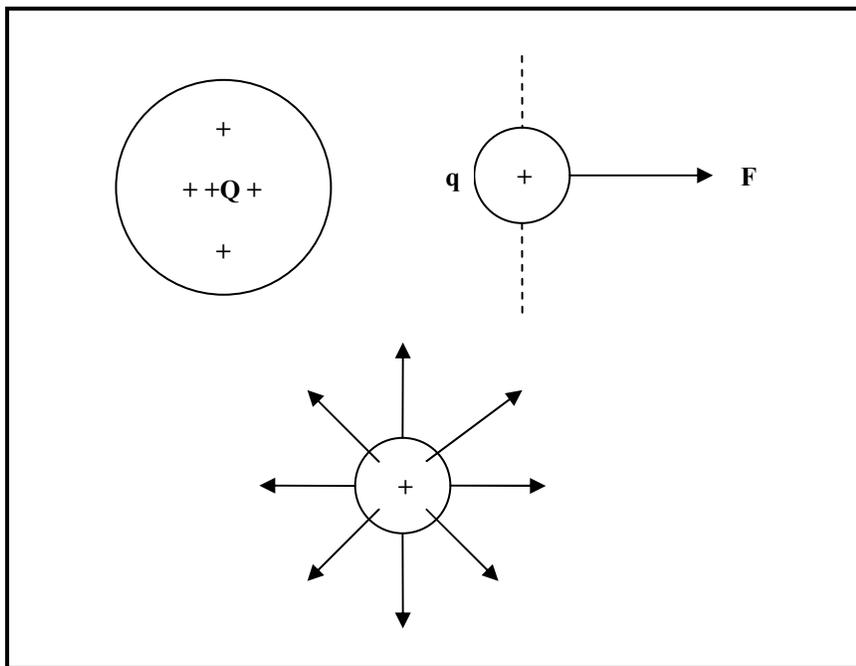


FIGURA 1.1.4 Dirección de un campo eléctrico en función de una carga positiva.

- Cuando está cerca de una carga negativa (q-), la dirección es hacia dentro (figura 1.1.5).

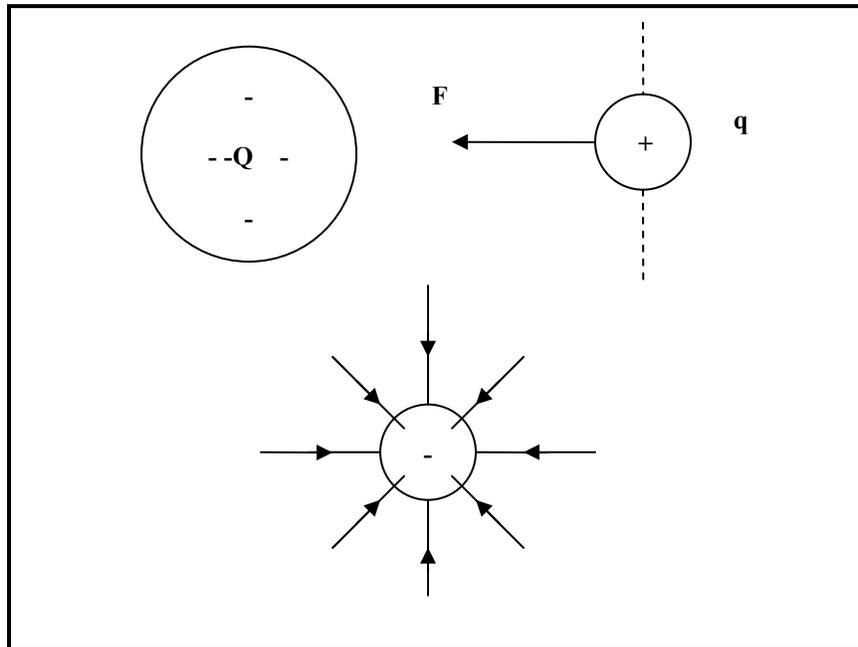


FIGURA 1.1.5 Dirección de un campo eléctrico en la vecindad de una carga negativa.

La intensidad de un campo eléctrico en un punto arbitrario a partir del centro de una sola carga es:

$$\mathbf{E} = (\mathbf{kQ}) / \mathbf{r}^2$$

Donde:

$$\mathbf{k} = 9 * 10^9 \text{ N*m}^2 / \text{C}^2$$

\mathbf{Q} = Carga (C)

\mathbf{r} = Distancia de la carga al campo (m)

Las líneas de un campo eléctrico esquemáticamente se representan saliendo de cargas positivas y entrando en cargas negativas⁽¹²⁾, tomando en cuenta que donde las líneas de fuerza están más cerca el campo es más fuerte y viceversa, tal como se observa en la figura 1.1.6:

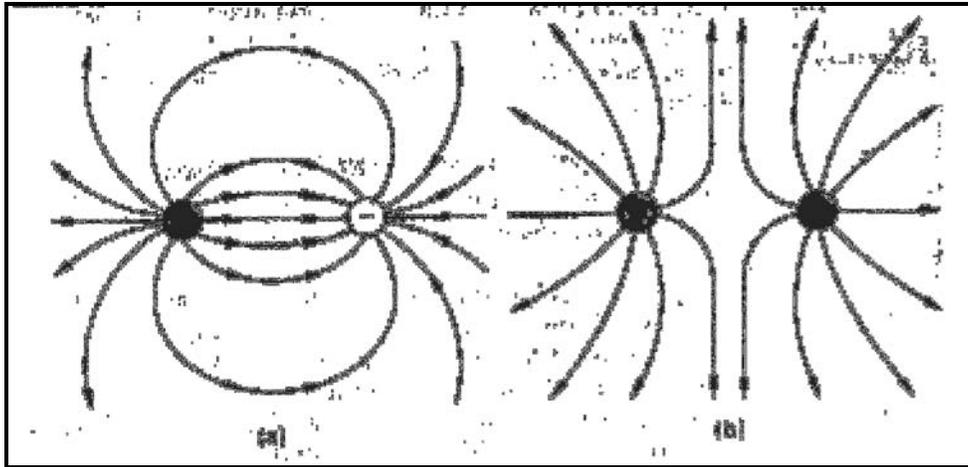


FIGURA 1.1.6 Dirección de las líneas de fuerza de un campo eléctrico.

Un campo eléctrico también se produce cuando entre dos puntos hay una diferencia de potencial y un ejemplo común es el capacitor (figura 1.1.7). En éste caso la fuerza de un campo eléctrico se expresa por:

$$E = q / (4\pi\epsilon d^2)$$

Donde:

q = Carga entre los dos puntos (C)

ε = Permitividad

d = Distancia entre los conductores (m)

La unidad de medida de la fuerza de un campo eléctrico de acuerdo al SI es el volt por metro (**V/m**).

“**Permitividad**, es la constante dieléctrica del material entre los dos conductores. El dieléctrico por lo regular es el aire o el espacio libre, el cual tiene un valor ϵ de casi $8.85 * 10^{-12} \epsilon_r$, donde ϵ_r es la constante dieléctrica del medio”⁽¹³⁾.

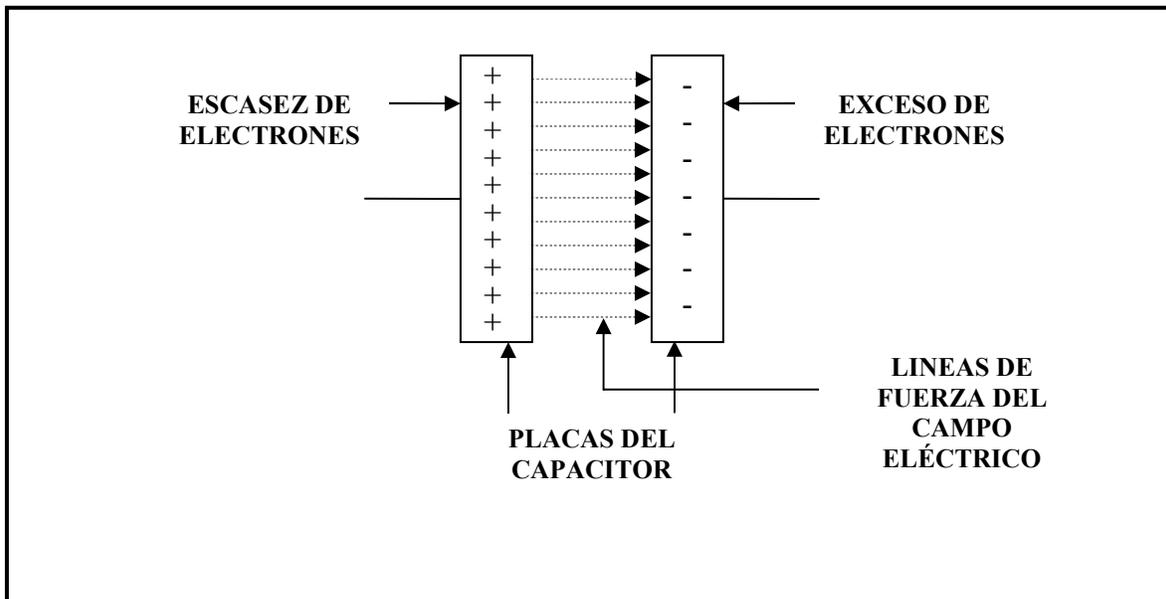


FIGURA 1.1.7 Campo eléctrico entre las placas de un capacitor.

Campo magnético.

Al objeto que realiza una fuerza magnética se le llama imán y al espacio que lo rodea se le llama campo magnético. Los imanes poseen dos polos, polo norte y polo sur, cuyo comportamiento se apoya en la ley magnética que dice que **“polos iguales se repelen y polos diferentes se atraen”**.

Al igual que el campo eléctrico, el estudio de un campo magnético se realiza mediante el análisis de sus líneas de flujo, cuya dirección depende de como actuaría una fuerza magnética con un polo norte aislado, es decir, salen del polo norte de un imán y entran en el polo sur (figura 1.1.8a).

A diferencia de las líneas de campo eléctrico, las de flujo magnético no tienen puntos iniciales o finales pues forman espiras continuas que pasan a través del imán (figura 1.1.8b).

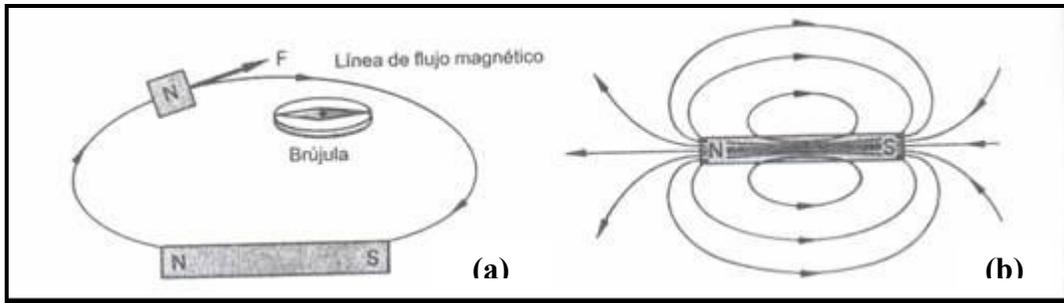


FIGURA 1.1.8 (a) Dirección de las líneas de flujo magnético en función de un polo norte aislado; **(b)** En un imán las líneas de flujo magnético forman espiras continuas que pasan a través de él.

En base a que el magnetismo es una propiedad de las cargas en movimiento y si las cargas en movimiento producen corriente eléctrica, entonces se deduce que una corriente eléctrica siempre va a producir un campo magnético en el espacio que la rodea.

Al igual que un campo eléctrico, la intensidad de un campo magnético se determina a partir del número de líneas de flujo que pasan a través de una unidad de área perpendicular, a lo que se le da el nombre de **densidad de flujo magnético (B)** cuya expresión es:

$$\mathbf{B} = \phi / \mathbf{A}_{\perp}$$

Donde:

B = Densidad de flujo magnético

ϕ = Flujo magnético (Wb)

\mathbf{A}_{\perp} = Área (m^2)

La unidad de medida de B en el SI es el weber por metro cuadrado (Wb / m^2) que a su vez es igual a una Tesla, aunque también se utiliza una unidad denominada Gauss, entonces:

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / \text{m}^2 = 10^4 \text{ G}$$

Debido a que la densidad de flujo se ve afectada por la naturaleza del medio o el material que se coloque en dicho medio, es necesario el cálculo de la intensidad del campo magnético (**H**), el cual no se ve afectado por ésta circunstancia y por lo tanto:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

En donde **μ** es la **permeabilidad del medio** a través del cual pasan las líneas de flujo, y se refiere a la capacidad del medio para establecer líneas de flujo magnético, por lo que si μ es alta, más líneas de flujo pasarán por una unidad de área.

La expresión anterior también se puede expresar en términos del espacio libre (vacío) utilizando a μ_0 entonces:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$
$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A} * \text{m}^2 = 4\pi * 10^{-7} \text{ T} * \text{m} / \text{A}$$

La **permeabilidad relativa**, que es la que se refiere a la relación de la permeabilidad de un material con respecto a la del vacío expresada como:

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

Ayuda a clasificar a los materiales magnéticos en:

- **Diamagnéticos:** Tienen una $\mu_r < 1$ y son repelidos por un imán fuerte.
- **Paramagnéticos:** Su $\mu_r > \mu_0$ y son atraídos débilmente por un imán poderoso.
- **Ferromagnéticos:** $\mu_r \gg \mu_0$ son fuertemente atraídos por un imán.

Un ejemplo común de la generación de un campo magnético es en una antena, que es un conductor de características especiales por el cual se hace circular una corriente alterna (c.a.), cuya magnitud y flujo van a delimitar la fuerza y dirección de dicho campo (figura 1.1.9).

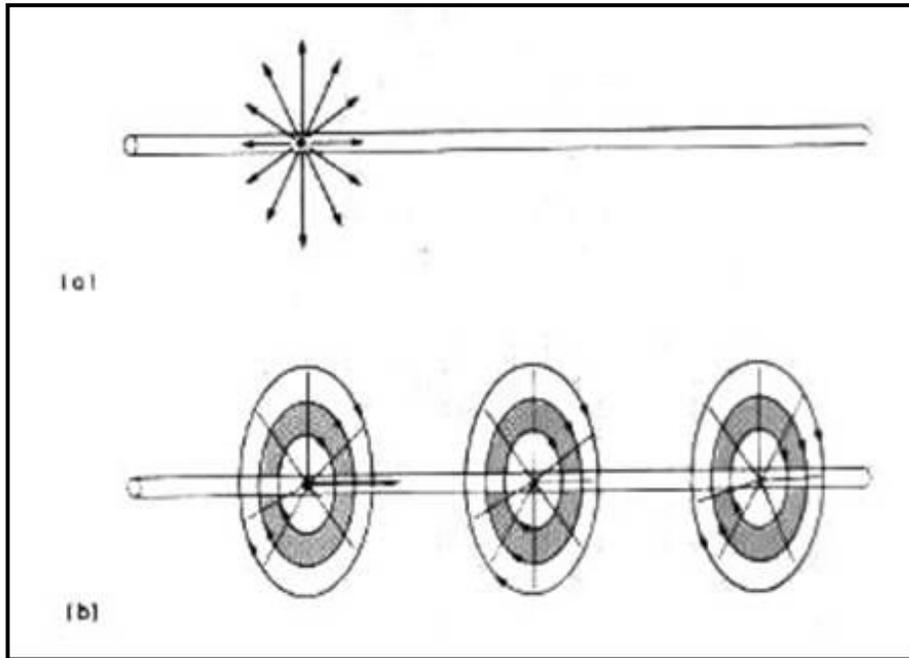


FIGURA 1.1.9 Interacción de los campos eléctrico y magnético en una antena.

Así, la intensidad de campo magnético (H) en dicha antena es:

$$H = I / 2\pi d$$

Donde:

I = Corriente (A)

d = Distancia del alambre (m)

H = Intensidad del campo magnético (A / m)

Modulación.

Es el proceso con el cual se varían las características de una señal de alta frecuencia llamada **onda portadora** en función de una señal de baja frecuencia llamada **moduladora** (que puede ser una señal de audio, voz o video). Toda señal eléctrica posee como características principales la amplitud, la frecuencia y la fase, dando lugar a los siguientes tipos de modulación, por mencionar algunos tipos:

- **Modulación en amplitud (AM):** Donde se hace variar la amplitud de la portadora en función de una onda moduladora (figura 1.1.10 a - b).
- **Modulación en frecuencia (FM):** Se varía la frecuencia de la portadora en función de la moduladora (figura 1.1.10 b).
- **Modulación en fase (PM):** Se varía el ángulo $\theta(t)$ de una onda portadora en función de la señal moduladora (1.1.10 c).

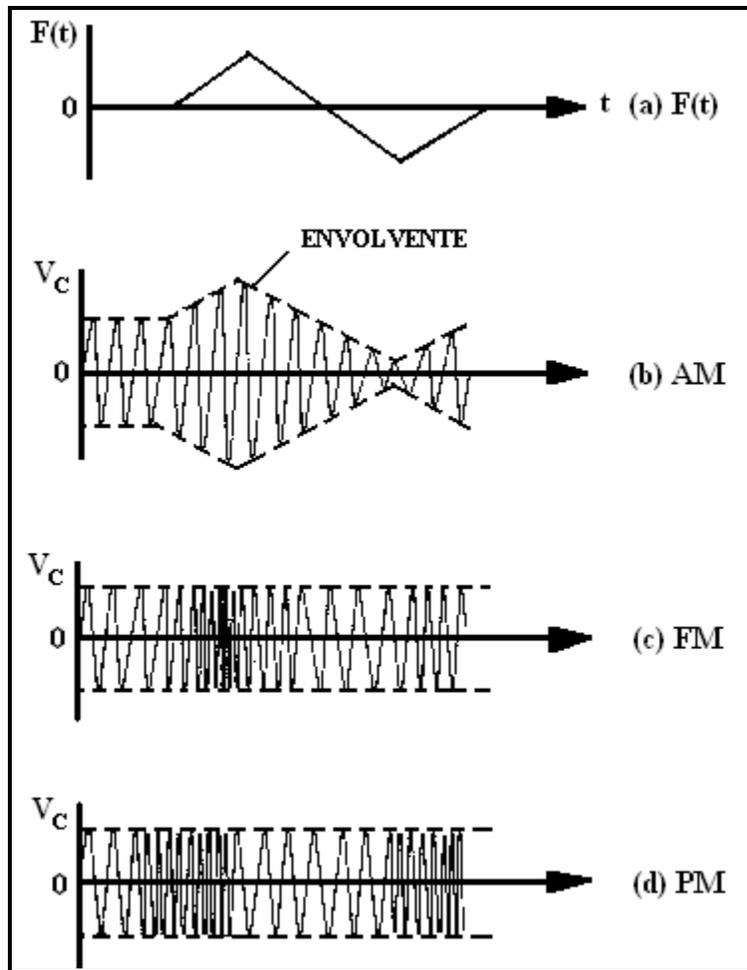


FIGURA 1.1.10 Diferentes tipos de modulación.

Las razones por las que se modula una señal se enuncian a continuación:

- **Facilidad de radiación:** Ayuda a construir antenas de menor dimensión.
- **Reducción del ruido y la interferencia:** La supresión de éstos efectos mediante la modulación requiere de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original por lo que éste tipo de modulación recibe el nombre de “reducción del ruido de banda ancha”.
- **Asignación de frecuencia:** Sirve para mantener señales con mensajes diferentes separados con el fin de que no haya interferencias.

- **Multicanalización:** Gracias a ésta es posible la manipulación de señales múltiples para transmitirse por un solo canal.
- **Superación de las limitaciones del equipo:** Ubica el espectro de frecuencia en donde funcione mejor la modulación para sacar el mayor provecho del equipo.

Ancho de banda.

El ancho de banda o band width (con sus siglas en inglés BW), es el intervalo de frecuencias que deja pasar un sistema. También se considera como la restricción de frecuencias que presenta un canal de comunicación para poder enviar información. Una forma de obtener el ancho de banda, es restar la frecuencia inferior de la superior del intervalo de frecuencias dado. Por ejemplo: Si el intervalo de frecuencia de la voz es de 300 a 3 000 Hz ⁽⁸⁾, entonces:

$$\begin{aligned} \mathbf{BW} &= \mathbf{f_s - f_i} \\ \mathbf{BW} &= \mathbf{3\ 000 - 300 = 2\ 700\ Hz} \end{aligned}$$

Donde:

BW = Ancho de banda en Hertz (Hz)

f_s = Frecuencia superior en Hertz (Hz)

f_i = Frecuencia inferior en Hertz (Hz)

Ganancia.

Es un factor que representa el mejoramiento de la señal de entrada de un sistema en función de la señal de salida. Matemáticamente queda expresada de la siguiente forma:

$$\mathbf{A_v = SS / SE}$$

Donde:

Av = Ganancia

SS = Señal de salida

SE = Señal de entrada

Cabe mencionar que ambas señales (SE y SS) pueden representar un voltaje, una corriente o potencia, dando lugar a una cantidad adimensional. Como ejemplo se puede mencionar el efecto de un circuito amplificador.

Atenuación.

Es la pérdida progresiva de la potencia de la señal en función de la distancia que recorre.

Decibeles.

“La ganancia o pérdida de un circuito se expresa en decibeles, una unidad de medida que en un principio se creó como la forma de expresar la respuesta del oído humano a las variaciones de nivel de los sonidos. Un decibel (dB) es la décima parte de un bel. Las fórmulas para calcular la ganancia o pérdida en decibeles de un circuito son”: ⁽⁹⁾

$$\mathbf{dB = 20 \log [V_{sal} / V_{ent}]}$$

$$\mathbf{dB = 20 \log [I_{sal} / I_{ent}]}$$

$$\mathbf{dB = 10 \log [P_{sal} / P_{ent}]}$$

Si el resultado de la operación fuera positivo entonces representa una ganancia pero si es negativo, representa una pérdida o atenuación.

Impedancia.

Cuando en un circuito se conjuntan elementos tales como resistencias, capacitores e inductancias, éste ofrecerá una oposición a la corriente alterna; si bien es cierto que la función de una resistencia es la oposición a la corriente, los capacitores e inductancias también realizan la misma función pero con la corriente alterna y de forma no resistiva ⁽¹⁰⁾. A ésta condición en capacitores e inductancias se le conoce como **reactancia**.

Matemáticamente la reactancia capacitiva se expresa de la siguiente forma:

$$\mathbf{X_C = 1 / \omega c}$$

Donde:

$\mathbf{X_c}$ = Reactancia capacitiva expresada en ohms (Ω)

ω = Frecuencia angular en radianes que equivale a $2\pi f$

c = Capacitancia en faradios (Fd)

La reactancia inductiva tiene la expresión:

$$\mathbf{X_L = \omega L}$$

Donde:

$\mathbf{X_L}$ = Reactancia inductiva expresada en ohms (Ω)

ω = Frecuencia angular en radianes que equivale a $2\pi f$

L = Inductancia en henrys (Hy)

La impedancia se representa con el símbolo (Z) y su unidad de medida es el ohm (Ω); se compone de un valor real (la resistencia R) y de uno imaginario (ya sea X_C o X_L) quedando:

$$\mathbf{Z = R + jX_L (\Omega)}$$

$$\mathbf{Z = R - jX_C (\Omega)}$$

Donde, como puede observarse, la impedancia que contiene a la reactancia capacitiva es negativa, ya que en un circuito que contiene sólo capacitancia, el voltaje se atrasa respecto a la corriente 90° ⁽¹¹⁾.

Filtro.

En comunicaciones, es un dispositivo que tiene características de selectividad de frecuencia y se utiliza para modificar las componentes en frecuencia de una señal. Por su tipo los filtros se clasifican en:

Analógicos:

- **Pasivos (LC):** Llamados así porque los elementos que forman éste tipo de filtros son básicamente inductores y capacitancias. De acuerdo a su configuración, pueden ser **k – constante**, **m – derivados o compuestos**. Su rango de trabajo es para frecuencias aproximadas de 100 Hz a 100 MHz.

- **Activos:** Se componen de una red activa y una pasiva; la activa realiza la función de amplificación de la señal (mediante el uso de un amplificador operacional también llamado OPAM) y la pasiva realiza la función de filtrado (con el uso de resistencias y capacitores). El rango de frecuencias donde se aplica éste tipo de filtros va aproximadamente desde c.c hasta 500 KHz. Entre las ventajas y desventajas acerca del uso de estos filtros están las siguientes:
 - No se usan inductores porque su comportamiento con frecuencias pequeñas es muy difícil.

 - Entre más alto sea el orden, mejor será la respuesta.

 - Requieren fuente de alimentación.

- No se pueden utilizar en sistemas de media y alta potencia.
- La ganancia va a depender de cada una de las etapas que lo constituyan.
- El orden lo van a dar las redes pasivas que halla en el filtro.

Por su configuración, pueden ser de **realimentación simple** o de **realimentación múltiple**, y por su función matemática serían: **Butterworth**, **Chevyshev**, **Chevyshev inverso**, **elíptico** o **Bessel**.

De acuerdo a su respuesta en frecuencia se clasifican en:

- **Paso bajas:** Corresponde a los filtros que dejan pasar frecuencias menores a la frecuencia de corte ($0 < B \leq W_C$). Su gráfica se representa en la figura 1.1.11:

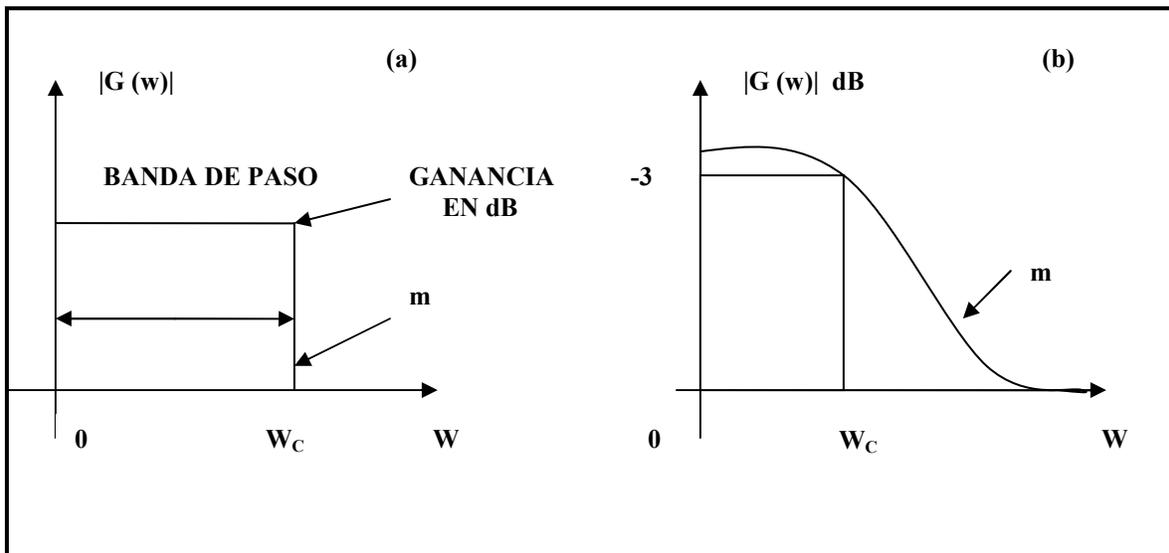


FIGURA 1.1.11 Filtro paso bajas. (a) Gráfica ideal; (b) Gráfica real.

- **Paso altas:** Dejan pasar las frecuencias mayores a la frecuencia de corte sin tener un límite superior especificado ($W_C \leq B < \infty$). Se representa en la figura 1.1.12:

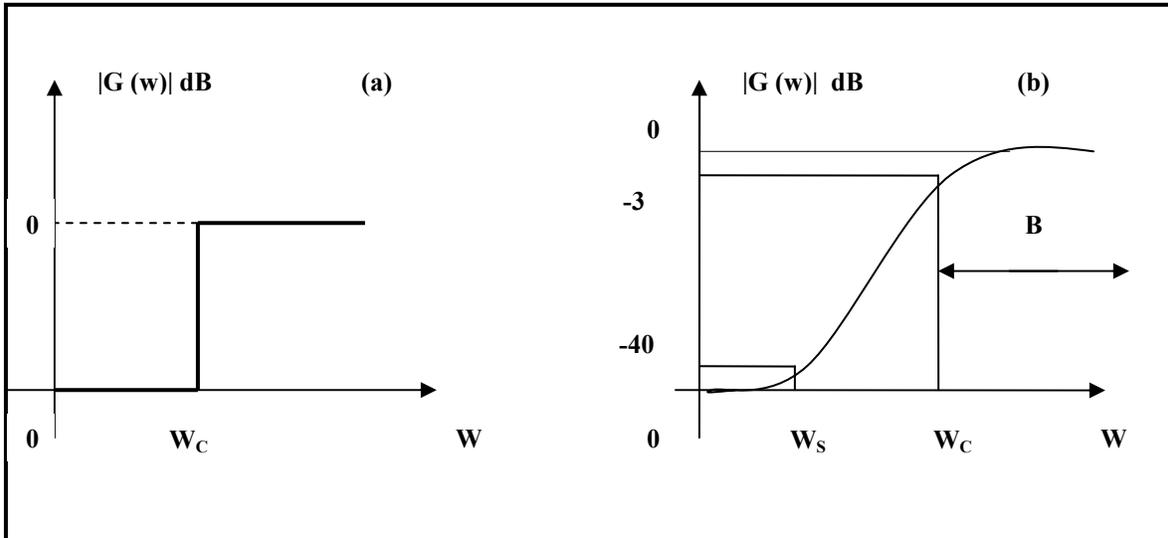


FIGURA 1.1.12 Filtro paso altas. (a) Gráfica ideal; (b) Gráfica real.

- **Paso banda:** Solo pasa un rango de frecuencias establecido por una frecuencia de corte superior y una inferior ($W_{C1} \leq B \leq W_{C2}$). La figura 1.1.13 muestra su gráfica:

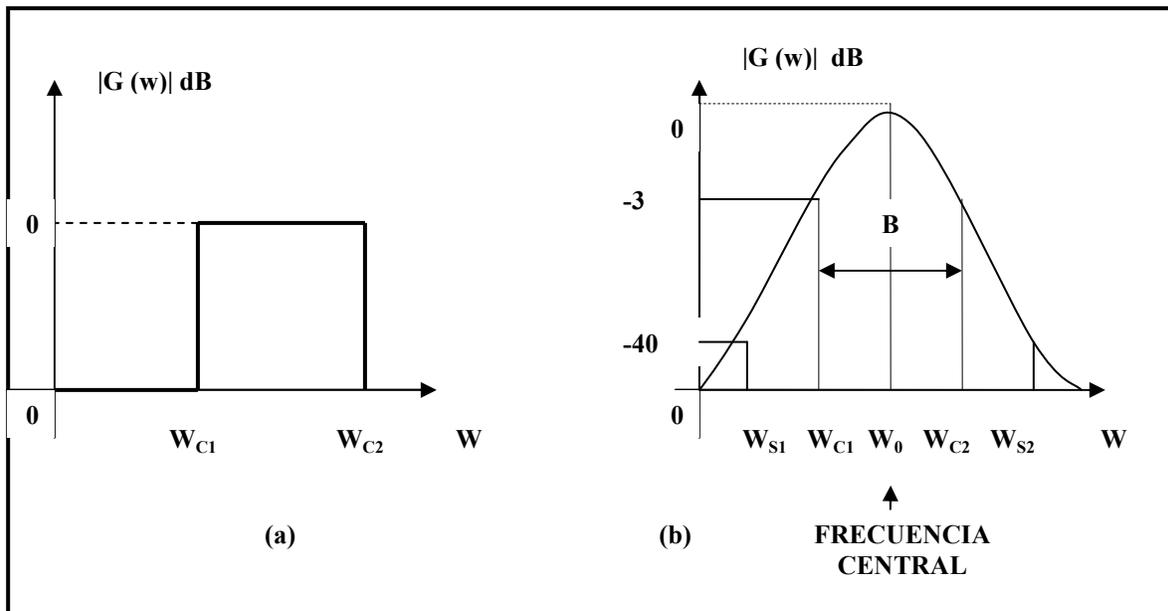


FIGURA 1.1.13 Filtro paso banda. (a) Gráfica ideal; (b) Gráfica real.

- **Supresor de banda:** Es lo contrario al filtro pasa banda, pues éste no permite el paso de un intervalo de frecuencias contenidas por una frecuencia de corte superior y una inferior ($W_{C1} \leq B \leq W_{C2}$). Esta representado en la figura 1.1.14:

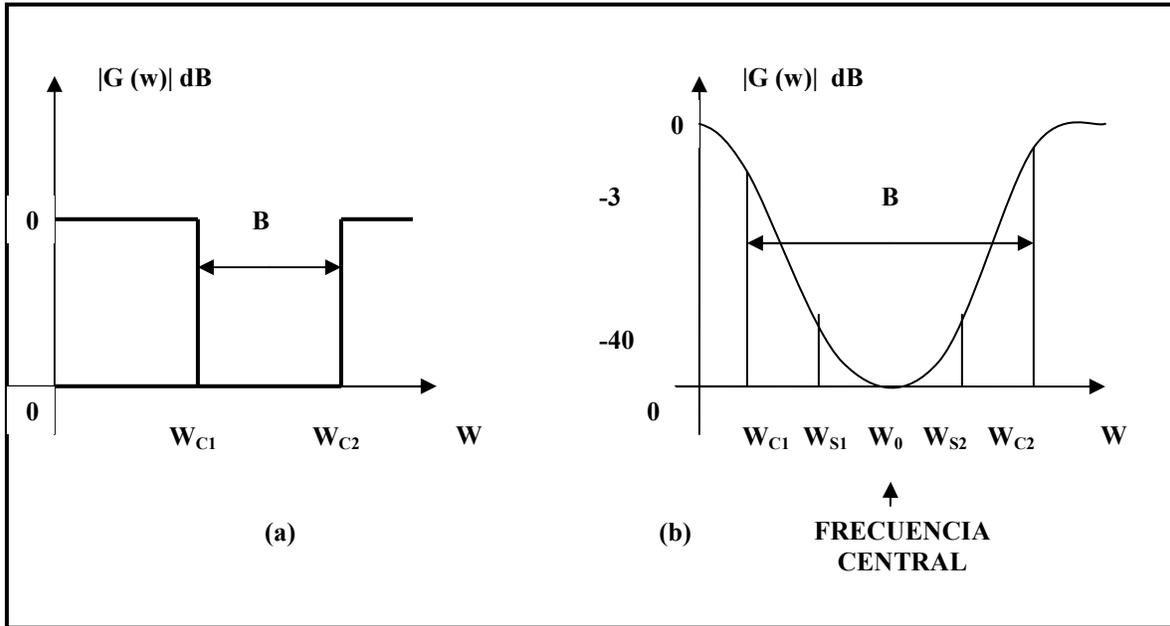


FIGURA 1.1.14 Filtro supresor de banda. (a) Gráfica ideal; (b) Gráfica real.

Todos los tipos de filtros mencionados con anterioridad se simbolizan en los diagramas eléctricos de la siguiente forma:

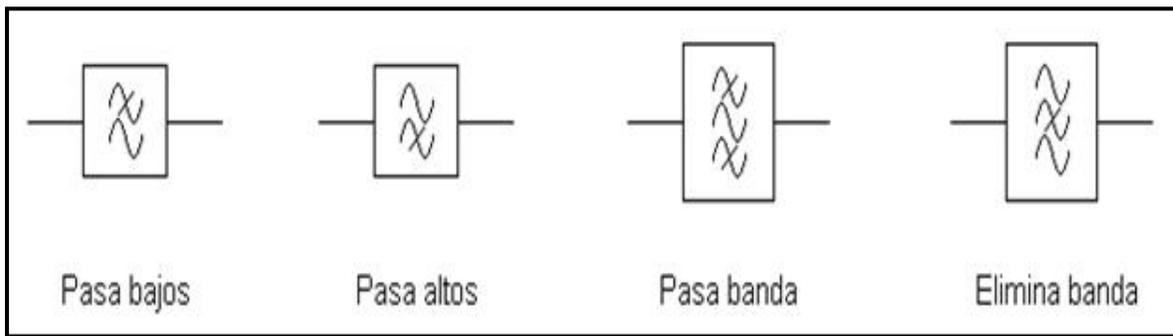


FIGURA 1.1.15 Simbología de filtros en diagramas eléctricos.

De acuerdo a las gráficas mostradas, se pueden observar tres regiones en cada una:

- **Banda de paso:** Es el rango de frecuencias que el filtro deja pasar en función de la frecuencia de corte ($\mathbf{W_C}$).
- **Banda de supresión:** Es el intervalo de frecuencias que el filtro atenúa en función de la frecuencia de supresión ($\mathbf{W_S}$).
- **Banda de transición:** Se encuentra entre las dos bandas anteriores y está delimitada por la frecuencia de corte y la de supresión.

1.2 Radiofrecuencia.

Radiofrecuencia o RF, es el término que se aplica a una parte del espectro electromagnético (figura 1.2.1) que se utiliza para la transmisión de información de un punto a otro, sin el uso de un medio conductor entre ambos.

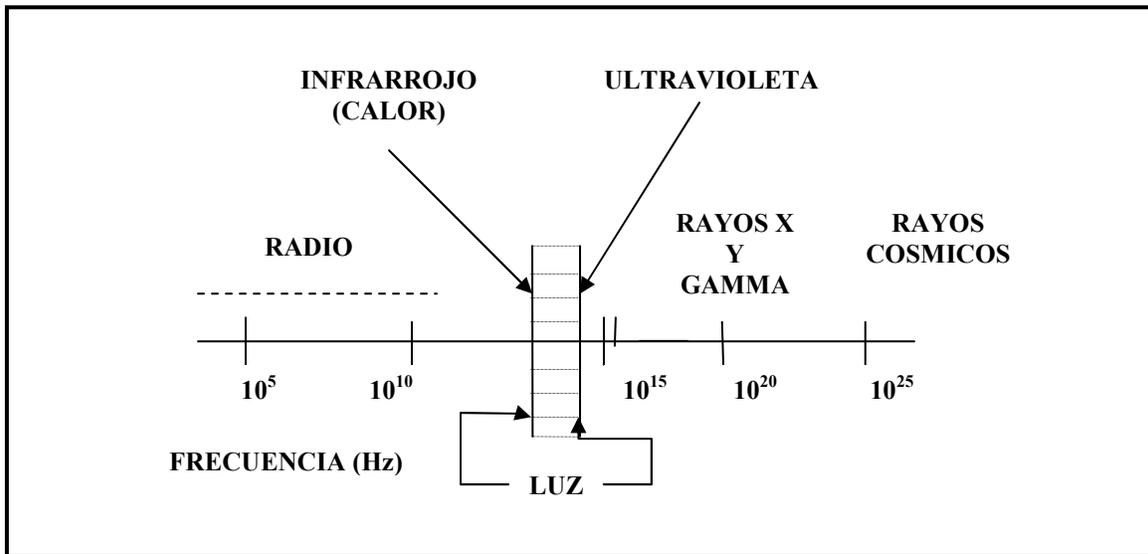


FIGURA 1.2.1 Bosquejo parcial del espectro electromagnético y la ubicación de las ondas de radio.

La tabla 1.2.1 muestra el espectro de radiofrecuencia, donde cada intervalo de frecuencia equivale a un **número de banda (N)**, que se refiere al número al que se eleva la base 10 para dar una potencia que va a ser factor del intervalo 0.3 a 3.0, lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$(0.3 - 3.0) 10^N$$

Intervalo de Frecuencia	Número de Banda (N=)	Denominación según los adjetivos en inglés	Ondas con denominación métrica
3 — 30 KHz	4	VLF	Miriamétricas
30 — 300 KHz	5	LF	Kilométricas
300 — 3000 KHz	6	MF	Hectométricas
3 — 30 MHz	7	HF	Decamétricas
30 — 300 MHz	8	VHF	Métricas
300 — 3000 MHz	9	UHF	Decimétricas
3 — 30 GHz	10	SHF	Centimétricas
30 — 300 GHz	11	EHF	Milimétricas
300 — 3000 GHz	12	—	Decimilimétricas

TABLA 1.2.1 Espectro de radiofrecuencia⁽¹⁴⁾

De la tabla anterior se desprende la designación métrica de las ondas, la cual se le da debido al valor de su longitud de onda (analizado en el subtema anterior), anteponiendo a la palabra métrica el múltiplo o submúltiplo métrico en el cual se mide la longitud de onda, observe la tabla 1.2.2:

Tipo de onda	Designación métrica	Explicación
HF	Decamétricas	Porque están entre 1 y 10 decámetros (1decámetro = 10m).
VHF	Métricas	Están entre 1 y 10 metros.
UHF	Decimétricas	Están entre 1 y 10 decímetros.

TABLA 1.2.2 Ejemplos de la designación métrica de las ondas de radiofrecuencia.

Según el tipo de onda es el uso al que se destinará la misma, es por eso que es importante conocer cuales son éstos usos, así como las características de cada banda de frecuencias.

Banda de frecuencias muy bajas (VLF - Very Low Frequencies).

Este tipo de ondas incluyen la parte alta de lo que capta el oído humano, de 15 a 20 KHz; para su propagación se hace uso de la reflexión tanto en la superficie de la tierra como en la ionosfera para lograr un largo alcance. Se usan poco estas ondas debido a su sensibilidad a los cambios atmosféricos, lo costoso de las instalaciones para radiotransmitir y por poseer un ancho de banda estrecho con poca capacidad de canales. Su uso se aplica a instrumentos musicales, comunicaciones del gobierno y militares.

Banda de frecuencias bajas (LF – Low Frequency).

Esta banda de frecuencias también recibe el nombre de **banda de ondas largas (OL)**, cuya propagación es común con onda de superficie, pero tiene poca inmunidad a perturbaciones atmosféricas, por lo que con su uso ya se consideran efectos inductivo-capacitivos en los circuitos electrónicos. A comparación de las ondas VLF se dispone de un ancho de banda diez veces mayor, por lo que estas ondas son usadas en la navegación aeronáutica y marítima.

Banda de frecuencias medias (MF – Mean Frequencies).

En el intervalo de frecuencias de ésta banda se encuentra el intervalo de radiodifusión de AM (535 a 1605 KHz) que corresponde a la banda denominada **banda de onda media (OM)**; también en este intervalo de frecuencias se encuentran la **onda pesquera** y la **onda corta (OC)**⁽¹⁵⁾, usada en radiodifusión tropical así como comunicaciones en estaciones fijas, teletipo. Se propagan con onda de superficie y sólo en distancias cortas; para transmisiones largas se utilizan ondas de cielo en la ionosfera.

Banda de frecuencias altas (HF – High Frequencies).

También es llamada banda de onda corta porque la propagación de estas ondas (lo cual se analizará en el subtema 1.5), por onda de tierra, se utilizan en distancias cortas pues se atenúan demasiado. Además de la onda de tierra, se utiliza la onda de cielo con reflexiones repetidas entre las capas ionosféricas más altas y la superficie terrestre, alcanzando distancias intercontinentales y continentales.

Se aplican en comunicaciones gubernamentales, servicios militares, banda de aficionados y banda civil, aunque cabe mencionar que sufren desvanecimientos fluctuantes por los cambios ionosféricos.

Banda de frecuencias muy altas (VHF – Very High Frequencies).

Se usan para distancias no más allá de la línea de vista permitida por la curvatura terrestre⁽¹⁶⁾, por lo que la propagación de éstas ondas se realiza con propagación por onda directa y reflejada de tierra, pero para una frecuencia mayor a 50 MHz se utiliza la onda espacial, que es la forma más usada para ésta banda.

Su rango de aplicaciones abarca radio móvil, comunicaciones marítimas y aeronáuticas, radiodifusión por FM (88 a 108 MHz) y los canales de televisión del 2 al 13. La banda VHF es muy utilizada debido a que posee un mayor ancho de banda.

Banda de frecuencias ultra altas (UHF – Ultra High Frequencies).

Las ondas en éste intervalo de frecuencias se propagan por onda de tierra (onda directa y reflejada de tierra con poca contribución de onda de superficie, a menos que la distancia sea muy corta), con distancias limitadas al alcance en línea de vista, pues debido a los obstáculos que encuentra la onda a su paso, la atenúan mucho, siendo necesario el uso de transmisores con buena potencia.

Por lo anterior, es necesario el uso de repetidoras dependiendo de la irregularidad del terreno y, si las portadoras están en la parte media o alta de la banda, se instalan a menos de 50 Km entre ellas. Para un medio de transmisión inalámbrico, la misma señal radiada contribuye con efectos de difracción alrededor de la superficie terrestre y los de refracción en las capas atmosféricas.

Su aplicación incluye los canales de televisión de ultra alta frecuencia (UHF) del 14 al 67, servicios móviles de comunicación en tierra y telefonía celular, así como comunicaciones militares y alguna porción de éste banda es utilizada por servicios de radar y de navegación.

Banda de frecuencias superaltas (SHF – Super High Frequencies).

También es llamada **banda de microondas** de la cual la banda SHF es una subbanda (figura 1.2.2). Las ondas en ésta banda de frecuencias tienen longitudes de onda tan cortas que exhiben propiedades parecidas a la luz desde que empiezan a viajar, y para su uso se han hecho divisiones por sub-bandas para utilizarlas, por ejemplo, en el radar, telefonía, televisión, datos, telegrafía, etc. (véase figura 1.2.3), donde los tipos de modulación más usados son la modulación en frecuencia (FM) y el multiplexaje por división de bandas de frecuencias (FDM).

El modo principal de propagación para estas ondas es utilizando la onda espacial, haciendo uso de antenas parabólicas para medios inalámbricos, y para largas distancias se usan estaciones retransmisoras en relevo, tanto en tierra como en satélite artificial. Las estaciones de tierra están a línea de vista a 45 Km o menos por la atenuación, y se evitan los obstáculos del terreno aunque se presentan dos tipos de desvanecimiento de la onda:

- **Desvanecimiento plano**, en el cual la onda fluctúa debido a cambios atmosféricos.
- **Desvanecimiento por interferencia**, en donde el único efecto atmosférico es debido a la dispersión de la troposfera, la difracción resultado de los obstáculos en la superficie terrestre y la reflexión en algunas zonas; en conjunto, ocasionan las multitrayectorias de las ondas.

Cabe mencionar que hay atenuación por los efectos en el espacio libre en el uso de satélites artificiales⁽¹⁷⁾, pero son mínimos gracias a los ángulos utilizados en el posicionamiento de las antenas parabólicas.

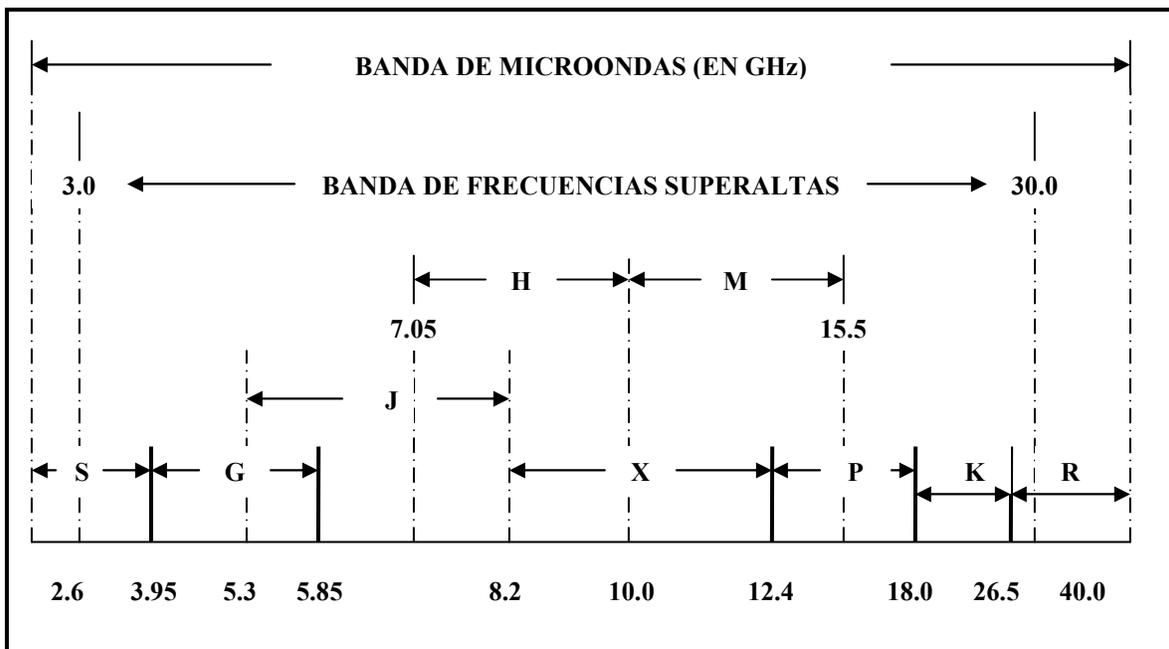


FIGURA 1.2.2 Las distintas literales para nombrar las sub-bandas que componen la banda de microondas.

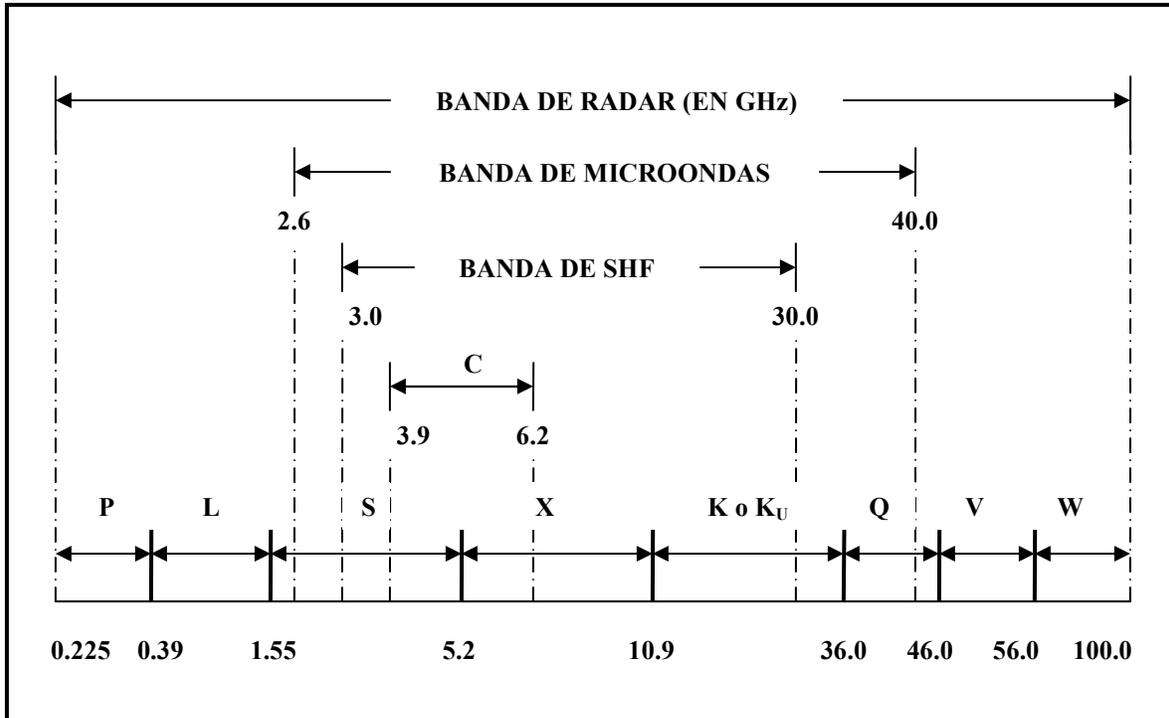


FIGURA 1.2.3 Las diferentes literales para denominar las subbandas que se acomodaban dividiendo la banda de radar.

Banda de frecuencias extremadamente altas (EHF – Extremely High Frequencies).

Los componentes de circuitos electrónicos para generar, procesar, transmitir y recibir en estas frecuencias son de tamaño milimétrico, por lo que no es accesible la banda por lo costoso de sus componentes de transmisión y recepción. Otra desventaja del uso de ésta banda, es que las ondas al propagarse se atenúan más que en otras bandas, pero aún así, su uso se encuentra en comunicaciones por satélite y radares especializados.

1.3 Transmisión y Recepción.

Todo sistema de comunicaciones se compone de tres elementos fundamentales que son el transmisor (Tx), el receptor (Rx) y el canal o medio de comunicación, observe la figura 1.3.1:

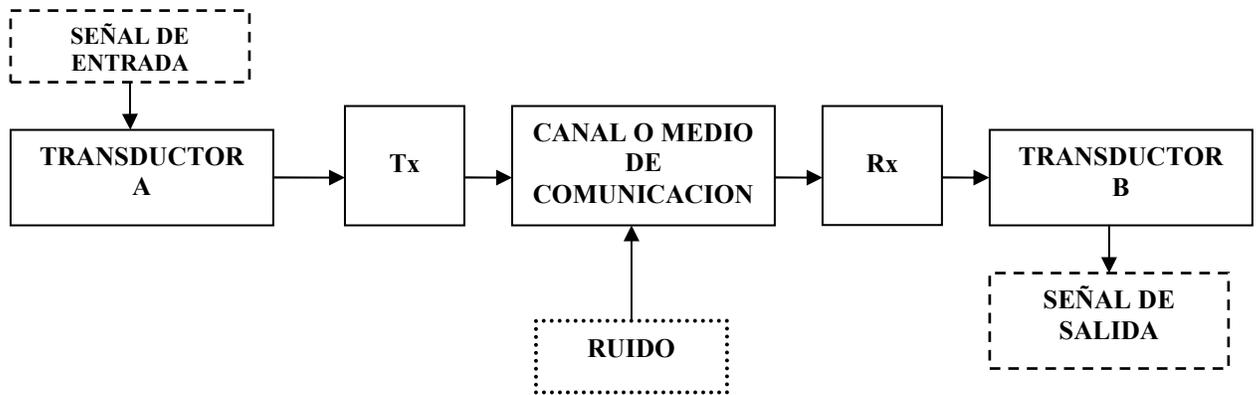


FIGURA 1.3.1 Elementos de un sistema de comunicación.

De acuerdo a lo anterior, cada una de las partes de éste sistema realiza una función específica que se describe a continuación:

Señal.

Es un fenómeno físico en el cual uno de sus parámetros puede ser modificado. La señal usualmente es un voltaje o corriente ya sea continua en el tiempo (analógica) o discreta en el tiempo (digital). La fuente de la señal puede ser audio, video, datos de computadora, etc.

Transductor (A y B).

Debido a que la señal producida por una fuente no es eléctrica, se requiere de un elemento que la transforme en una magnitud eléctrica, trabajo que realiza un transductor, cuya función es transformar una señal de una variable física en una señal de tipo eléctrico. Las características básicas de un transductor son:

Rango

Ancho de banda

Sensibilidad

Características del consumo de energía

Precisión

Histéresis

Linealidad

Un transductor, por ejemplo, es un micrófono, el cual transforma el sonido en una señal electrónica de audio o una cámara que transforma la información luminosa en una señal de video.

Transmisor (Tx).

Está formado por un conjunto de circuitos electrónicos que modifican la señal de tal forma que pueda enviarse por un canal de comunicación específico. De acuerdo a la forma con que sale la señal del transmisor se tienen dos formas de transmisión:

- **Transmisión en banda base:** Es aquella en la que la señal original (voz, audio) se pone dentro del medio directamente, como por ejemplo, en algunos sistemas telefónicos (distancias cortas).

- **Transmisión en banda ancha:** Se denomina transmisión en banda ancha cuando, utilizando la señal en banda base para modular a una portadora (que es una señal de alta frecuencia generada por un oscilador), se transmite una señal modulada. Las formas en que la señal de banda base pueden modular la portadora son: modulación en amplitud (AM), modulación en frecuencia (FM) y modulación de fase (PM), de donde se desprende que la modulación de fase produce modulación de frecuencia, y ambas son, por eso, formas de modulación angular. ⁽¹⁸⁾

Canal o medio de comunicación.

Es el medio por el cual viaja la señal, y hay distintos tipos según las necesidades. Así por ejemplo, se tiene:

- **Conductores eléctricos:** Se consideran como medio ya que proporcionan el enlace entre una fuente y un destino, como por ejemplo, de un micrófono a unos audífonos o cable coaxial para señal de televisión.
- **Medio óptico:** Se refiere al uso de fibra óptica, la cual transmite la señal en una onda de luz, lo que es muy usado en telefonía.
- **Espacio libre:** Usado por el sistema de radio, utilizando el espectro electromagnético, ya que envía la señal como onda electromagnética de un punto a otro a una frecuencia determinada.

Ruido.

Es una señal aleatoria e impredecible, que está presente en todo sistema y no se puede eliminar. Como algunos tipos de ruido más comunes se tienen:

- **Interferencia:** Se da cuando la señal es afectada por otras señales con las mismas características.

- **Distorsión:** Se da en el mismo sistema a causa de sus componentes.

Receptor.

Está formado por un conjunto de circuitos electrónicos que permiten recuperar la señal original de la señal enviada, esto es, convierte la señal en una forma inteligible para los humanos. Esta puede ser una señal de voz enviada a un locutor ó de video que se transforma en imagen mediante un televisor.

Ahora bien, para el caso particular de éste trabajo, a continuación se muestra un diagrama a bloques de un transmisor y receptor de radio, explicando cada una de sus etapas de funcionamiento (figura 1.3.2):

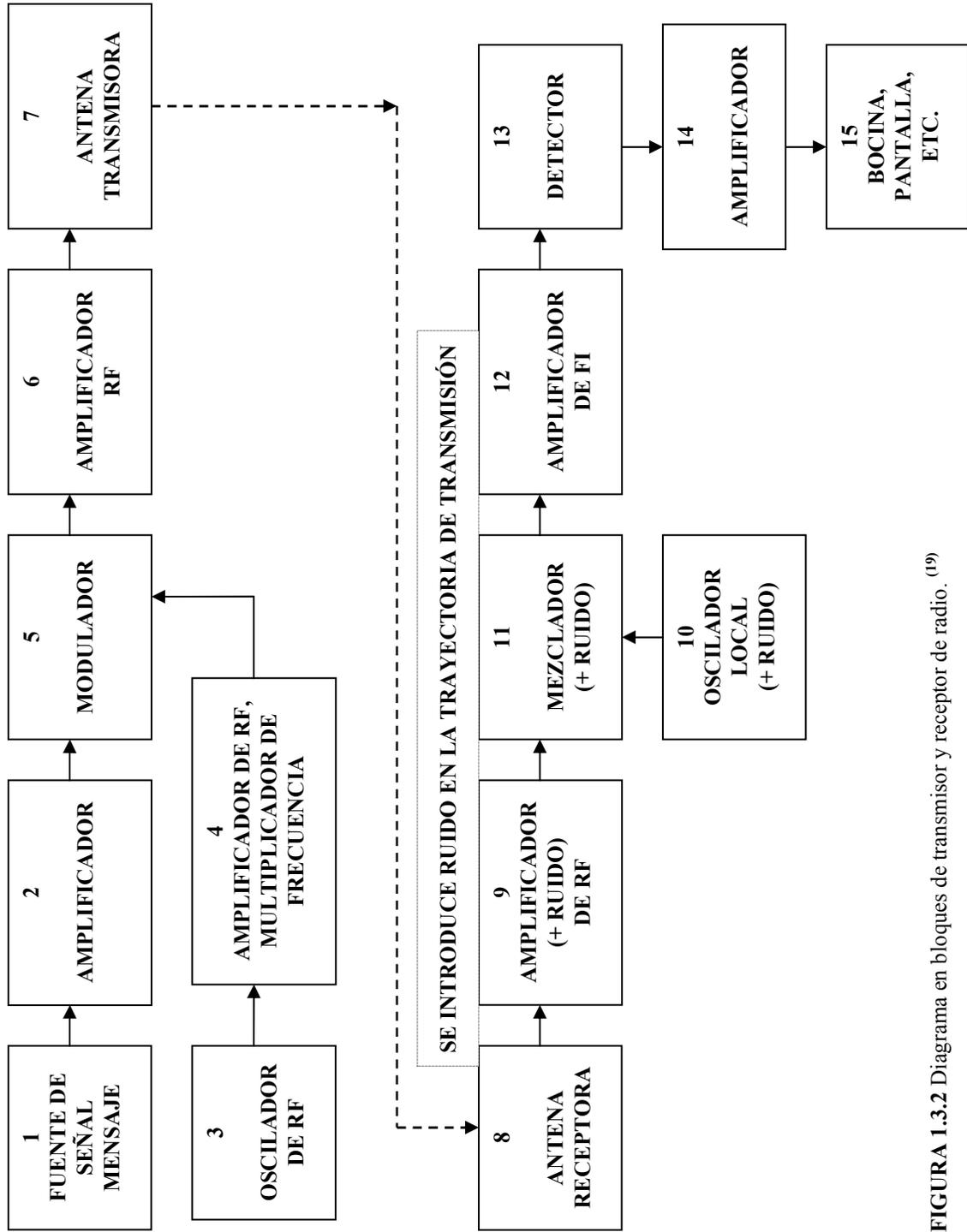


FIGURA 1.3.2 Diagrama en bloques de transmisor y receptor de radio. ⁽¹⁹⁾

El proceso de transmisión y recepción de un sistema de radio, en base a los elementos de la figura 1.3.2 se explican a continuación:

1. **La fuente de la señal mensaje** puede ser un micrófono, una pastilla de fonógrafo, una cámara de televisión u otro dispositivo que transforme la información deseada en señal eléctrica.
2. **La señal se amplifica** y a menudo se pasa por un filtro de paso bajo que limita la anchura de banda.
3. **El oscilador de RF** establece la frecuencia portadora o algún submúltiplo de ella. Como se requiere una buena estabilidad de frecuencia para mantener el transmisor en la frecuencia asignada, el oscilador se controla usualmente por un cristal de cuarzo.
4. **Uno o más pasos de amplificación** aumentan el nivel de potencia de la señal proveniente del oscilador, hasta que alcance el requerido para excitar al modulador. Se usa la operación en clase C, siempre que sea posible, para obtener una alta eficiencia. Al sintonizar los circuitos de salida con una armónica de la frecuencia de entrada, se obtiene una “multiplicación de frecuencia” de tal manera que la frecuencia final de portadora puede ser un múltiplo de la frecuencia del oscilador.
5. **El modulador** combina las componentes de frecuencia de señal y portadora podrá producir una de las variedades de las ondas moduladas (...). En el sistema simplificado de la figura 1.3.2, el espectro de señal de salida se halla en la vecindad de la frecuencia deseada de portadora en RF. En muchos transmisores se insertan un oscilador y un mezclador secundarios (semejantes a los bloques 10 y 11) entre los bloques 5 y 6, con objeto de correr la señal modulada hasta un rango de frecuencias más alto.
6. **Puede requerirse amplificación adicional** después de la modulación, para llevar el nivel de potencia de señal hasta el valor deseado para la entrada de antena.

7. **La antena de transmisión** convierte la energía de RF en una onda electromagnética con la polarización deseada. Si ésta debe llegar a un receptor único (fijo), se diseña la antena para dirigir tanta energía como sea posible hacia la antena receptora.
8. **La antena receptora** puede ser omnidireccional para servicio general, o altamente direccional para comunicación de punto a punto. La onda que se propaga desde el transmisor induce un voltaje pequeño en la antena receptora. El rango de amplitudes del voltaje inducido en la antena va desde decenas de milivolts hasta valores menores de 1 microvolt, dependiendo de muchas condiciones.
9. **La etapa de amplificación de RF** incrementa la potencia de señal hasta un nivel adecuado para excitar al mezclador y ayuda a aislar al oscilador local de la antena. Este paso no tiene un alto grado de selectividad de frecuencia, pero conviene para eliminar las señales de frecuencias muy alejadas del canal deseado. Es correcto que el incremento de nivel de potencia de señal sea anterior a la etapa mezcladora, en virtud del ruido que se introduce inevitablemente en esta etapa.
10. **El oscilador local** en el receptor se sintoniza para producir una frecuencia f_{LO} que difiera de la señal entrante f_{RF} en un valor f_{IF} , o sea el de la frecuencia intermedia; es decir, f_{LO} puede ser igual a $f_{RF} + f_{IF}$ o $f_{RF} - f_{IF}$.
11. **El mezclador** es un dispositivo no lineal que desplaza la señal recibida en f_{RF} a la frecuencia intermedia f_{IF} . La modulación de la portadora recibida se transforma también a la frecuencia intermedia.
12. **El amplificador de FI** incrementa la señal a un nivel adecuado para la detección y suministra la mayor parte de la selectividad de frecuencia necesaria para “pasar” la señal deseada y eliminar las señales indeseables que haya a la salida del mezclador. Como los circuitos sintonizados de los bloques 11 y 12 operan siempre en una frecuencia fija f_{IF} , se pueden diseñar para dar una buena selectividad. Los filtros de cerámica o de cristal se usan muy a menudo.

13. **El detector** recupera la señal mensaje original a partir de la entrada de FI modulada.
14. **El amplificador de audio o video** aumenta el nivel de potencia de la salida del detector hasta un valor conveniente para excitar una bocina, un tubo de televisión y otro dispositivo de salida.
15. **El dispositivo de salida** convierte la información de señal a su forma original (ondas sonoras, imágenes, etc.). La señal deseada que se procesa en el receptor, ca acompañada del ruido eléctrico que se introdujo en la trayectoria de transmisión y se genera dentro del amplificador de RF, en el oscilador local, en el mezclador y en otros dispositivos. El diagrama de bloques de la figura 1.3.2 es sólo ilustrativo. En la práctica, se encuentran tantas variaciones en los sistemas de transmisor y receptor que no hay un solo diagrama que pueda considerarse típico. (...).⁽²⁰⁾

Hay tres factores primordiales en la transmisión / recepción de información: la línea de transmisión (es el enlace entre el transmisor o receptor y la antena), la antena y la forma de propagación de las ondas en el espacio libre, pues cada elemento cumple con ciertas características para lograr éste propósito.

1.4 Líneas de Transmisión.

Como se dijo anteriormente, las líneas de transmisión son el enlace entre el transmisor ó receptor con la antena, y sus características influyen en el diseño de ellas.

Como primer consideración se toma en cuenta que: la corriente por un conductor se produce a una velocidad no mayor que la de la luz, y el hecho de que circule la corriente en dos conductores paralelos conectados a un generador, que nunca se encuentran, es porque con un voltaje se forma un campo eléctrico, y dos conductores próximos forman un condensador; si los conductores son iguales a infinito, la capacidad del condensador también, por lo tanto, siempre habrá carga, sólo cuando el generador este conectado.

Ahora bien, por todo conductor por el que circula una corriente, va a tener una cierta inductancia por unidad de longitud, es decir, equivale a una bobina, entonces el par de conductores se puede representar como una sucesión de bobinas y condensadores (figura 1.4.1).

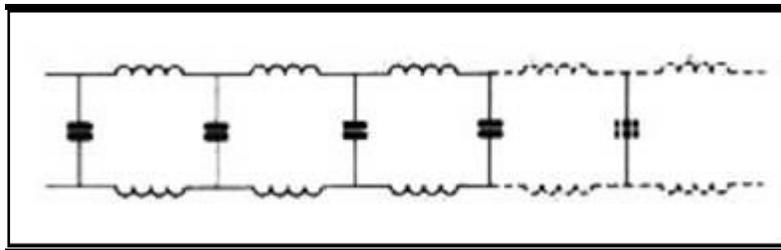


FIGURA 1.4.1 Diagrama equivalente a una línea de transmisión.

Con base a lo anterior, una línea de transmisión tiene una impedancia característica denominada Z_0 y es igual a:

$$Z_0 = L / C$$

Donde:

L = Inductancia

C = Capacitancia por unidad de longitud.

Z_0 equivale a una resistencia pura, por lo que una línea de transmisión absorbe la potencia del generador. Cuanto mayor sea el diámetro de un conductor menor inductancia presenta la línea de transmisión, y cuanto mayor sea la separación entre los conductores, menor será la capacitancia.

En las líneas de transmisión se presentan dos situaciones: cuando la resistencia de carga es igual a infinito ($R = \infty$) y cuando la resistencia de carga es igual a cero ($R = 0$) en una línea de transmisión, las cuales son:

- **Cortocircuito ($R = 0$).**

“Introduciendo una corriente alterna en la línea (tal como lo indica la figura 1.4.2a), en el cortocircuito existirá siempre un punto de mínima tensión y de máxima intensidad (figura 1.4.2b y c).

El efecto es equivalente al de una onda que rebota contra una pared, invierte su sentido y retorna al generador, pero este retorno se efectúa con un cambio de fase de 180° , por lo que tendremos las corrientes y tensiones tal como se muestra en las figuras 1.4.2d y e.

La combinación de la corriente y la tensión que llega y las que retornan, al medirlas con un voltímetro o amperímetro de radiofrecuencia se observa que son máximos en unos puntos de la línea y, mínimos en otros y que estos puntos son invariables (figura 1.4.2f). A una onda de éste tipo se le llama onda estacionaria.”⁽²¹⁾

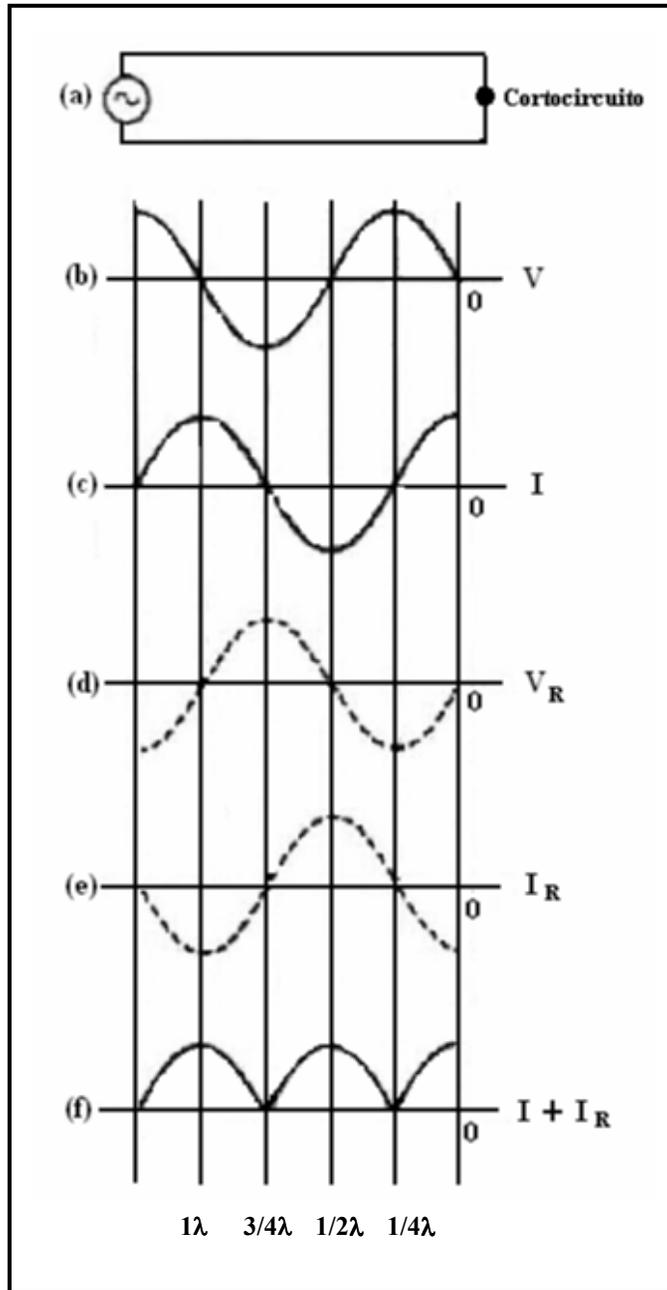


FIGURA 1.4.2 Tensión e intensidad en una línea en cortocircuito.

- **Circuito abierto ($R = \infty$).**

Sucede algo similar a los procesos citados en el concepto anterior, con la diferencia de que ahora el voltaje es máximo y la corriente mínima (figura 1.4.3).

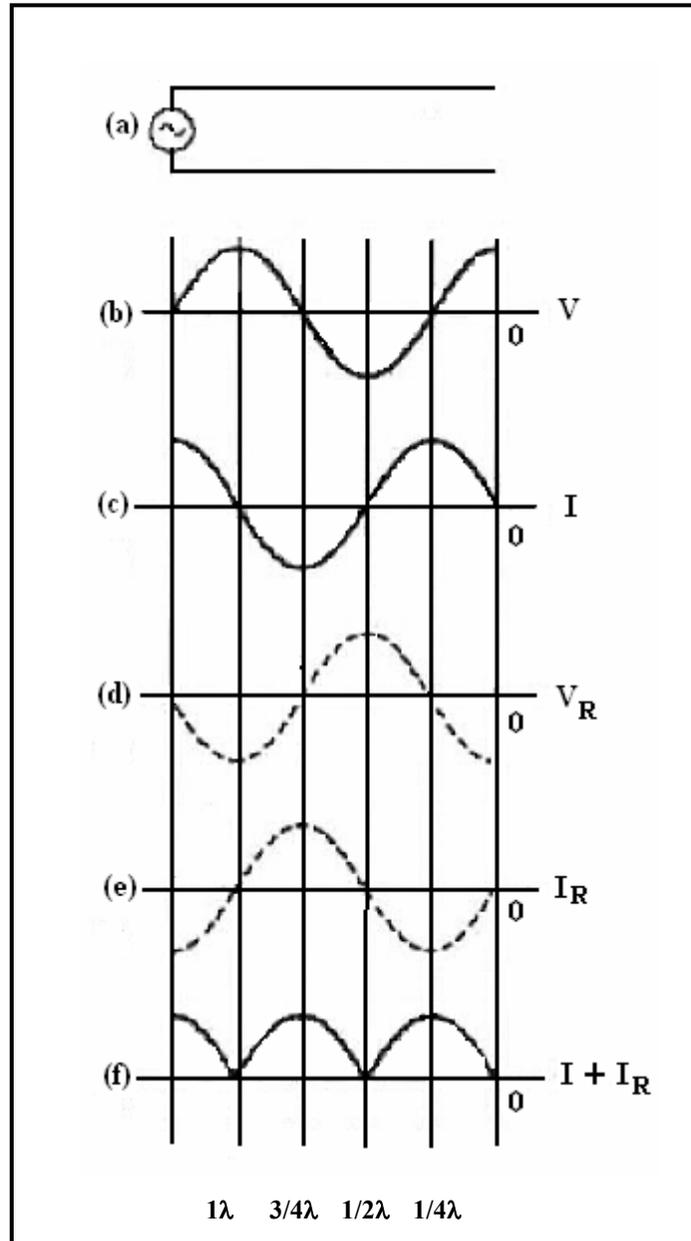


FIGURA 1.4.3 Tensión e intensidad en una línea en circuito abierto.

Concluyendo a todo lo mencionado, se observa que el comportamiento de la línea de transmisión depende del valor de la resistencia de carga en su extremo, por lo que entonces se tienen las siguientes condiciones:

Si $R = Z_0 \Rightarrow$ La línea de transmisión está equilibrada.

$R < Z_0 \Rightarrow$ La línea de transmisión se comporta como un cortocircuito.

$R > Z_0 \Rightarrow$ La línea de transmisión se comporta como un circuito abierto.

En una línea de transmisión existe una expresión denominada **ROE (Relación de Ondas Estacionarias)**, o también llamada con sus siglas en inglés **SWR (Standing Wave Ratio)**, que relaciona la corriente (o voltaje) máxima y la mínima en una línea, la cual se escribe de la siguiente forma:

$$\mathbf{ROE = I_{MAX} / I_{MIN}}$$

En caso de cortocircuito o circuito abierto la **ROE = ∞** pues la **$I_{MIN} = 0$** .

Aunque la ROE no determina la magnitud de la carga, es posible saber si es mayor, igual o menor, tomando la medida del voltaje o la corriente a lo largo de la línea de transmisión. Para el caso de la corriente se tienen las siguientes consideraciones:

- **Si hay una distancia a la carga de 1/4 de longitud de onda ($1/4\lambda$) ó algún múltiplo impar de λ , entonces $R < Z_0$.**
- **Si la I_{MIN} se produce a $1/2\lambda$ ó cualquier múltiplo de ella, entonces $R > Z_0$.**

Si se midiera voltaje en la línea, las consideraciones anteriores se invertirían.⁽²²⁾

Otras formas de expresar la ROE son:

$$\mathbf{ROE = Z_0 / R, \text{ si } Z_0 > R}$$

$$\text{ROE} = R / Z_0, \text{ si } R > Z_0$$

Cuando una línea está equilibrada, la ROE es 1:1 (una ROE mínima), lo que significa que no hay ROE, mientras que una ROE máxima es infinito a 1 ($\infty : 1$).

Los efectos que provoca la ROE en una línea de transmisión son los siguientes:

- **La ROE provoca que la carga no absorba toda la energía suministrada por la línea.**
- **El transmisor se puede encontrar con una corriente (I) y un voltaje (V) superiores a los que puede soportar con seguridad, lo que provoca daño al equipo.**
- **La línea de transmisión aumenta sus pérdidas si la ROE es elevada.**

La única forma de trabajar con la ROE es utilizando “**acopladores de antena**” de buena calidad, entre el transmisor y la línea, pues la ROE siempre va a existir y por lo tanto solo se pueden disminuir sus efectos en cierto grado. Una ROE de 1.5:1 es admisible para trabajar, una ROE de 2:1 implica problemas con equipos transistorizados y una ROE de 3:1 es totalmente desaconsejada.⁽²³⁾

Las líneas de transmisión se dividen en dos grupos:

- **Bifilares:** Son líneas con dos hilos conductores separados por un dieléctrico, o por separadores cada cierta distancia, usualmente cada 30cm (ver figura 1.4.4a y b).
La Z_0 de éste tipo de línea es:

$$Z_0 = 276 \log (d / r) [\Omega]$$

Donde: d = Distancia entre centros de conductores
 r = Radio de un conductor
 d y $r \Rightarrow$ deben ser unidades homogéneas

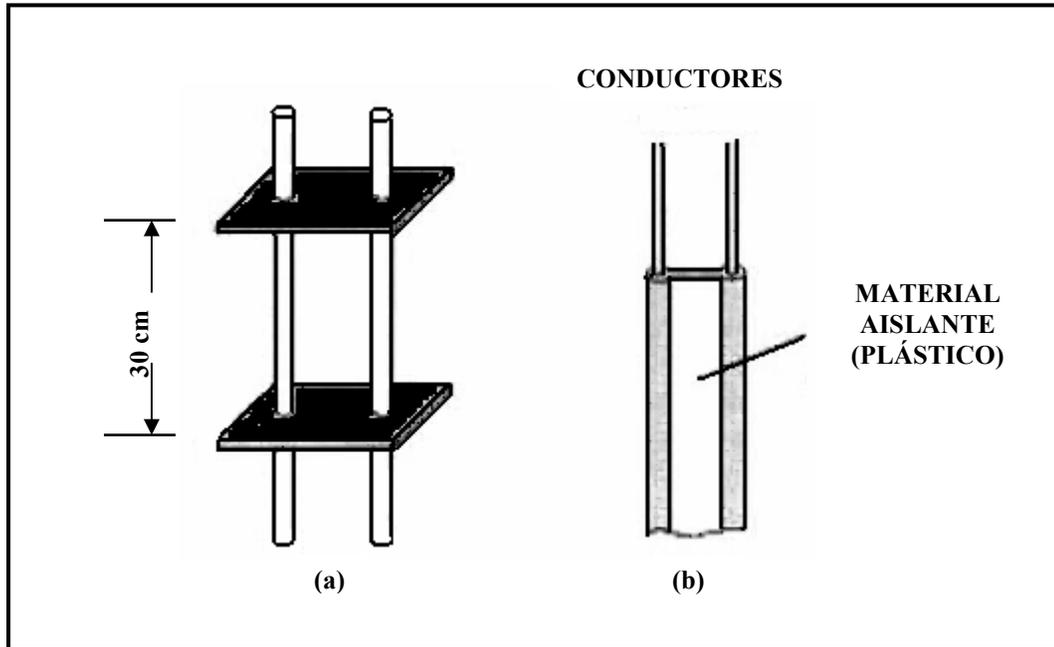


FIGURA 1.4.4 (a) Línea bifilar con separadores, (b) Línea bifilar normal.

- **Coaxial:** Consta de un hilo conductor interno rodeado de un material plástico como poliuretano o polietileno, encima del cual hay una malla metálica cubierta a la vez por una capa de polivinilo o caucho (figura 1.4.5). También hay cables coaxiales en los que en lugar del material plástico interno, utilizan dieléctrico de aire⁽²⁴⁾ el cual tiene una Z_0 dada por:

$$Z_0 = 138 \left(\frac{D_E}{D_I} \right) [\Omega]$$

Donde: D_E = Diámetro interno del conductor externo.

D_I = Diámetro del conductor interno.

Si el dieléctrico es diferente del aire entonces:

$$Z_0 = [138 (D_E / D_I)] [1 / \sqrt{k}]$$

Donde k = Factor dependiente del dieléctrico.

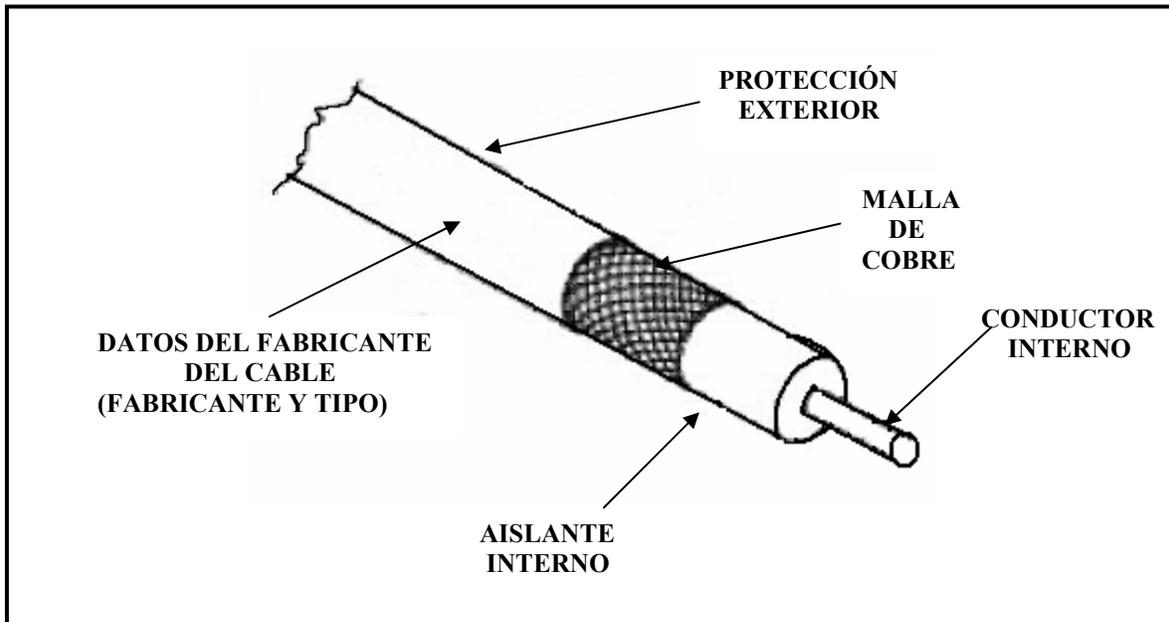


FIGURA 1.4.5 Esquema de un cable coaxial.

Una línea de transmisión va a tener como características las siguientes:

- **Longitud:** Toda línea de transmisión además de tener longitud física, tiene longitud eléctrica puesto que se debe tomar en cuenta que la corriente no se desplaza con una velocidad igual a la de la luz (c), sino con una velocidad menor en la línea. Al cociente entre la velocidad real y la de la luz, se denomina **coeficiente de velocidad**, el cual se expresa con V_C y siempre es menor que 1.

Para determinar la longitud de onda en una línea de transmisión se utiliza la expresión:

$$\lambda_L = \lambda * V_C = (c / f) * V_C$$

Donde:

λ_L = Longitud de onda en la línea de transmisión.

V_C = Coeficiente de velocidad en la línea.

El coeficiente de velocidad en la línea va a depender del tipo y materiales con que esté hecha la misma, donde se toma en cuenta que mientras menos dieléctrico haya en la línea, mayor es la velocidad de propagación.

La tabla 1.4.1 muestra el coeficiente de velocidad para algunos tipos de línea.

TIPO DE LINEA	DENOMIANCIÓN MÁS CORRIENTE O MARCA	IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA $Z_0 (\Omega)$	FACTOR DE VELOCIDAD V_C
Coaxial con dieléctrico de polietileno.	RG – 58	52	0.66
	RG – 58a		
	RG – 58A / U		
	RG – 59	75	0.66
	RG – 59A		
	RG – 59A / U		
	RG – 8	52	0.66
RG – 8A			
RG – 8A / U			
	RG – 213	75	0.66
Coaxial con dieléctrico de espuma.	RG – 11	52	0.66
	RG – 17	52	0.79
	RG – 58	75	0.79
	RG – 59	52	0.80
	RG – 8		

Coaxial con dieléctrico de aire	“POPE” “BAMBOO”	75	0.82
TIPO DE LINEA	DENOMIANCIÓN MÁS CORRIENTE O MARCA	IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA Z_0 (Ω)	FACTOR DE VELOCIDAD V_c
Línea plana de hilos desnudos	-----	Variable	0.97
Línea plana tipo televisión con dieléctrico continuo	-----	200 – 300	0.82
<p>Nota: Si bien las líneas con dieléctrico de polietileno y con dieléctrico de espuma de poliuretano tienen las mismas denominaciones, es muy fácil distinguirlas ya que el polietileno es bastante duro y cuesta cortarlo, mientras que el de espuma de poliuretano es blando y fácil de cortar.</p>			

TABLA 1.4.1 Coeficiente de velocidad de algunos tipos de líneas de transmisión.⁽²⁵⁾

- **Pérdidas:** Parte de la energía que transporta la línea de transmisión se transforma en calor y ya no es utilizable por lo que hay pérdidas, las cuales se producen por:
 - **Resistencia óhmica.-** Todo conductor la posee y es mayor conforme la línea de transmisión sea más larga, disipa en calor parte de la potencia transmitida. La resistencia es independiente de la frecuencia.

- **Pérdidas en el dieléctrico.-** Dependen de su espesor, tipo y la frecuencia a la que se emplee, por lo que el aire es el mejor dieléctrico, ya que tiene bajas pérdidas.

Las pérdidas se expresan en decibeles por unidad de longitud, que usualmente son en decibeles por cada cien metros (dB / 100m) de acuerdo a fabricantes. Es recomendable usar calibres grandes para frecuencias mayores a 10 MHz y pequeños (o de menor calibre) para conexiones cortas o frecuencias menores a 10 MHz.

La tabla 1.4.2 muestra las pérdidas que tienen ciertos tipos de línea de transmisión.

TIPO DE LINEA	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	PÉRDIDAS SEGÚN FRECUENCIAS EN MHz						
		3.5	7	14	21	28	144	432
RG – 58	5	2.23	3.28	4.92	6.23	7.22	18.7	34.1
RG – 59	6	2.01	2.95	4.26	5.25	5.9	13.77	23.6
RG – 58 Poliuretano	5	1.7	2.62	3.6	4.6	5.57	13.5	25.4
RG – 59 Poliuretano	6	1.57	2.3	3.28	3.94	4.59	11.2	20.0
RG – 8	10.3	0.98	1.47	2.16	2.72	3.21	8.2	15.74
RG – 8 Poliuretano	10.3	0.89	1.44	2.0	2.49	2.95	7.21	12.8
RG – 11	10.3	1.25	1.8	2.6	3.21	3.77	9.18	16.0
BAMBOO 6	10	-	-	1.4	1.7	2.0	4.5	7.9
BAMBOO 3	17.5	-	-	0.7	0.83	1.0	2.3	4.2
Bifilar aire	-	0.1	0.16	0.23	0.26	0.33	0.82	1.28
Bifilar TV	-	0.59	0.92	1.34	1.7	1.97	5.1	9.18

TABLA 1.4.2 Pérdidas en líneas de transmisión en db por cada 100m.⁽²⁶⁾

1.5 Antenas y Propagación.

“Una antena es un conductor o par de conductores a los cuales se aplica el voltaje de ac en la frecuencia deseada.”⁽²⁷⁾

La definición del concepto anterior, se debe a que, al igual que una línea de transmisión una antena está hecha de un conductor o conductores, aunque las líneas de transmisión a diferencia de las antenas no radian con eficacia las señales de radio, debido a que los conductores de una línea de transmisión están diseñados de tal manera que los campos eléctrico y magnético están contenidos.

Ahora bien, si la línea de transmisión antes mencionada se deja abierta en sus extremos, los campos eléctrico y magnético radian al espacio, pero no son suficientes para la transmisión o recepción; en cambio, si se doblan los conductores aproximadamente $\lambda / 4$ a la frecuencia de operación, los campos magnéticos no se cancelan y el campo eléctrico, por lo tanto, irá de extremo a extremo de los conductores logrando una radiación óptima, formando lo que se denomina una **antena dipolo** (figuras 1.5.1).

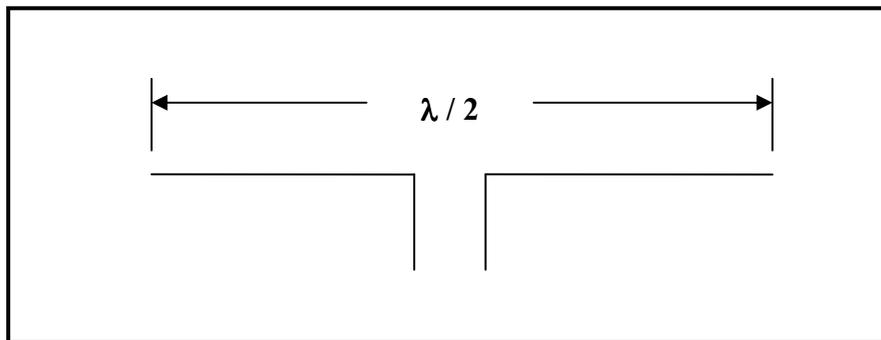


FIGURA 1.5.1 Antena Dipolo.

Una antena es capaz de radiar las ondas, porque cuando por ella circula una corriente alterna a una alta frecuencia, ésta, teniendo un movimiento ascendente y descendente (debido al medio ciclo positivo y negativo), hace vibrar la antena provocando la emisión de ondas (ver figura 1.5.2).

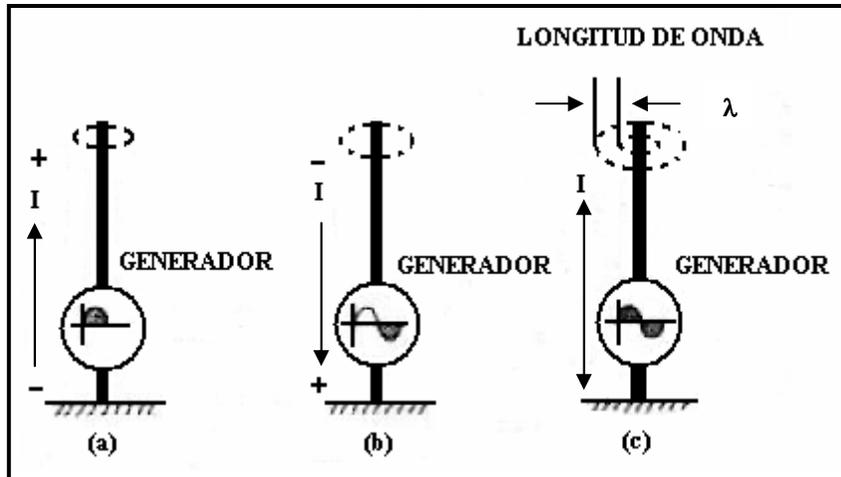


FIGURA 1.5.2 Emisión de ondas de una antena.

Una antena que funciona bien para transmitir bajas frecuencias (LF), se denomina **antena tipo Marconi**, la cual lleva un conductor a tierra (el oscilador o generador de alta frecuencia) y uno libre (los dos conductores en conjunto forman una antena dipolo). Esta antena reduce las ondas radiadas a la mitad, pues a través del aire se transmite una parte y las restantes van a tierra.

Debido a que a veces la longitud de onda es muy grande, las antenas tipo Marconi son muy usadas, ya que se diseñan con valores entre $1/4$ ó $1/2$ de la longitud de onda del valor calculado. También es común usar métodos que permiten acomodar las longitudes físicas de las antenas emisoras con las longitudes de onda a transmitir, que consisten en añadir a la antena algún condensador o bobina en serie.

Las características que tiene una antena son:

- **Polarización:** La polarización de una antena se refiere al posicionamiento de ésta con respecto a la tierra. Si está horizontal, entonces produce **polarización horizontal**, y si esta perpendicular, entonces produce **polarización vertical**. También hay antenas que producen polarización circular, donde los campos (E y H), realizan un movimiento giratorio al dejar la antena; éste tipo de polarización consiste en dos tipos que son:

- **RHCP (Right – Hand Circular Polarization)**, el cual rota al campo eléctrico “E” en el sentido de las manecillas del reloj.
- **LHCP (Left – Hand Circular Polarization)**, el cual rota al campo eléctrico “E” en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Es recomendable que, tanto en transmisión como en recepción, las antenas tengan la misma polarización. En el caso de la circular, ambas deben usar ó la RHCP o la LHCP.

- **Ángulo de radiación:** “Se llama ángulo de radiación al ángulo vertical (por encima del horizonte) en que una antena emite o recibe la máxima intensidad de campo electromagnético”.⁽²⁸⁾
- **Directividad:** Se refiere a la característica que posee una antena para emitir ó recibir señales sólo en la dirección deseada. Dependiendo de su directividad pueden ser: ⁽²⁹⁾
 - **Unidireccionales**, envían y reciben señales en una dirección.
 - **Bidireccionales**, reciben señales en dos direcciones.
 - **Omnidireccionales**, radian la misma energía en todas direcciones.
- **Ganancia:** Cuando se utiliza una antena con gran directividad, se obtiene ganancia en potencia, y ésta resulta, de la relación de la potencia transmitida entre la potencia de entrada de la antena, expresada en decibeles:

$$dB = 10 \log (P_{\text{TRANS}} / P_{\text{ENT}})$$

La potencia efectiva radiada (**ERP**) se obtiene de multiplicar la potencia aplicada a la antena por la ganancia de la misma.

- **Reciprocidad:** Se habla de reciprocidad de antena cuando, tanto, una antena de transmisión como una de recepción, tienen las mismas características, aunque éste término es relativo, dado que para altas potencias de transmisión una antena está construida en base a materiales diferentes a los usados para construir una antena de recepción.

Propagación de las ondas.

La onda que se propaga fuera de la antena se llama **onda electromagnética**, y está formada por un campo eléctrico y magnético que son perpendiculares entre sí, desfasados 90°, tanto en dirección como en tiempo (ver figura 1.5.3).

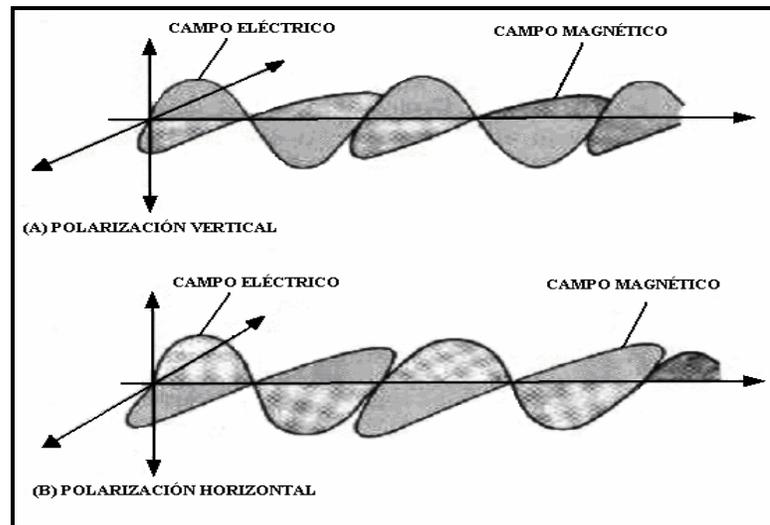


FIGURA 1.5.3 Vista de una onda electromagnética para dos tipos de polarización.

Las ondas electromagnéticas pueden viajar a través del espacio debido a su longitud de onda (λ), que es lo que las diferencia de otras ondas, pero además, de acuerdo a Maxwell, la cuestión por la que la onda electromagnética no desaparece al comenzar su propagación se explica a continuación:

Las ecuaciones de Maxwell indican que un campo eléctrico cambiante en el tiempo, actúa como cargas en movimiento o como flujo de corriente que, a su vez, genera un campo magnético. Con el tiempo, al cambiar el campo magnético se produce un campo eléctrico. Los campos eléctrico y magnético interactúan entre sí y se mantienen así a medida que se propagan a través del espacio a la velocidad de la luz. Esto explica como puede existir la onda electromagnética y moverse a través del espacio después que se deja la antena u otro componente o aparato que la generó en principio.⁽³⁰⁾

La velocidad a la que se propaga una onda en el espacio libre (vacío) es la velocidad de la luz; de acuerdo a la teoría electromagnética, la **velocidad de la luz (c)** es igual a:

$$c = 1 / [\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}]$$

Donde:

ϵ_0 = Permitividad eléctrica

μ_0 = Permeabilidad magnética del vacío.

La velocidad de la luz tiene un valor igual a 299 793 Km/s, aunque suele utilizarse el valor redondeado de 300 000 Km/s ($3 * 10^8$ m/s).

La velocidad de propagación en medios diferentes al vacío es siempre ligeramente inferior a la velocidad de la luz; por ejemplo, la velocidad de la luz en un medio es igual a:

$$v = 1 / [\sqrt{\epsilon \mu}]$$

Donde ϵ representa a la permitividad del medio en cuestión y μ la permeabilidad de ese medio.

Los fenómenos asociados al viaje de una onda electromagnética son los siguientes:⁽³¹⁾

- **La radiación electromagnética se propaga a la misma frecuencia que la corriente que la generó, en una antena transmisora.**

- **En la recepción de la onda, la frecuencia de recepción en la antena es igual a la frecuencia incidente de la antena transmisora ($f_{Rant} = f_{TxantINC}$).**
- **Si la radiación electromagnética es de baja frecuencia, atraviesa limpiamente las barreras a su paso.**
- **Las ondas electromagnéticas no pueden atravesar medios conductores, es por eso que las transmisiones de radio no funcionan bajo el mar.**
- **Sucedan dos situaciones cuando una onda electromagnética choca con un medio conductor:**
 - 1.- **Lo calienta**, lo cual se aprovecha como aplicación para el funcionamiento del horno de microondas.
 - 2.- **Se refleja**, esto debido al fenómeno de reflexión, dándose en la superficie del conductor (como si fuera un espejo).

De los puntos comentados anteriormente, se puede observar que una onda electromagnética experimenta procesos ópticos, ya que es una forma de energía irradiante similar a la luz, que es diferente sólo en su longitud de onda; por tal motivo es importante considerar esos efectos que se explican a continuación:

Refracción.

Es un fenómeno que se refiere a la desviación que experimenta la luz cuando cambia de medio y que está en función del ángulo con que incide en la superficie que separa ambos medios; estos ángulos, representados en la figura 1.5.4, se miden de la siguiente forma:

- θ_i = **Ángulo de incidencia**, el cual está entre el haz de luz y la normal al medio donde incide.
- θ_r = **Ángulo de refracción**, que se ubica entre el haz refractado y la normal.

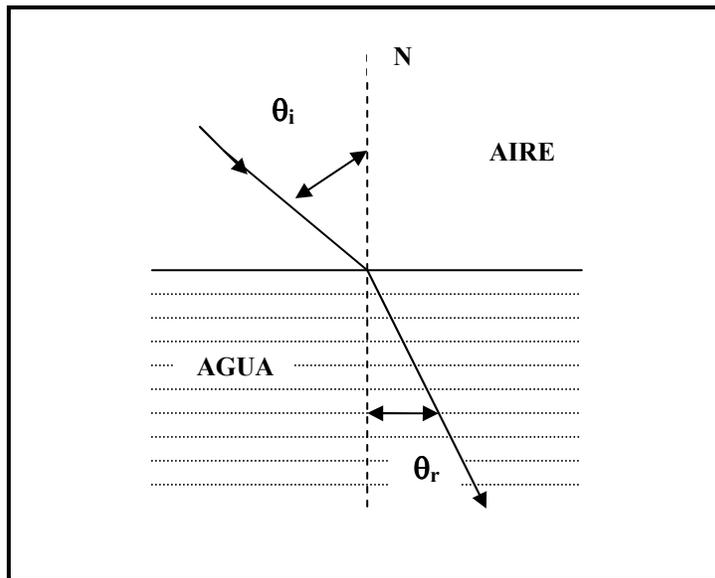


FIGURA 1.5.4 Ángulos de incidencia y refracción de un rayo de luz.

Una manera de medir el índice de refracción es el siguiente:

$$n = c / v$$

Donde:

n = Índice de refracción (cantidad adimensional)

c = velocidad de la luz en el vacío

v = velocidad de la luz en un medio particular

“Desde la antigüedad se conocen y se aplican dos leyes básicas de refracción. Estas leyes se enuncian como sigue:

- **El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.**

- La trayectoria de un rayo refractado en la entrecara entre dos medios es exactamente reversible.”⁽³²⁾

Las leyes antes descritas se ejemplifican con las figuras 1.5.5 a y b.

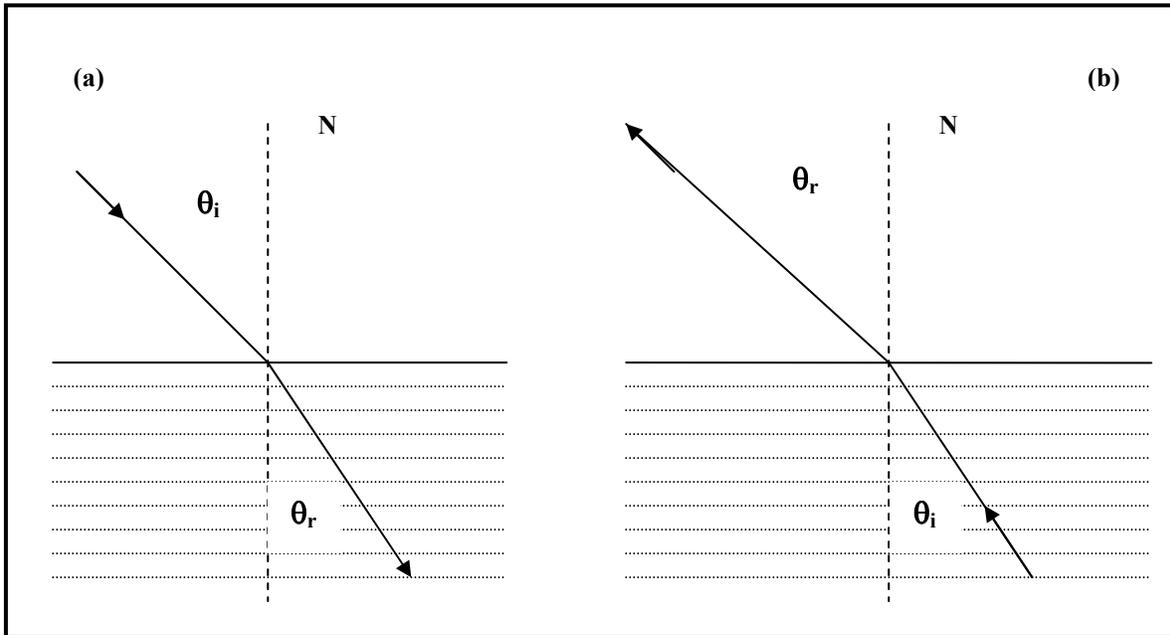


FIGURA 1.5.5 Las figuras a y b ejemplifican las leyes de la refracción.

En función de su frecuencia, la energía de una onda luminosa es proporcional a ésta, y cuando viaja, dentro de otro medio se mantiene constante. Aunque esto sucede, la longitud de onda dentro del medio disminuye proporcionalmente (figura 1.5.6).

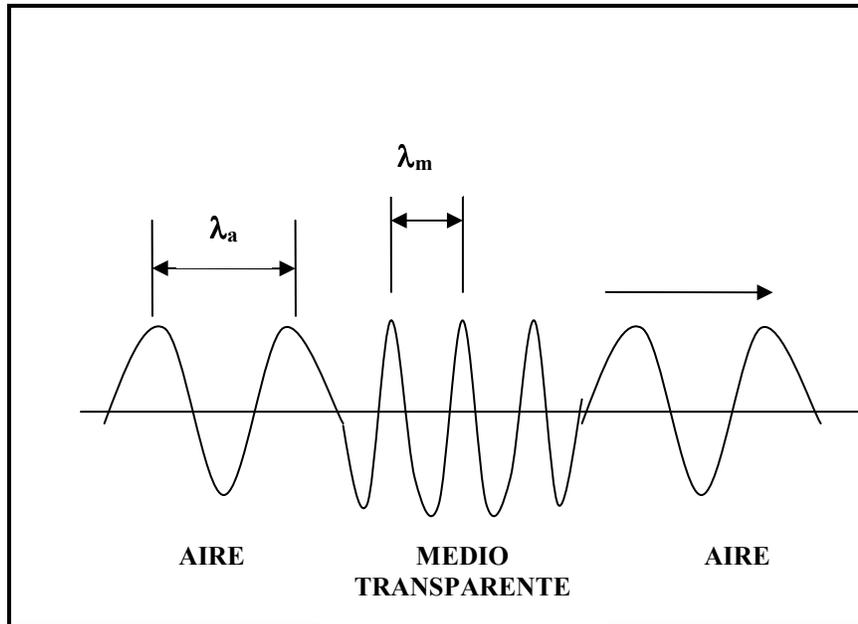


FIGURA 1.5.6 Modificación de la longitud de onda al cambiar de medio.

Por lo anterior, la longitud de onda dentro del medio (λ_m) es:

$$\lambda_m = \lambda_a / n_m$$

Donde:

n_m = Índice de refracción

λ_a = Longitud de onda de la luz en el aire.

Dispersión.

“Es la separación de la luz en las longitudes de onda que la componen (figura 1.5.7)”⁽³³⁾

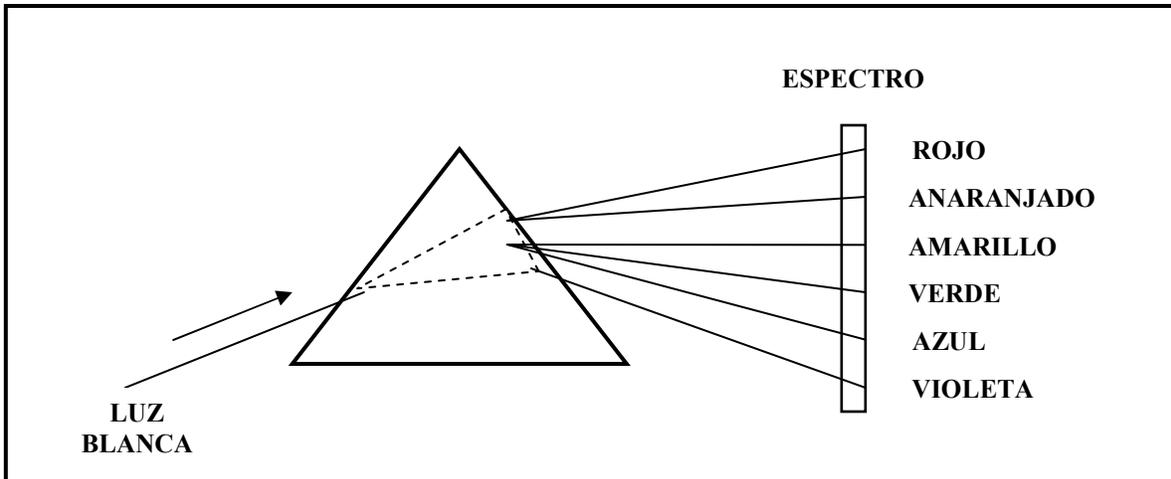


FIGURA 1.5.7 Dispersión de la luz en un prisma.

Difracción.

Cuando la luz pasa por una ranura, o pasa por el borde de un objeto, ésta se flexiona en cierta medida hacia una región diferente de la fuente de luz.

Lo anterior lo demostró Thomas Young⁽³⁴⁾ en un experimento en el que, utilizando una fuente de luz proyectada hacia una ranura A, la luz sale difractada hacia las ranuras S_1 y S_2 , y de éstas se proyecta sobre una pantalla B iluminándola completamente; lo anterior lo explicó mencionando que, al mezclarse las amplitudes de la onda difractada, se interferían entre sí, a lo cual, asignó dos tipos de interferencia:

- **Interferencia constructiva:** Se da cuando la amplitud de la onda resultante es mayor que las amplitudes de cualquiera de las ondas componentes.
- **Interferencia destructiva:** Es la que se manifiesta cuando la amplitud resultante es menor.

Para la mayor comprensión de éste fenómeno, observe la figura 1.5.8:

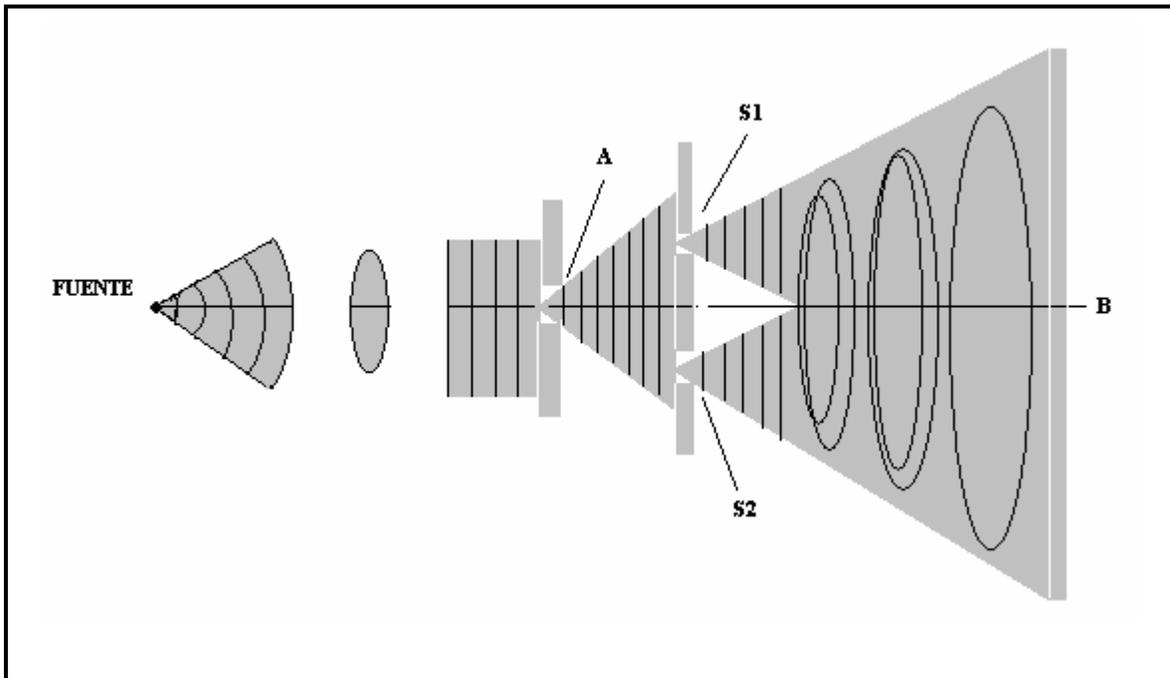


FIGURA 1.5.8 Experimento de Thomas Young.

Reflexión.

Cuando la luz incide en una superficie que separa dos medios, ésta se divide en dos componentes, de las cuales una se refleja y otra se refracta (figura 1.5.9), donde la reflejada tiene un ángulo igual al de incidencia, así:

$$\theta_i = \theta_r$$

Donde:

θ_i = Ángulo de incidencia

θ_r = Ángulo de reflexión

“Los ángulos θ_i y θ_r se miden con respecto a la normal a la superficie. Se pueden enunciar dos leyes básicas de la reflexión:

- **El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.**

- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano”.⁽³⁵⁾

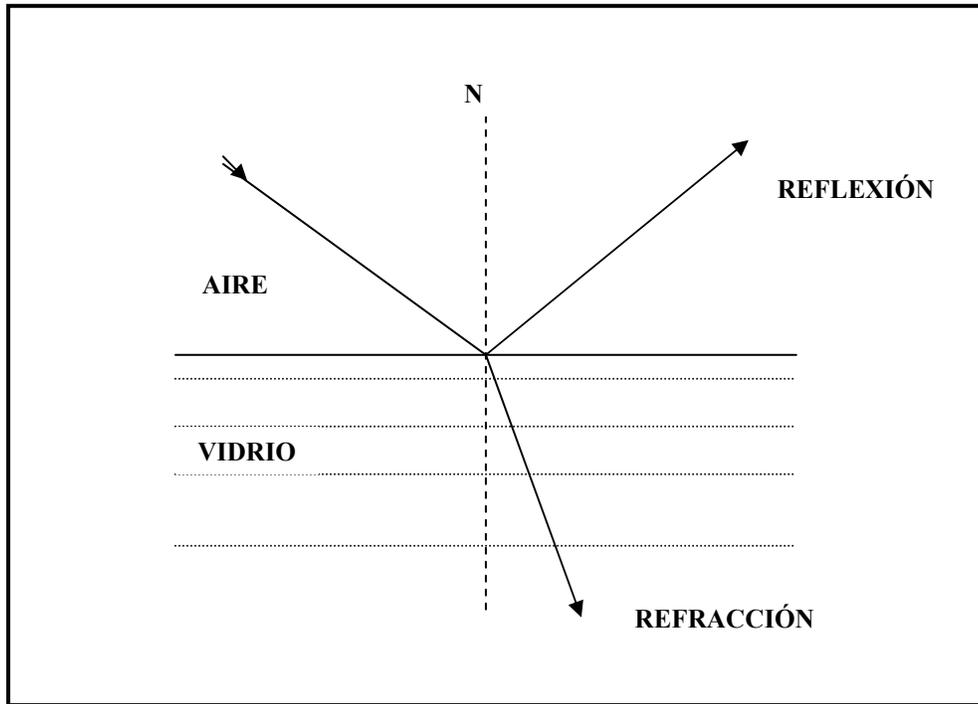


FIGURA 1.5.9 Comportamiento de la luz en la frontera entre dos medios, donde se observa como una parte se refleja y la otra se refracta.

Existen dos tipos de reflexión:

- **Reflexión regular ó especular:** Se da en superficies como vidrios o espejos, es decir, se da en superficies pulidas.
- **Reflexión difusa:** En una superficie irregular como ladrillos, concreto o periódico, la luz se esparce y dispersa dando lugar a éste tipo de reflexión.⁽³⁶⁾

Para ejemplificar los tipos de reflexión mencionados, observe las figuras 1.5.10 a y b:

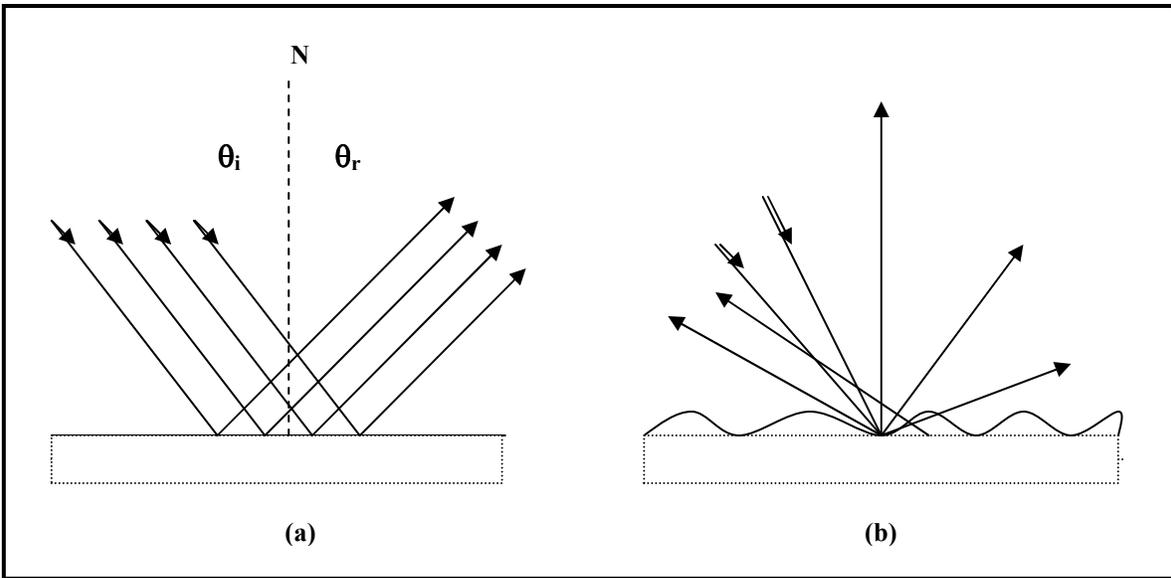
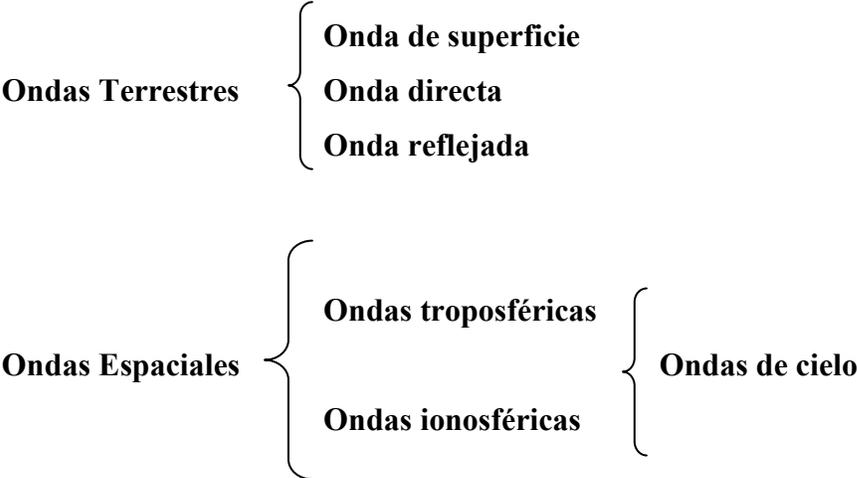


FIGURA 1.5.10 (a) Reflexión especular; (b) Reflexión difusa.

Una antena emite dos tipos de onda electromagnética:



En la figura 1.5.11 a y b, se muestran los dos tipos de onda mencionados:

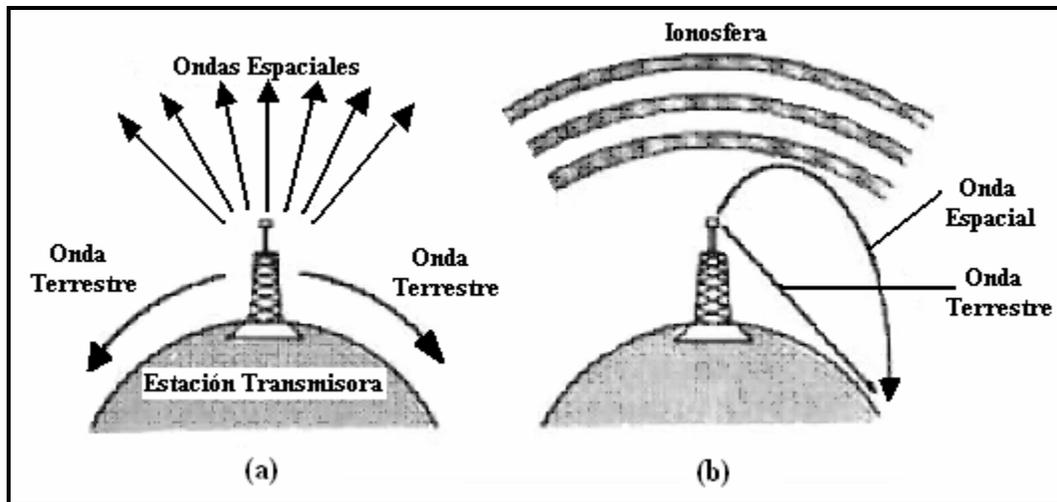


FIGURA 1.5.11 (a) y (b) Visualización de ondas terrestres y espaciales.

Las **ondas terrestres** son aquellas que se desplazan directamente a la superficie o cerca de ella en dos direcciones. Las **ondas espaciales**, por su parte, se propagan utilizando las capas altas de la atmósfera.

Las ondas que conforman la onda terrestre se describen a continuación:

Onda de superficie.

Sigue una trayectoria a lo largo del contorno terrestre, y es por eso que sufre una atenuación debida al grado de conductividad de la tierra, por lo que su alcance es limitado, dependiendo del grado de atenuación que sufra. Así por ejemplo, el agua del mar posee una conductividad relativa buena, por lo que las ondas de superficie son poco atenuadas; en cambio, las selvas o junglas, ofrecen una conductividad relativa pésima que hace imposible la recepción de éstas ondas.

Onda directa.

Viaja sobre una trayectoria óptica, es decir, sobre una línea recta imaginaria que une la antena emisora con la receptora. Si debido a la curvatura de la tierra ambas antenas no se “encuentran”, la onda directa no alcanzará la antena receptora. Sin embargo, ésta

onda es refractada en la baja atmósfera (**refracción troposférica**) debido a los cambios en la conductividad relativa de sus capas.

Onda reflejada.

Llega a la antena receptora después de una reflexión en la superficie de la tierra. Puesto que recorre una mayor distancia llegando al receptor en momentos distintos que la onda directa, puede darse el caso de llegar 180° defasada con respecto a la onda directa, con lo que se produce una anulación de la energía de la señal y, por lo tanto, el receptor no capta la emisora. Esta situación se puede corregir elevando la antena emisora.

En la figura 1.5.12, se muestran dos ondas componentes de la onda terrestre.

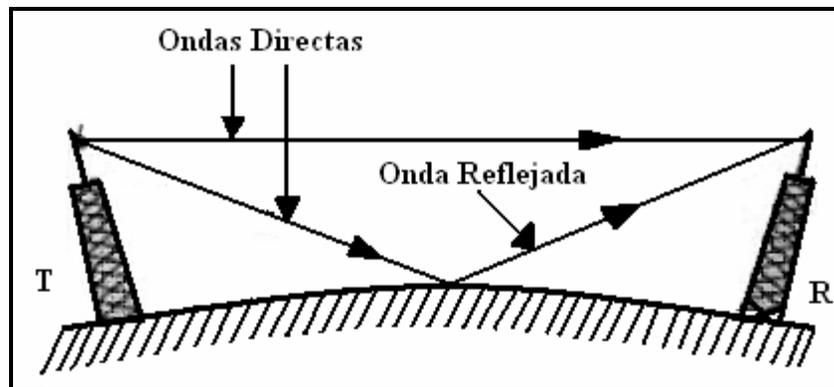


FIGURA 1.5.12 Forma de propagación de una onda directa y una reflejada.

Tomando como referencia la vertical de una antena de radiación, ⁽³⁷⁾ se considera que, si ésta tiene 0° en la vertical, todas las ondas por encima de la horizontal serán ondas de cielo y por debajo, ondas de tierra, por lo que:

Si $\theta \leq 90^\circ \Rightarrow$ Ondas de tierra

Si $\theta > 90^\circ \Rightarrow$ Ondas de cielo

Por lo tanto, y de acuerdo a lo expuesto en la clasificación de las ondas, las ondas espaciales cumplen con ciertas características al utilizar las capas altas de la atmósfera, principalmente el uso de dos de ellas, **la troposfera (ondas troposféricas) y la ionosfera (ondas ionosféricas).**

Ondas troposféricas.

La troposfera se encuentra entre 300 y 10 000m de la superficie, en ella se efectúan los principales fenómenos meteorológicos y climatológicos. Su temperatura varía con la altura, a razón de 6.2°C por Km hasta 12.5 ó 15 Km (según latitud) donde termina (ver figura 1.5.13).

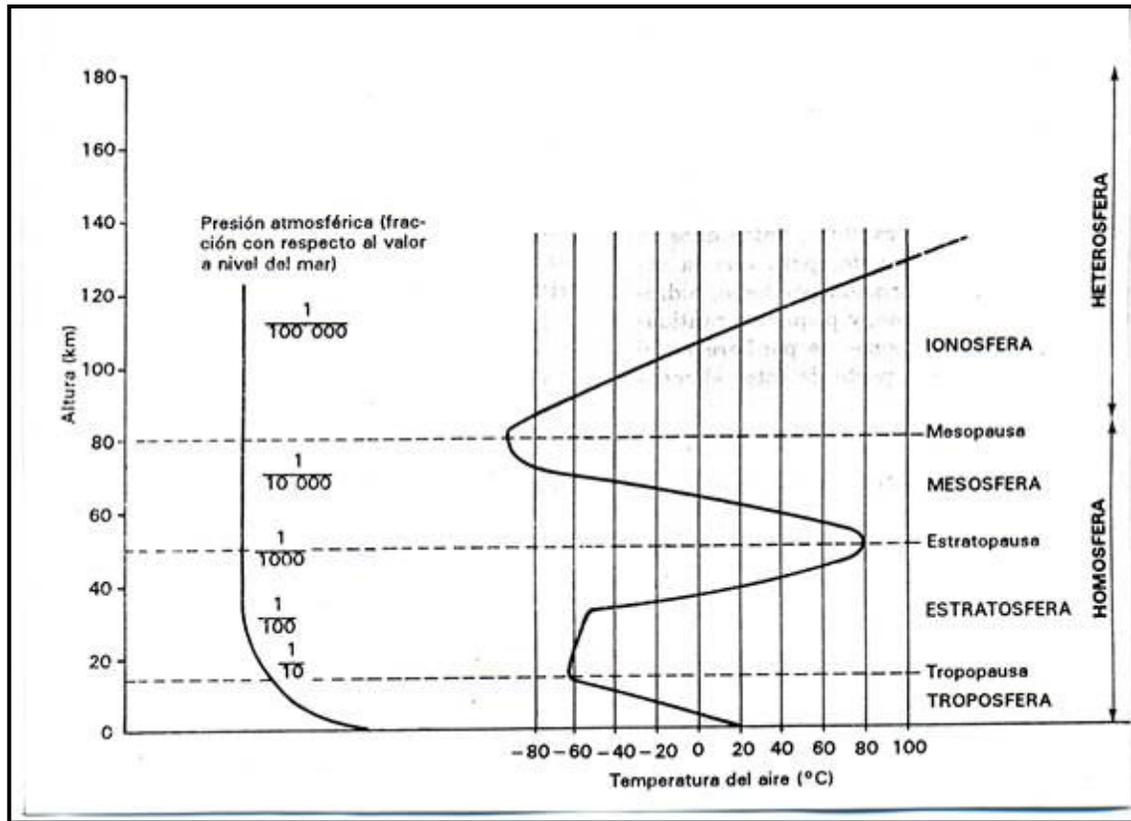


FIGURA 1.5.13 Ubicación de las capas de la atmósfera.

Como se mencionó en la descripción de las ondas directas, éstas se refractan en la troposfera, y es por esto que las ondas dependen de la temperatura y la humedad del aire troposférico; por eso, una atmósfera ideal sería aquella que partiera de valores máximos

de densidad y conducción en las zonas bajas, hasta llegar a una densidad prácticamente nula y sin humedad en las zonas altas.

Las zonas montañosas hacen que no existan grandes capas uniformes de aire que tengan idéntica temperatura y humedad, lo que conlleva a una dispersión de las ondas que llegan a ellas (figura 1.5.14). A éste tipo de propagación se le conoce como **propagación por dispersión**, la cual se utiliza muy poco en las zonas montañosas, pero que es de gran utilidad sobre grandes llanuras ó áreas marítimas en donde los estratos son más estables a frecuencias de cientos o miles de MHz.

Son útiles para televisión, telefonía, utilizando grandes potencias y antenas direccionales. Con VHF, UHF y SHF se recogen perturbaciones de tipo atmosférico, tales como la lluvia, la nieve, las tormentas con descargas eléctricas, etc.

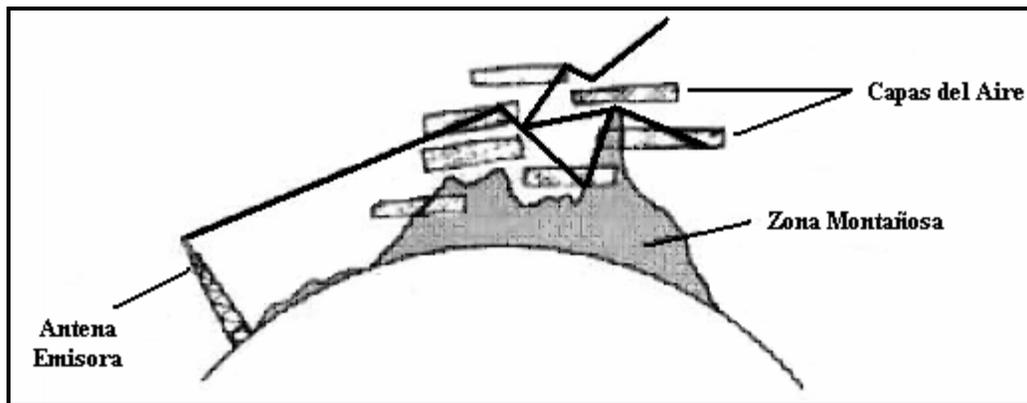


FIGURA 1.5.14 Efecto de las zonas montañosas sobre la propagación de las ondas.

Ondas ionosféricas.

La ionosfera se encuentra entre 80 y 400 Km de altura de la atmósfera y la causa de la reflexión de las ondas, es la ionización (proceso en el cual cada molécula o átomo cede un electrón y se convierte en un ion cargado positivamente) de los gases atmosféricos debido a la radiación solar (figura 1.5.15). La ionización comienza a una altura de 35 a 50 Km y es máxima a 400 Km de altura con respecto a la superficie.

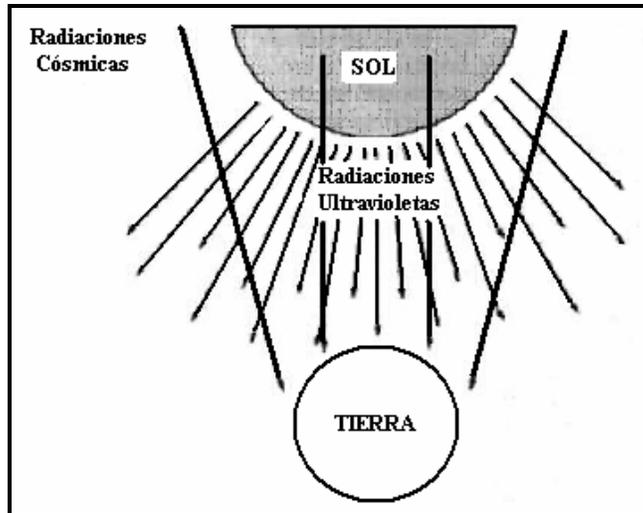


FIGURA 1.5.15 La radiación proveniente del sol provoca la ionización en las capas altas de la atmósfera.

Así mismo, la ionosfera se divide en capas:

Capa D: Se localiza a 80 Km de altura y existe solo de día, pues la mínima ionización que presenta es cuando la radiación solar es intensa. Esta capa tiende a reflejar ondas largas (OL), pero absorbe ondas medias y ondas cortas (OM y OC).

Capa E: Se ubica entre 90 y 140 Km y permite devolver ondas electromagnéticas hasta una distancia de 2 000 Km del punto de origen, siendo la propagación máxima de día y mínima de noche. Refleja OM y OC.

Capa F: Está situada entre 160 a 400 Km, subdividiéndose en dos capas durante el día llamadas **capa F₁** y **capa F₂**, donde F₁ se mueve entre 140 y 250 Km durante el día, elevándose en la noche, F₂ es la capa de mayor densidad de electrones. En la noche F₁ y F₂ se unen formando la **capa F nocturna** con mayor densidad de electrones a 320 Km (figura 1.5.16). Esta capa es utilizada por OC para largas distancias.

Capa G: Esta capa es muy importante para la comunicación de radio (larga distancia) y está asociada al máximo de ionización entre 250 y 500 Km de altura.

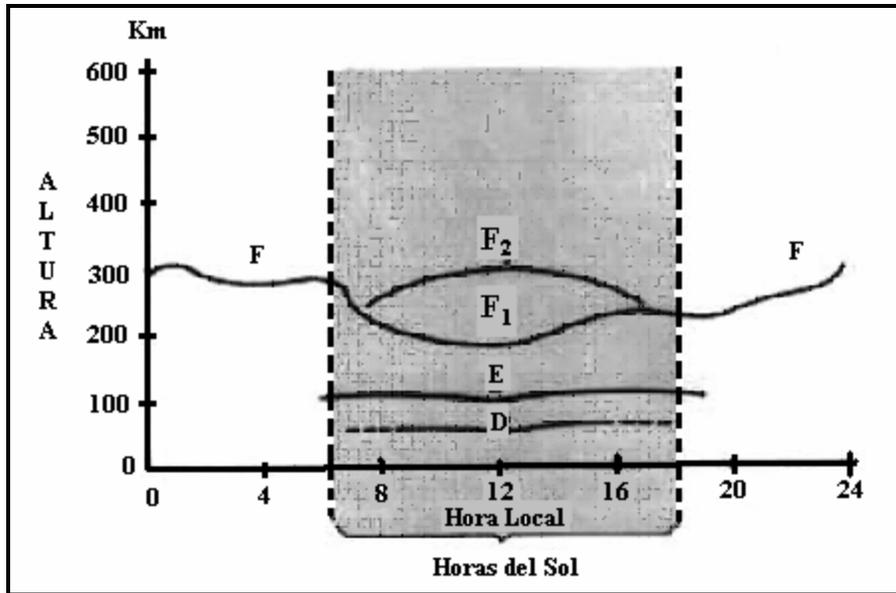


FIGURA 1.5.16 Posición de las capas en función de la hora del día.

Existen tres factores que influyen en el alcance que una onda pueda tener:

- **Frecuencia crítica:** Es aquella con que una onda es devuelta a la superficie de la tierra dependiendo de las condiciones ionosféricas como hora del día, estación y ciclo solar. Esto hace hincapié a la frecuencia con que se emite una onda, pues si es una frecuencia baja, la onda es refractada con facilidad, pero en cambio si es alta, la onda alcanza una mayor distancia debido a la disminución de la refracción.
- **Ángulo de propagación:** Es aquel que se delimita entre una tangente imaginaria a la tierra y la trayectoria de la onda. Se le simboliza como θ_p .
- **Ángulo límite:** Es el ángulo de propagación más elevado con el cual se hace retornar una onda.

Para que una onda alcance una cierta distancia, ésta dependerá de su frecuencia y de su ángulo de propagación principalmente, por lo que se manifiestan varios casos particulares en base a la variación de dichos parámetros, los cuales se enuncian a continuación:

En función del ángulo de propagación:

- Cuando las ondas son reflejadas en la ionosfera es porque el ángulo de incidencia (θ_i) es muy grande y por lo tanto el ángulo de propagación (θ_β) es muy pequeño, esto dado que ambos son ángulos complementarios (la suma de ellos vale 90°).
- Con un ángulo de incidencia medio ($\theta_i / 2$), las ondas se refractan en la ionosfera.
- Con un ángulo de incidencia pequeño, atraviesan la ionosfera perdiéndose en el espacio, lo que resulta a causa de que el ángulo de propagación es muy elevado.

Para ilustrar las consideraciones anteriores, observe la figura 1.5.17:

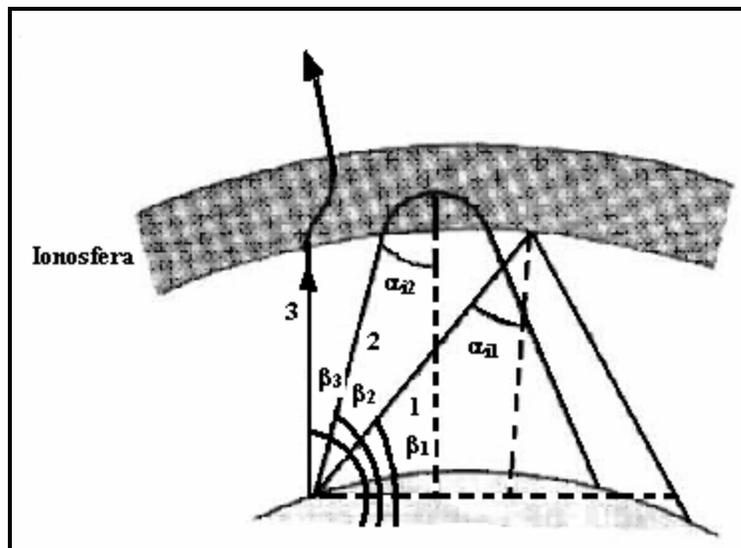


FIGURA 1.5.17 Aquí se observan los puntos anteriores, de derecha a izquierda: cuando θ_i es muy grande; cuando es medio ($\theta_i / 2$); cuando θ_i es pequeño.

NOTA: Los ángulos de incidencia en el dibujo están representados como α_i .

Otra forma de ejemplificar los puntos anteriores es clasificando por zonas los efectos que se tiene debido a los ángulos de propagación; así, se le llamará **zona de reflejo** al punto desde la superficie al ángulo de propagación β_1 , **zona de refracción** al punto entre β_1 y β_2 y **zona de cruce** al espacio entre β_2 y β_3 . Observe la figura 1.5.18:

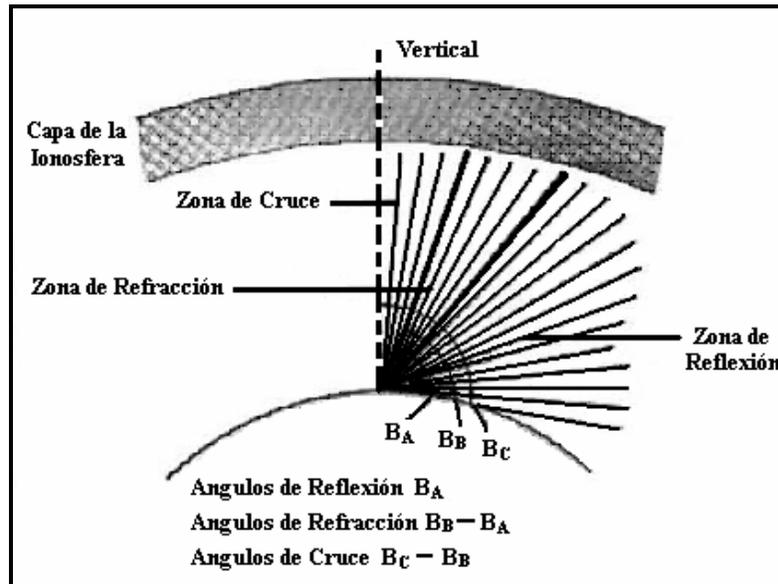


FIGURA 1.5.18 Clasificación de zonas según el ángulo de propagación.

Cuando la onda llega a la ionosfera, sufre una refracción, desviándose de su trayectoria, curvándose en el sentido de disminuir el ángulo de propagación (θ_β).

El que las ondas se pierdan en el espacio se debe a que cuando la onda se refracta en la ionosfera, la curvatura que la onda manifiesta, se extiende hasta una zona menos densa provocando una nueva refracción en sentido contrario que aumenta el ángulo de propagación (θ_β), lo que provoca su paso al espacio libre.

En función de la frecuencia:

- En base al valor de la frecuencia, la onda se refleja, refracta ó atraviesa la ionosfera, dependiendo también del ángulo de propagación θ_β (figura 1.5.19).

- La ionosfera tiene un poder de absorción mayor para bajas frecuencias (LF) y menor para altas frecuencias (HF), lo que permite aprovechar mejor la señal. Esto implica que con un ángulo de propagación θ_β adecuado y HF se puede llegar hasta la capa F_2 logrando un alcance considerable.

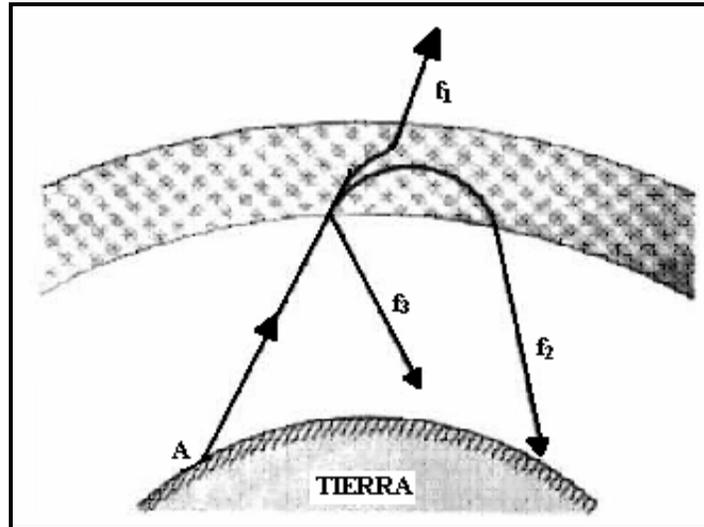


FIGURA 1.5.19 En función de la frecuencia, la ionosfera se comporta diferente: para altas frecuencias (f_1) la onda atraviesa fácilmente la ionosfera, para frecuencias medias (f_2) se refracta y para frecuencias bajas (f_3) se refleja.

También hay situaciones especiales que se dan al trabajar con ondas ionosféricas como las siguientes:

- **Cuando una onda que se refleja en la ionosfera tiene un ángulo de incidencia (θ_i) suficiente para volver a reflejarse en la superficie de la tierra, regresa a la ionosfera para llegar después a su destino. El problema de reflexiones sucesivas es la pérdida de potencia de la señal dada la absorción de la ionosfera y de la superficie de la tierra, por lo que entre menos reflexiones haya, habrá menos pérdidas en la potencia de la señal (figura 1.5.20).**

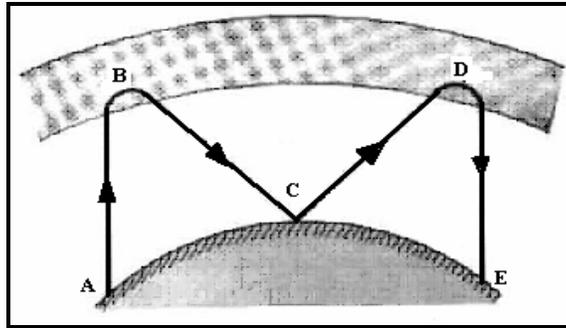


FIGURA 1.5.20 Reflexiones sucesivas de una onda ionosférica.

- Con un ángulo de propagación (θ_β) y una frecuencia adecuada, la onda es refractada en la ionosfera, teniendo en cuenta que dependiendo de la capa donde llegue (máxima), será el alcance, por lo tanto con frecuencias ultra altas (UHF), intervendrán las altas capas ó superiores, es decir, las alcanzarán sólo las ondas cortas (OC).

Cuando una onda entra a una capa y sale de ésta sufre dos refracciones, por lo que, si una onda llega hasta la capa F_2 , entonces habrá diez refracciones antes de llegar al destino, lo que supone pérdida de energía en la onda (figura 1.5.21).

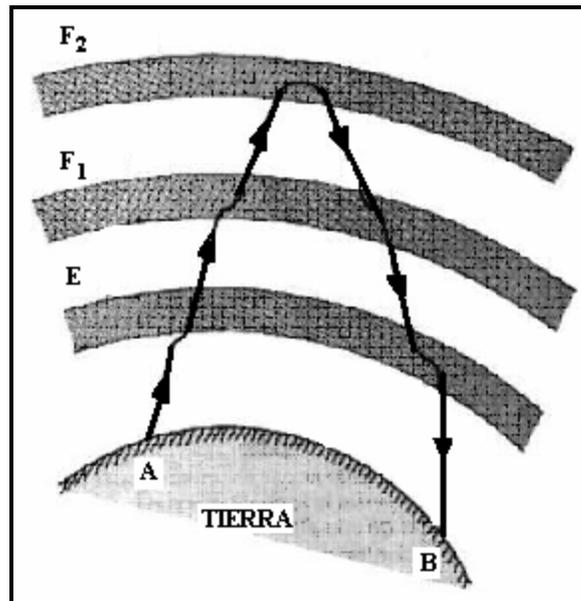


FIGURA 1.5.21 Refracción de una onda a través de las capas ionosféricas.

De ésta forma, cada capa ionosférica se utiliza en función de la frecuencia en que se maneje la onda electromagnética, así:

Capa D → Refleja OL

Capa E → Refleja OM

Capa F → Refleja OC

El satélite, por su parte, recibe ondas a partir de VHF, las cuales atraviesan la ionosfera sin dificultad, tanto de ida como de regreso (figura 1.5.22).

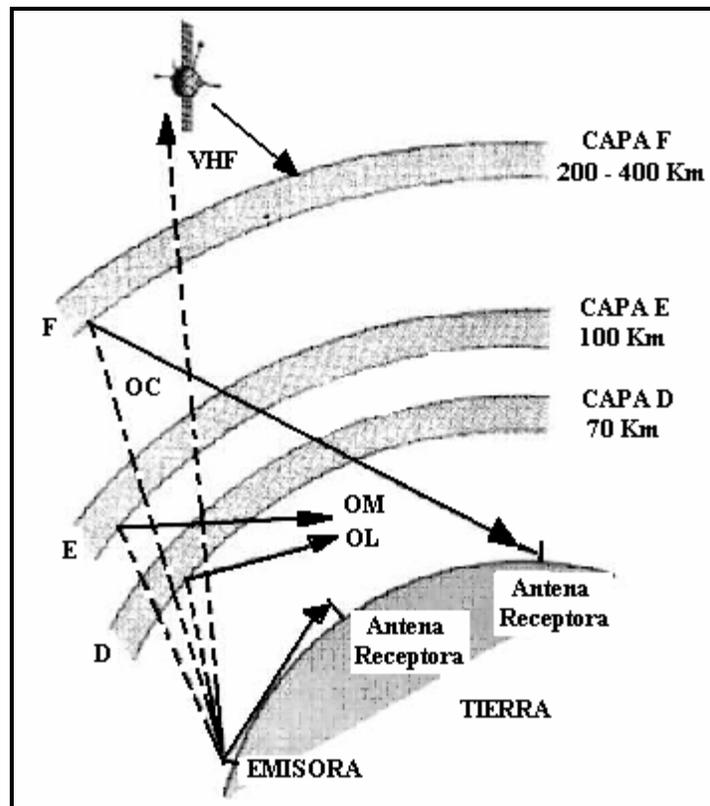


FIGURA 1.5.22 Utilidad de las capas en función de rangos de frecuencias.

Durante la propagación de la onda se presentan dos fenómenos que se deben tomar en cuenta por sus efectos en la onda, el **fading** y la **zona de silencio**.

La zona de silencio, es la que se encuentra entre el punto de la onda atenuada y el punto de retorno de la onda ionosférica.

“Con el término inglés de **fading** (desvanecimiento) se denomina la variación de la intensidad durante un periodo de tiempo relativamente corto de la señal recibida en un receptor. El efecto es como si periódicamente la emisión se desvaneciera, de ahí, su nombre”⁽³⁸⁾

El fading, se puede originar a causa de:

- **Recepción de señales con trayectorias diferentes:** Si todas las ondas proceden del mismo origen y se propagan a la misma velocidad, sucederá que el tiempo empleado por cada una de ellas será diferente, cuanto mayor sea el espacio a recorrer, así aumenta el tiempo necesario para cubrir ésta distancia; lo anterior, cuando las ondas que convergen viajan cada una a una capa ionosférica diferente ó inclusive si se utiliza otro medio de propagación.
- **Cambios ionosféricos:** Básicamente se refiere a los cambios que sufren las capas en estabilidad y altura, como el nivel de ionización.

El desvanecimiento puede ser total si se anula la suma de todas las señales recibidas en un punto, debido a múltiples reflexiones o refracciones combinadas con otras ondas propagadas y que estén defasadas unas con respecto a otras. Es menor el problema cuando llegan junto con una onda directa, pues sólo habría una ligera disminución de la señal.

Una forma de corregir éste problema es colocando antenas equidistantes y conectadas a la receptora, de modo que de todas las señales que lleguen, sólo la más potente de todas sea la utilizable.

1.6 Modulación en Amplitud.

La modulación en amplitud (AM), es el proceso en el que se varía la amplitud de la onda portadora de acuerdo con la amplitud de la onda moduladora. A la onda moduladora también se le llama **envolvente**.

A la onda portadora se le puede representar mediante la expresión (figura 1.6.1):

$$v_p = V_p \text{ sen } 2\pi f_p t$$

Donde:

v_p = Valor instantáneo del voltaje de la portadora en un tiempo específico.

V_p = Valor pico de la portadora entre cero y la amplitud máxima positiva o negativa.

f_p = Frecuencia de la portadora.

t = Un punto particular en el tiempo.

2π = Expresión en radianes que equivale a 360°

$2\pi f_p$ = Equivale a la frecuencia angular expresada en radianes (ω_p)

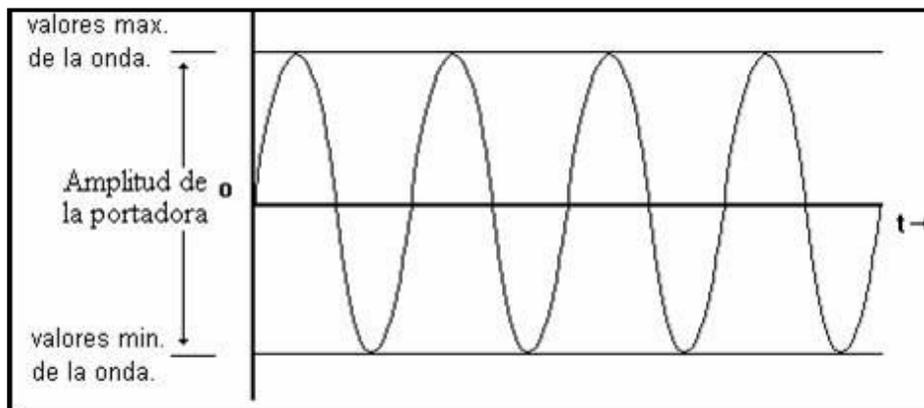


FIGURA 1.6.1 Representación de la onda portadora.

Así mismo a la moduladora se le representa como (figura 1.6.2):

$$v_m = V_m \text{ sen } 2\pi f_m t$$

Donde:

v_M = Valor instantáneo de la onda moduladora (información)

V_M = Valor pico de la moduladora

f_M = Frecuencia de la moduladora.

t = Un punto particular en el tiempo.

$2\pi f_M$ = Equivale a la frecuencia angular expresada en radianes (ω_m)

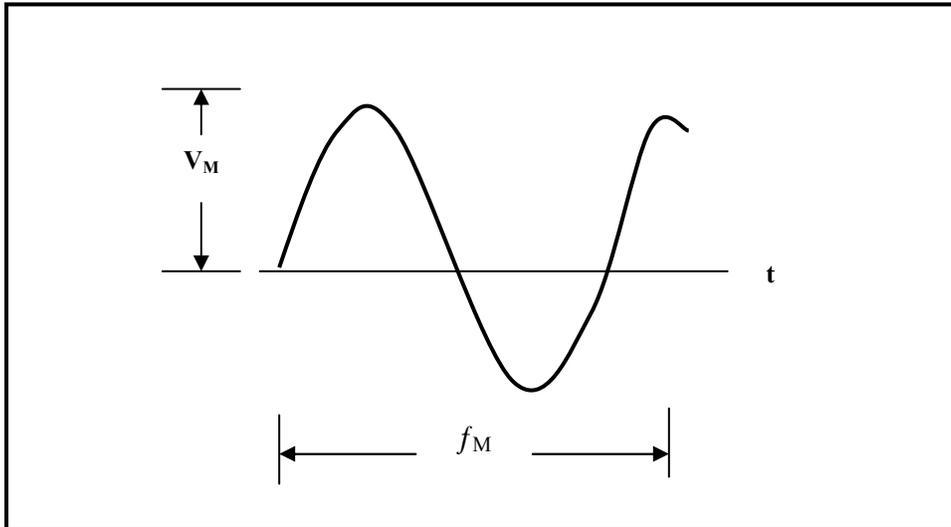


FIGURA 1.6.2 Representación de la onda moduladora.

La señal moduladora usa el valor pico de la portadora en lugar del cero como su punto de referencia, es decir, la línea cero de referencia de la moduladora coincide con el voltaje pico de la portadora.

Existen condicionantes para éste tipo de modulación, y se refieren a que la amplitud de la onda moduladora debe ser menor que la de la portadora; si no es así, habrá distorsión que causará una transmisión incorrecta de la información. Otra condición es que la frecuencia de la onda portadora debe ser más elevada que la frecuencia de la moduladora. De ésta forma se tiene:

$$V_M < V_P$$

$$f_P \gg f_M$$

A la condición que se presenta cuando V_M es mayor a V_P , se le conoce como **sobremodulación** (figura 1.6.3).

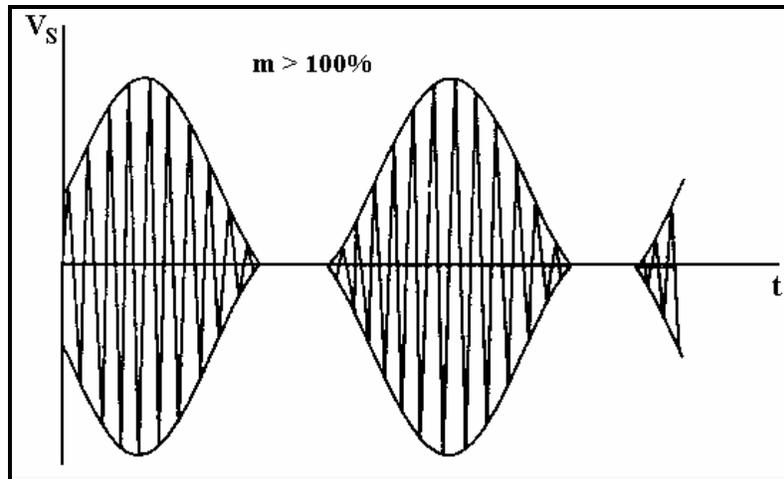


FIGURA 1.6.3 Ejemplo de una onda sobremodulada.

El valor instantáneo, ya sea del máximo o mínimo de la envolvente de voltaje, v_1 , puede calcularse mediante:

$$v_1 = V_P + v_M = V_P + V_M \text{ sen } 2\pi f_M t \text{ ----- 1}$$

El valor instantáneo de la onda modulada completa v_2 es:

$$v_2 = v_1 \text{ sen } 2\pi f_P t \text{ ----- 2}$$

Sustituyendo a v_1 de la ecuación 1 en la ecuación 2:

$$v_2 = (V_P + V_M \text{ sen } 2\pi f_M t) \text{ sen } 2\pi f_P t$$

$$v_2 = V_P \text{ sen } 2\pi f_P t + (V_M \text{ sen } 2\pi f_M t) (\text{sen } 2\pi f_P t) \text{ ----- 3}$$

Donde: v_2 corresponde al valor instantáneo de la onda de AM (v_{AM}).

De la ecuación 3 se desprende que la primera parte de ella corresponde a la forma de onda de la portadora y la segunda corresponde a la onda portadora multiplicada por la onda moduladora.

El índice o grado de modulación (**m**) es el cociente de los valores pico de las señales, donde el voltaje de la portadora, es el valor sin modulación:

$$m = [V_M / V_P] * 100$$

Donde como se observa, el índice de modulación se multiplica por cien para obtener el porcentaje de modulación. El índice de modulación estará en un intervalo igual a:

$$0 < m \leq 1$$

La condición ideal de la modulación en AM es:

$$V_M = V_P$$

ó

$$m = 1 = 100\% \text{ de modulación}$$

Pues de ésta forma, se daría una máxima potencia de salida en el transmisor y el máximo voltaje de entrada en el receptor sin distorsión (ver figura 1.6.4). Para evitar la sobremodulación se adopta como grado de modulación máximo el 90%.

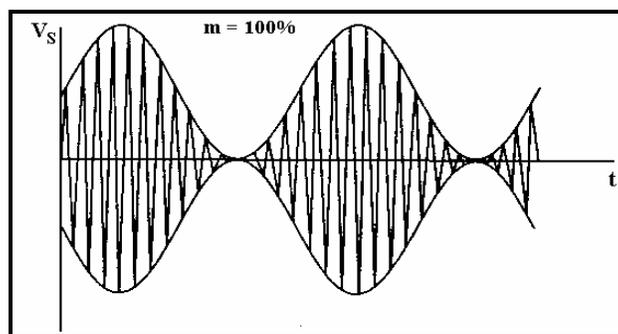


FIGURA 1.6.4 Representación de una onda modulada idealmente, es decir, modulada al 100%.

Otra forma de calcular el voltaje de la onda moduladora y el de la portadora es tomando los valores pico a pico en función de la gráfica de la onda de AM, quedando:

$$V_M = (V_{MÁX} - V_{MIN}) / 2$$

$$V_P = (V_{MÁX} + V_{MIN}) / 2$$

Por lo tanto el índice de modulación va a ser igual a (figura 1.6.5):

$$m = (V_{MÁX} - V_{MIN}) / (V_{MÁX} + V_{MIN})$$

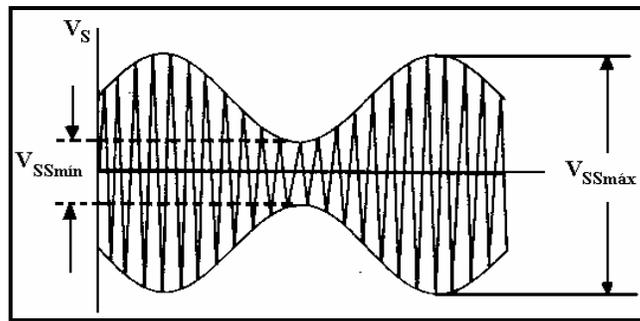


FIGURA 1.6.5 Mediante los valores pico a pico de la onda modulada, se puede determinar el índice de modulación m .

Una sola onda moduladora genera dos bandas laterales, pero si son más las ondas que modulan a la portadora entonces habrá un número mayor de bandas laterales.

La existencia de las bandas laterales se demuestra mediante el siguiente desarrollo matemático:

Tomando la ecuación para una onda de AM cuya expresión es:

$$v_{AM} = V_P \text{ sen } 2\pi f_p t + (V_M \text{ sen } 2\pi f_M t) (\text{sen } 2\pi f_p t)$$

Y aplicando en ella la identidad trigonométrica del producto de dos ángulos:

$$\text{sen } A \text{ sen } B = [\text{Cos } (A - B) / 2] - [\text{Cos } (A + B) / 2]$$

Resulta:

$$v_{AM} = V_P \text{ sen } 2\pi f_P t + [V_M / 2] \text{ cos } 2\pi t (f_P - f_M) - [V_M / 2] \text{ cos } 2\pi t (f_P + f_M)$$

Donde el primer término corresponde a la portadora, el segundo a la banda lateral inferior y el tercero a la banda lateral superior, de tal manera que la modulación en AM está formada por la mezcla de tres ondas de distinta frecuencia y amplitud constante, las cuales son: **la frecuencia de la portadora (f_P)**, la frecuencia de la portadora y moduladora también llamada **banda lateral superior ($f_P + f_M$)** y la diferencia de ellas, llamada **banda lateral inferior ($f_P - f_M$)** (figura 1.6.6).

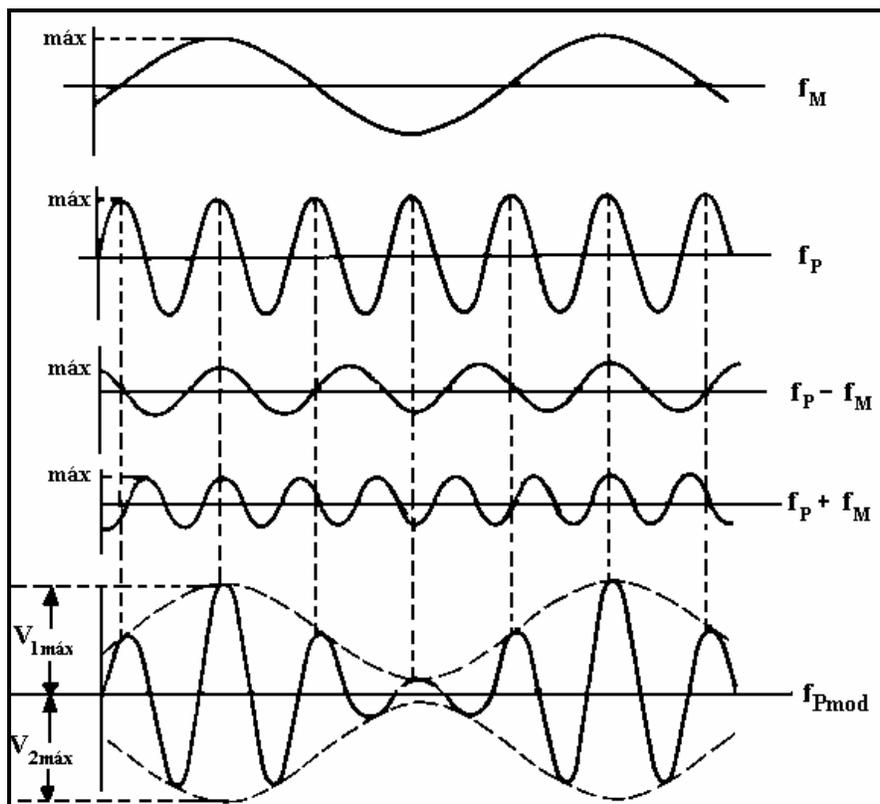


FIGURA 1.6.6 Componentes de una onda modulada en amplitud.

La amplitud de cada banda depende de la profundidad de modulación. Para una modulación del 100%, la amplitud de cada banda lateral es la mitad de la de la portadora. La amplitud de las bandas laterales es siempre $0.5 V_M$.⁽³⁹⁾

El contenido de la señal de información (mensaje) está en las bandas laterales; cada una de ellas contiene la misma información. Las señales en el dominio de la frecuencia se pueden representar de la siguiente manera (figura 1.6.7):

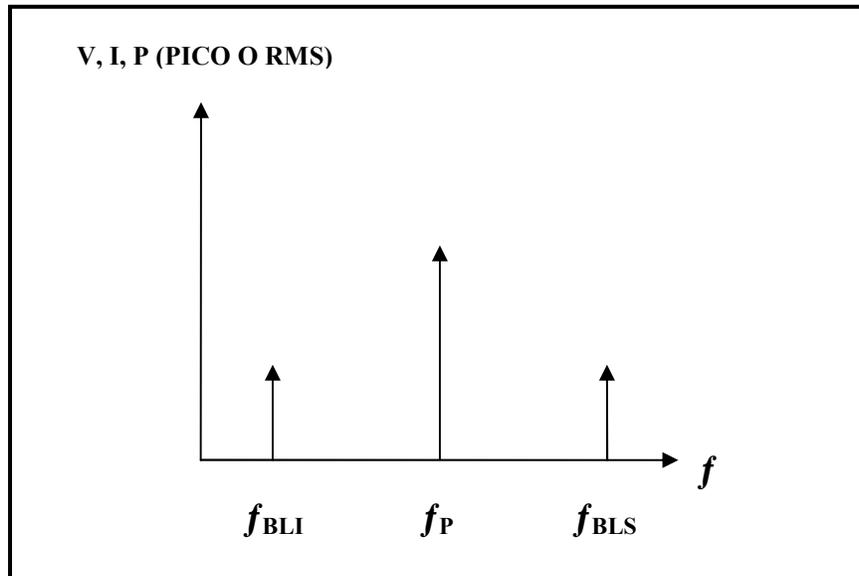


FIGURA 1.6.7 Representación de una onda de AM en el dominio de la frecuencia, donde el eje vertical representa las amplitudes y el horizontal las frecuencias.

Cuando una señal de voz modula a la portadora, se producen varias frecuencias arriba y debajo de la frecuencia de la portadora, debido a que el espectro de voz corresponde al intervalo comprendido entre 300 a 3 000 Hz (figura 1.6.8):

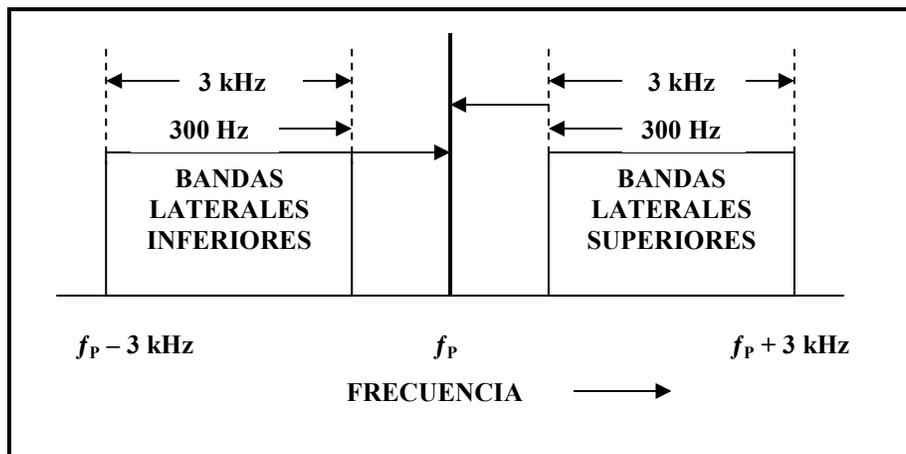


FIGURA 1.6.8 Bandas laterales producidas debido al espectro de voz.

De donde se observa que las bandas ocupan un ancho de banda, el cual se puede obtener de la siguiente forma:

$$\mathbf{BW = f_{BLS} - f_{BLI}}$$

O lo que también se puede obtener como:

$$\mathbf{BW = 2f_M \rightarrow f_M = \text{m}{\acute{a}}xima \text{ frecuencia moduladora}}$$

Una estación de radiodifusión estándar de AM puede transmitir frecuencias moduladoras hasta de 5 KHz y, por lo tanto, tiene un ancho de banda total de 10 KHz que representa el espaciamiento entre cada estación del intervalo de 540 KHz a 1600 KHz.

Como se comentó anteriormente, la onda de AM será de voltaje o de corriente, por lo que la potencia media que entrega esta onda a una resistencia de 1Ω comprende las siguientes componentes:

$$\mathbf{P_{T(AM)} = P_P + P_{BLI} + P_{BLS}}$$

Donde:

$$\mathbf{P_P = V_P^2 / 2 \rightarrow \text{Potencia en la portadora (watts)}}$$

$$\mathbf{P_{BLI} = P_{BLS} = (1/2) [(mV_P) / 2]^2 \rightarrow \text{Potencia en las bandas laterales}}$$

Por lo que la potencia total será:

$$P_{T(AM)} = [V_P^2 / 2] + [(m^2 V_P^2) / 8] + [(m^2 V_P^2) / 8]$$

$$P_{T(AM)} = [V_P^2 / 2] + [(m^2 V_P^2) / 4]$$

$$\mathbf{P_{T(AM)} = P_P + [1 + (m^2 / 2)]}$$

La relación de potencia total de las bandas laterales a la potencia de AM será:

$$\mathbf{P_{BL} / P_{T(AM)} = m^2 / (2 + m^2)}$$

La cual depende, como se puede observar, únicamente del índice de modulación “m”. Si $m=1$ (se modula al 100%), la potencia total de las dos bandas laterales resultará ser solo 1/3 de la potencia total de la onda modulada y, por lo tanto, 2/3 de la potencia total estarán destinadas para transmitir la componente de portadora. Así si $m = 1$, entonces:

$$P_{T(BL)} / P_{T(AM)} = 1/3$$

$$P_{T(BL)} = P_{T(AM)} / 3$$

De lo anterior se deduce que, en **un sistema de modulación en amplitud de doble banda lateral con portadora**, se desperdicia la potencia contenida en la portadora (ya que ésta no contiene información) y, por lo tanto, la potencia útil del sistema será de 16%.

De acuerdo con el resultado anterior, se ha buscado el uso de técnicas que permitan aprovechar mejor la potencia cuando se modula en AM, entre las cuales se encuentran las siguientes:

Modulación de AM con doble banda lateral y portadora suprimida (AM DBL – PS).

Al introducir a un multiplicador las ondas, moduladora y portadora:

$$F_P(t) = V_P \cos \omega_P t$$

$$F_M(t) = V_M \cos \omega_M t$$

Se tiene:

$$F_M(t) F_P(t) = k V_P V_M \cos \omega_P t \cos \omega_M t$$

Donde k será la constante de multiplicación, la cual, por conveniencia, se toma igual a la unidad.

De la misma forma que para la onda de AM con portadora, se tendrá que:

$$F_M(t) F_P(t) = kV_P V_M \cos \omega_P t \cos \omega_M t$$

$$[(V_P V_M) / 2] [\cos (\omega_P + \omega_M)t + \cos (\omega_P - \omega_M)t]$$

y aplicando la transformada de Fourier (\mathcal{L}) se tiene que:

$$(V_P V_M) / 4 [\delta (F - F_P + F_M) + \delta (F - F_P - F_M) + \delta (F + F_P + F_M) + \delta (F + F_P - F_M)]$$

Gráficamente:

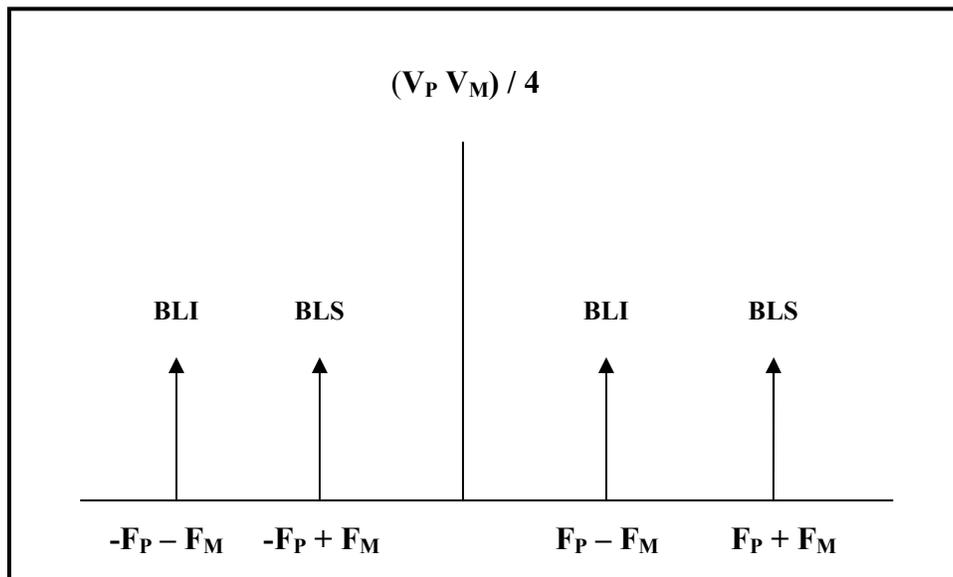


FIGURA 1.6.9 Representación de una modulación en amplitud con doble banda lateral y portadora suprimida.

Al sistema descrito anteriormente se le llama **modulación de AM con doble banda lateral y portadora suprimida** (figura 1.6.9) y la ventaja con respecto al anterior es que la potencia útil se incrementa aproximadamente 50%.

En el sistema de modulación en amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida (**AM DBL – PS**), la potencia se calcula de la misma manera que para el caso de AM con portadora, con la ventaja de que se elimina la portadora en la cual se desperdicia la potencia:

$$F_{AM}(t) = V_P \cos \omega_p t + [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p + \omega_M)t + [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p - \omega_M)t$$

Suprimiendo la portadora:

$$F_{DBL-PS}(t) = [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p + \omega_M)t + [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p - \omega_M)t$$

Y por lo tanto la potencia de banda lateral se calcula de la siguiente manera:

$$P_{BLI} = P_{BLS} = [(m^2 V_P^2) / 8] \text{ (watts)}$$

La potencia total será ahora:

$$P_{T(DBL-PS)} = P_{BLI} + P_{BLS} = [(m^2 V_P^2) / 8] + [(m^2 V_P^2) / 8]$$

$$P_{T(DBL-PS)} = [(m^2 V_P^2) / 4] \text{ (watts)}$$

La razón de potencia total de las bandas laterales a la potencia total transmitida será:

$$P_{BL} / P_{T(DBL-PS)} = 1$$

Como la información contenida en una banda lateral es idéntica a la contenida en la otra banda lateral, se puede calcular también la razón de potencia total de una banda lateral a la potencia total transmitida:

$$P_{BLI} / P_{T(DBL-PS)} = P_{BLS} / P_{T(DBL-PS)} = [(m^2 V_P^2) / 8] / [(m^2 V_P^2) / 4] = 1/2$$

Esto nos indica que la modulación en AM con doble banda lateral y portadora suprimida (AM DBL – PS) mejora la eficiencia del sistema, teniendo en éste caso una potencia útil del 50%.

Aunque con éste sistema la eficiencia mejora en cuanto a potencia, el ancho de banda necesario para poder enviar el mensaje sigue siendo del doble del que requería la información antes de llevar a cabo la modulación.

Modulación en amplitud de banda lateral única (AM BLU ó AM BLU – PS).

Las modulaciones en amplitud con portadora y de DBL – PS desperdician un ancho de banda considerable, ya que ambas requieren de uno de transmisión igual al doble del que posee el mensaje. En ambos casos, la BLS ocupa la mitad de la banda de transmisión, mientras que la BLI ocupa la otra mitad. Sin embargo, las bandas superior e inferior están unívocamente relacionadas entre sí, en virtud de su simetría con respecto a la frecuencia de la portadora, es decir, dados los espectros de amplitud y fase de una de las bandas laterales, es posible determinar unívocamente la otra.

Por lo tanto, el canal de comunicación sólo tendrá que proporcionar el mismo ancho de banda que la señal de información. En éste caso el sistema se conoce como “**sistema de modulación de banda lateral única**”. El beneficio de éste es la reducción de ancho de banda y la eliminación de portadora de alta frecuencia. El principal inconveniente del sistema será su costo y complejidad.

Si consideramos la onda de AM:

$$F_{AM}(t) = V_P \cos \omega_p t + [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p + \omega_M)t + [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p - \omega_M)t$$

Al eliminar la portadora y una banda lateral, se tiene:

$$F_{BLU}(t) = [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p + \omega_M)t = [(mV_P) / 2] \cos (\omega_p - \omega_M)t$$

En éste caso la potencia de banda lateral es:

$$P_{BL} = P_{BLI} = P_{BLS} = [(m^2 V_P^2) / 8] \text{ (watts)}$$

Como la potencia total transmitida es:

$$P_{Tx} = [(m^2 V_P^2) / 8] = P_{BLU}$$

La relación de potencia total de banda lateral única a la potencia total transmitida será:

$$(P_{BLS} / P_{BLU}) = (P_{BLI} / P_{BLU}) = 1$$

Esto quiere decir que la potencia útil del sistema será del 100%.

Modulación en amplitud de banda lateral única con portadora piloto.

Aunque la modulación de BLU permite economía en ancho de banda y en potencia de transmisión, complica el problema de la transmisión, ya que se requiere de sincronización entre la portadora que se utiliza en el transmisor para la modulación, y la que debe generarse localmente en la recepción, para efectuar el proceso de demodulación. Un método que se utiliza para efectuar ésta sincronización, consiste en transmitir una frecuencia piloto con las mismas características de frecuencia que la portadora junto con la señal de información (BLI y BLS) enviada.

Modulación en amplitud de banda lateral residual (BLR).

Uno de los efectos de la modulación de BLU es que no es apropiada cuando la señal de información contiene componentes de frecuencia extremadamente bajos, como por ejemplo, señales de televisión y telegrafía.

La modulación en amplitud de BLR también conocida como **modulación asimétrica**, es en la que se hace pasar una banda lateral casi por completo, mientras que se retiene para enviar sólo un recibo de la otra banda lateral.

1.7 Conversión Analógica / Digital.

“Trasladar una señal analógica a una señal digital se llama **conversión analógica a digital (A/D), digitalización de una señal, o codificación**. El dispositivo empleado para realizar esta traslación se denomina **convertidor analógico a digital (A/D) o (CAD)**.”⁽⁴⁰⁾

Usualmente se convierte una señal analógica (voltaje o corriente), que puede ser voz, video, temperatura, etc., en una serie de números binarios. La conversión A/D es un proceso que consiste en cuatro pasos a seguir, los cuales son:

1.- Muestreo.

La señal se muestrea en intervalos de tiempo regulares, es decir, en ésta etapa se divide a la señal analógica en varias partes que corresponden a un valor instantáneo de la señal en ese punto, y a cada valor le va a corresponder un número binario que sea cercano al valor real de la muestra (figura 1.7.1).

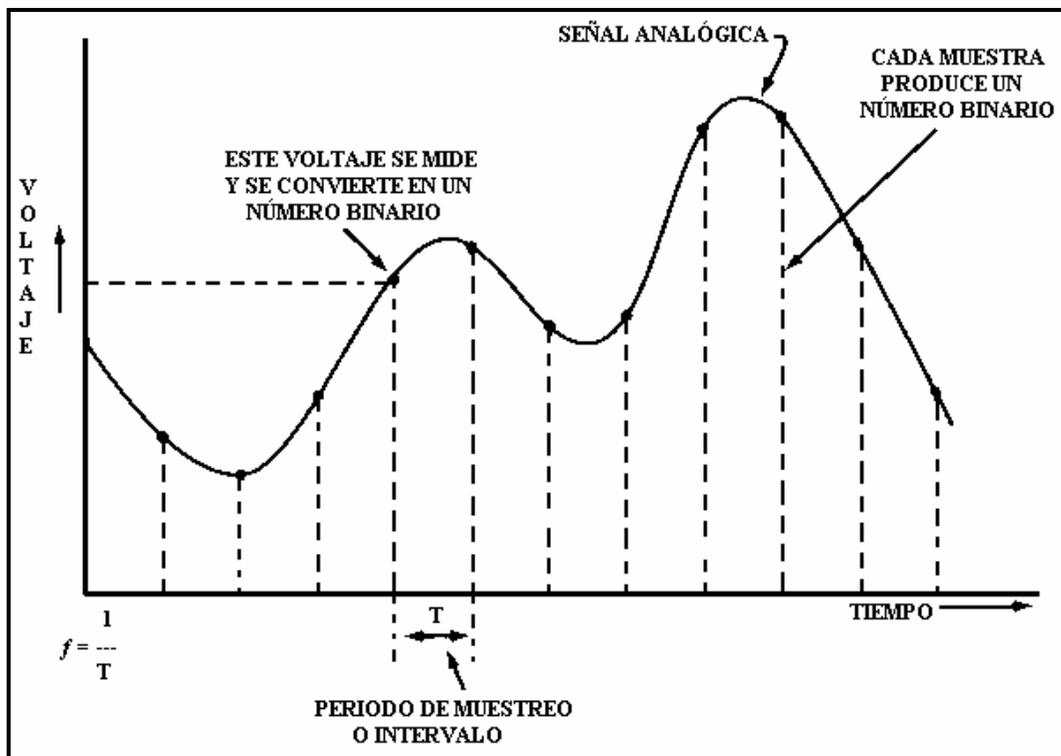


FIGURA 1.7.1 Muestreo de una señal analógica.

Para que la señal esté convertida adecuadamente, deberá tomarse un número suficiente de muestras el cual va a depender de la **frecuencia de muestreo**, que está en función de factores como: costo, complejidad, ancho de banda y disponibilidad de circuitos prácticos.

De acuerdo con el **teorema de muestreo de Shannon – Nyquist**, el intervalo mínimo entre muestras independientes debe ser:

$$\Delta t \leq 1 / (2 * f_M) \rightarrow \text{Idealmente}$$

Para fines prácticos, es mejor tener intervalos de:

$$\Delta t \leq 1 / (5 * f_M) \rightarrow \text{Donde } f_M \text{ es la frecuencia máxima de la señal a convertir}$$

Un ejemplo de la frecuencia de muestreo se tiene en la que maneja un reproductor de CD, que se encuentra entre 2.2 y 2.4 de la frecuencia de la señal, tomando en cuenta que manejan señales de hasta 20 KHz.

2.- Retención.

Cada muestra de la señal que se desea convertir debe mantenerse invariable por un periodo de tiempo corto, lo cual se realiza mediante un arreglo electrónico denominado **sistema de muestreo y retención (S M/R)**, como el mostrado en la figura 1.7.2.

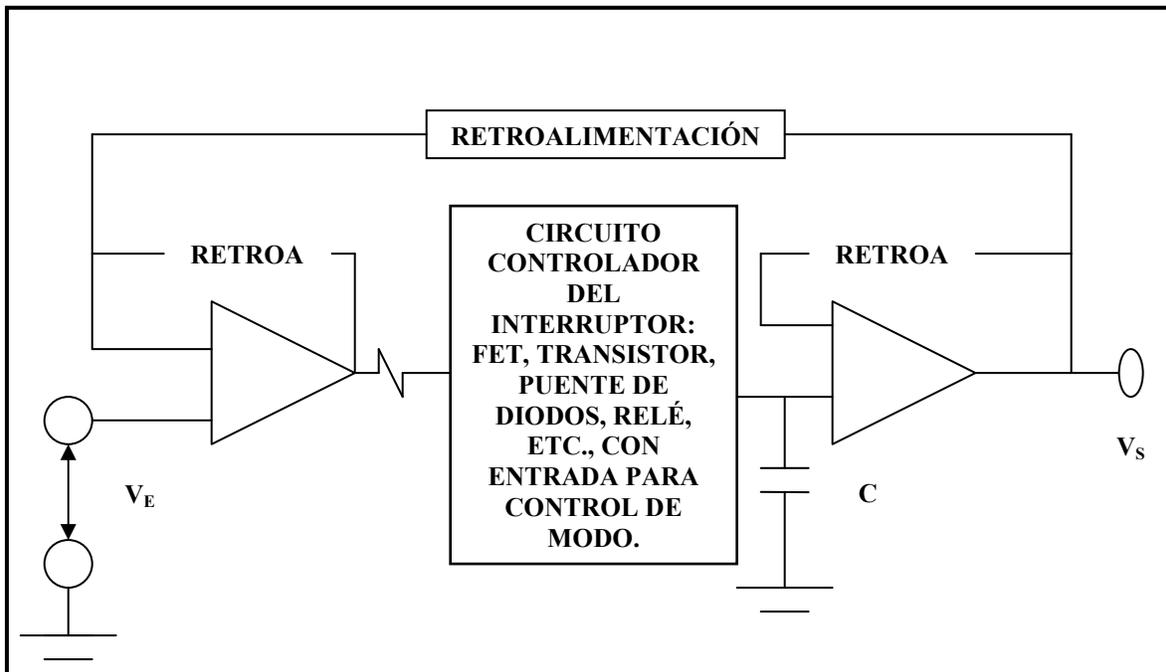


FIGURA 1.7.2 Sistema de muestreo y retención.

El sistema toma intervalos de la muestra, ó un punto particular de la señal, y los retiene durante un tiempo limitado para después procesarlos. Los instantes de muestreo y la duración de la retención están determinados por una señal lógica de control.

El S M/R reúne algunas características esenciales para su funcionamiento:

- **Tiempo de apertura:** Es el máximo retardo entre el instante en que el circuito lógico abre el interruptor y en el que realmente lo hace. En base a éste tiempo se determina el tipo de interruptor, por ejemplo: si el tiempo es del orden de milisegundos, se opta por el uso de un relevador; si es de nanosegundos, se utilizan mosfet's, y para tiempos menores a un nanosegundo, se utilizan interruptores diodo. El tiempo de apertura se muestra en la figura 1.7.3 a y b:

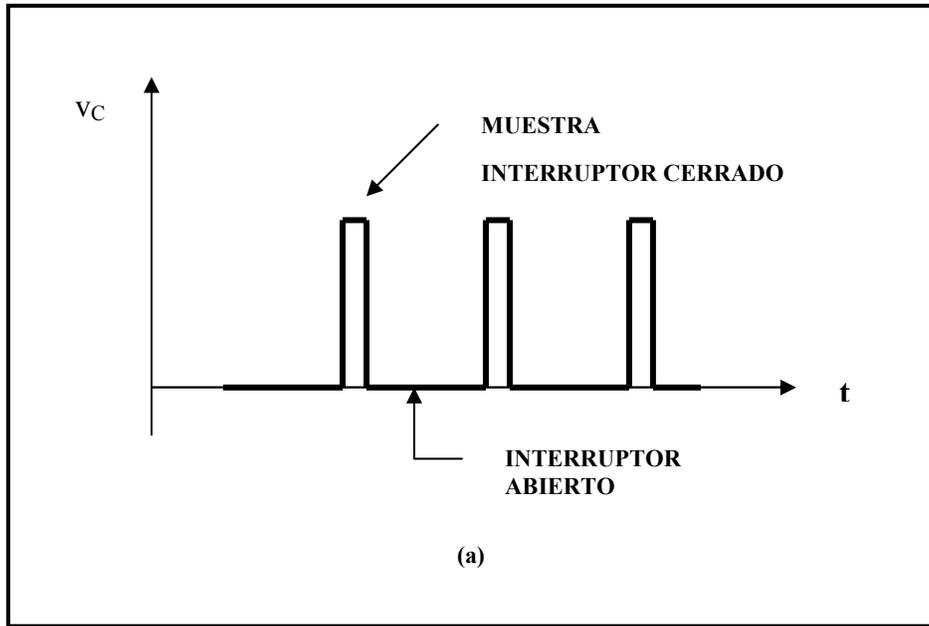


FIGURA 1.7.3 a Funcionamiento del interruptor en el S M/R.

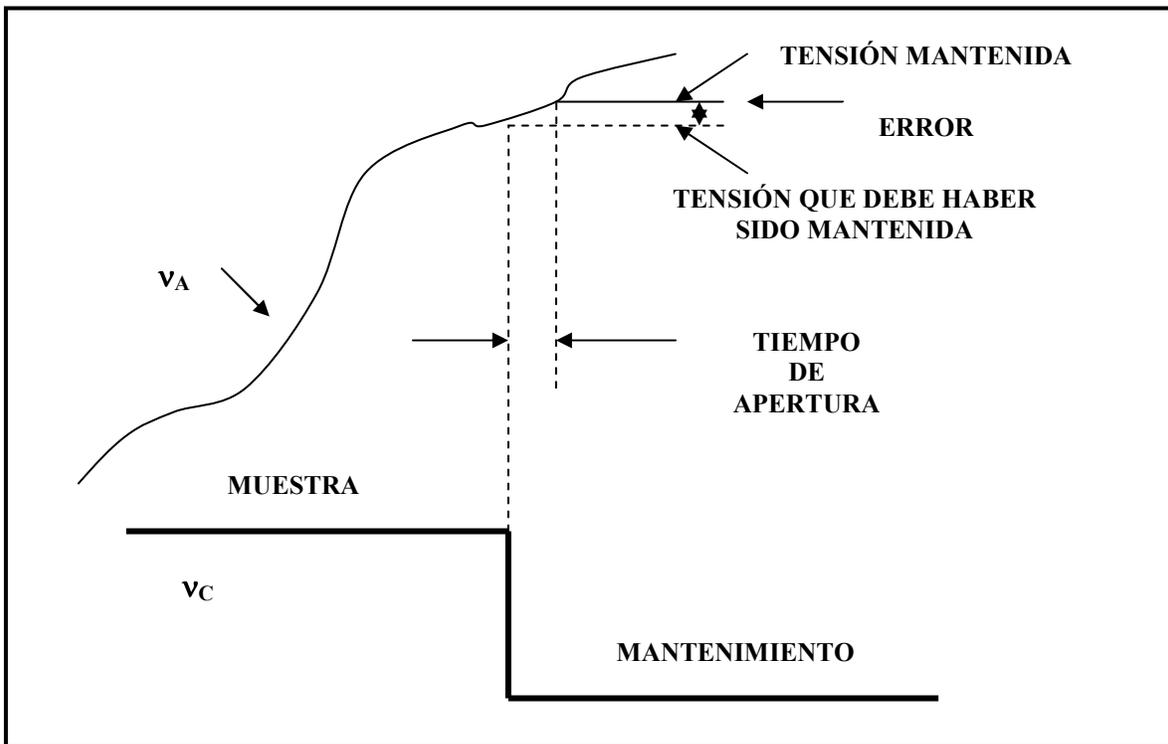


FIGURA 1.7.3 b Tiempo de apertura y su efecto.

- **Tiempo de adquisición:** Es el tiempo entre la toma de muestra y la retención (figura 1.7.4), es decir, antes del tiempo de apertura, de tal forma que la tensión de salida sea aproximadamente la tensión de entrada.

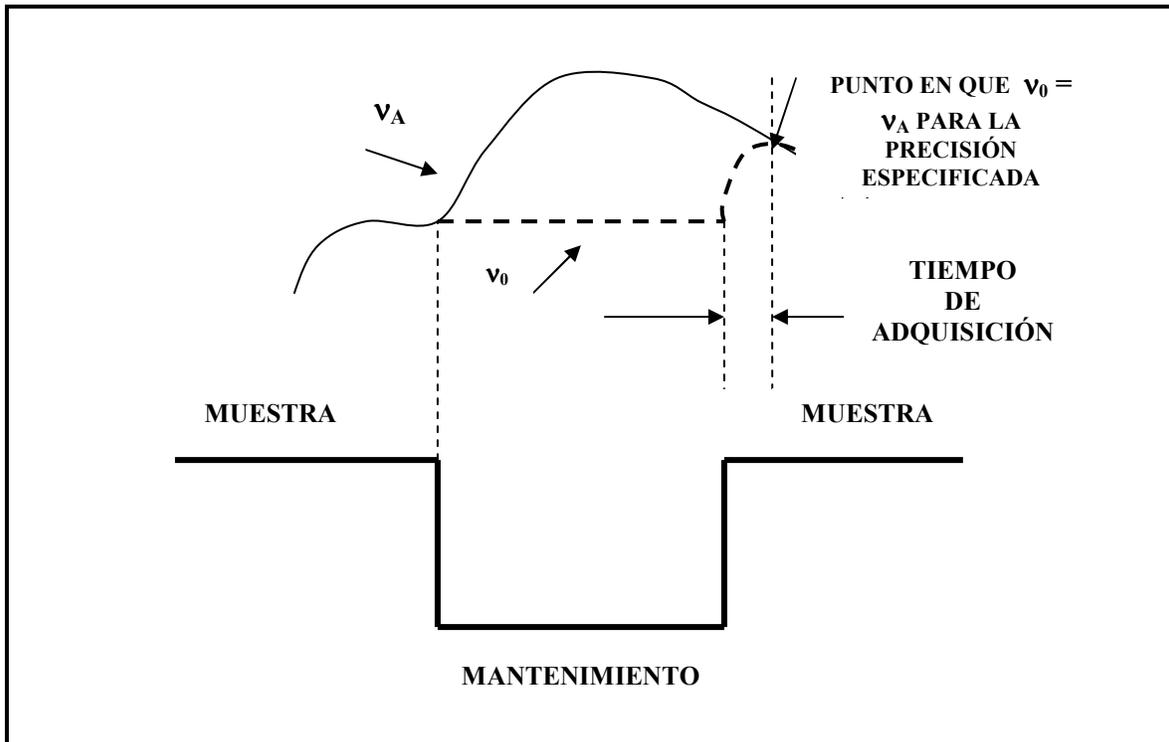


FIGURA 1.7.4 Tiempo de adquisición.

- **Tiempo de establecimiento:** Es el tiempo desde la apertura del interruptor (retención) hasta que la salida ha alcanzado su valor final dentro de un porcentaje especificado (usualmente 0.01% del valor final de la escala).

3.- Cuantificación.

Debido a que un convertidor A/D es capaz sólo de representar un número finito de valores de voltaje dentro de un intervalo específico, éste, dependiendo del número de bits con que trabaje a su salida, representará un número de niveles de la señal igual a:

$$\# \text{ de niveles} = 2^N$$

Donde N es el número de bits con que trabaja el CAD.

Y un número de incrementos igual a:

$$\# \text{ de incrementos} = 2^N - 1$$

Por ejemplo, un CAD de 8 bits puede representar: $2^8 = 256$ niveles de voltaje y, por lo tanto, el número de incrementos será igual a: $2^8 - 1 = 255$ incrementos de una señal; si la señal estuviera en un intervalo de 0 a 30V entonces el CAD dividiría este intervalo en incrementos de **117.64 mV**, con lo cual, se ayuda a reducir el llamado **error de cuantización**, que no es más que aquel que se presenta cuando el valor de bits asignado al valor dentro de la señal varía cierto porcentaje.

4.- Codificación.

Es el proceso en que se asigna un grupo de bits al valor de la señal cuantizada. Así, si un CAD de 4 bits va a producir 16 niveles a 15 incrementos, entonces, en un voltaje de 0 a 15V, el **0** será **0000**, el **8** será **1000**, pero si el valor es por ejemplo, 11.7, entonces el CAD le asignará el valor de 12, que correspondería a 1100 que es el más cercano (figura 1.7.5), por lo tanto aquí aparece el error antes mencionado, el cual se corrige tan solo usando un CAD con un número mayor de bits, ya que **a mayor número de bits menor será el error de cuantización.**

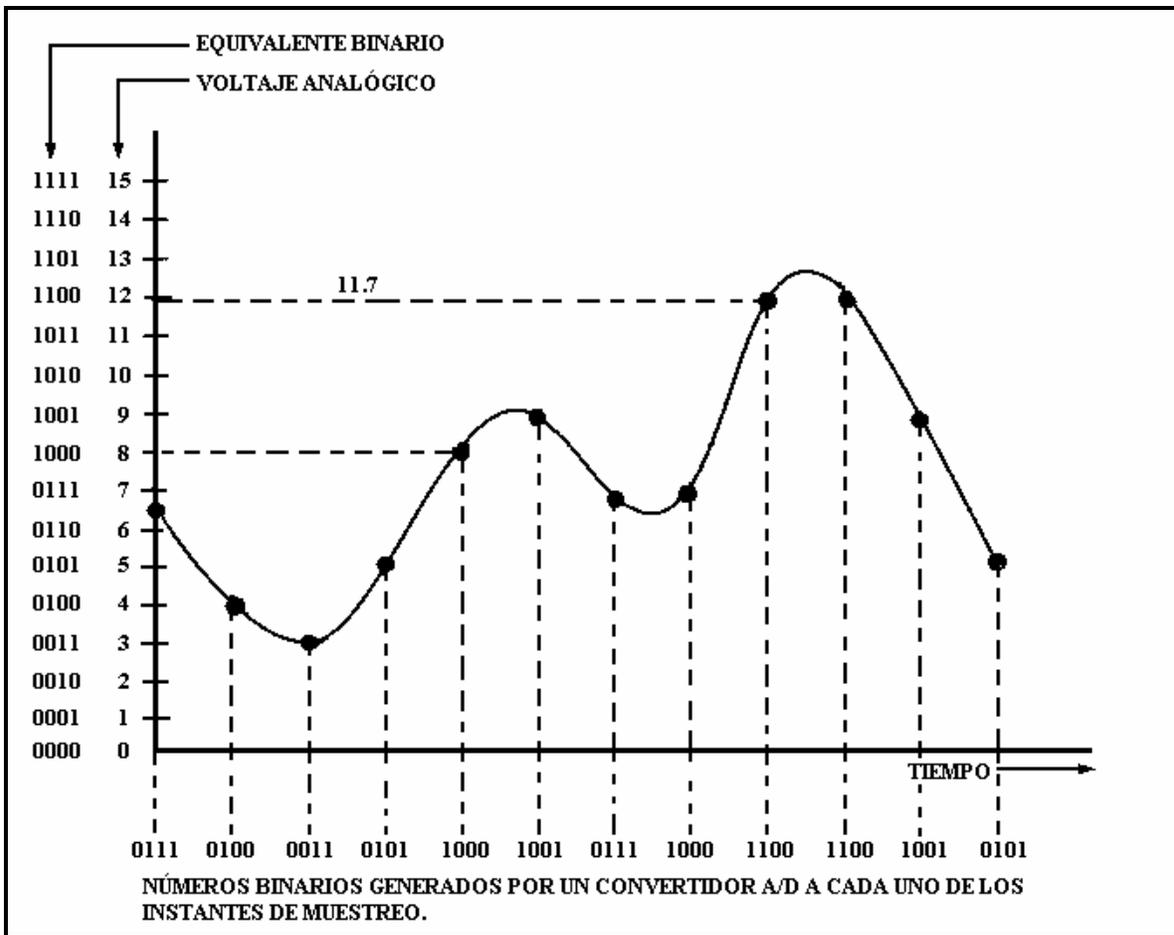


FIGURA 1.7.5 Proceso de codificación.

1.8 Conversión Digital / Analógica.

Es el proceso inverso a la conversión analógica / digital, donde el sistema que realiza dicha función es llamado **convertidor digital / analógico (CDA)**, el cual recibe números binarios en forma consecutiva y desarrolla un voltaje analógico proporcional a la salida.

Dado que los valores binarios de entrada representan valores específicos, la salida del CDA tiene forma escalonada, pero sólo es una aproximación a la señal analógica real (figura 1.8.1), por lo tanto, se hace uso de un filtro paso bajas con una frecuencia de corte apropiada, conectado a la salida del CDA.

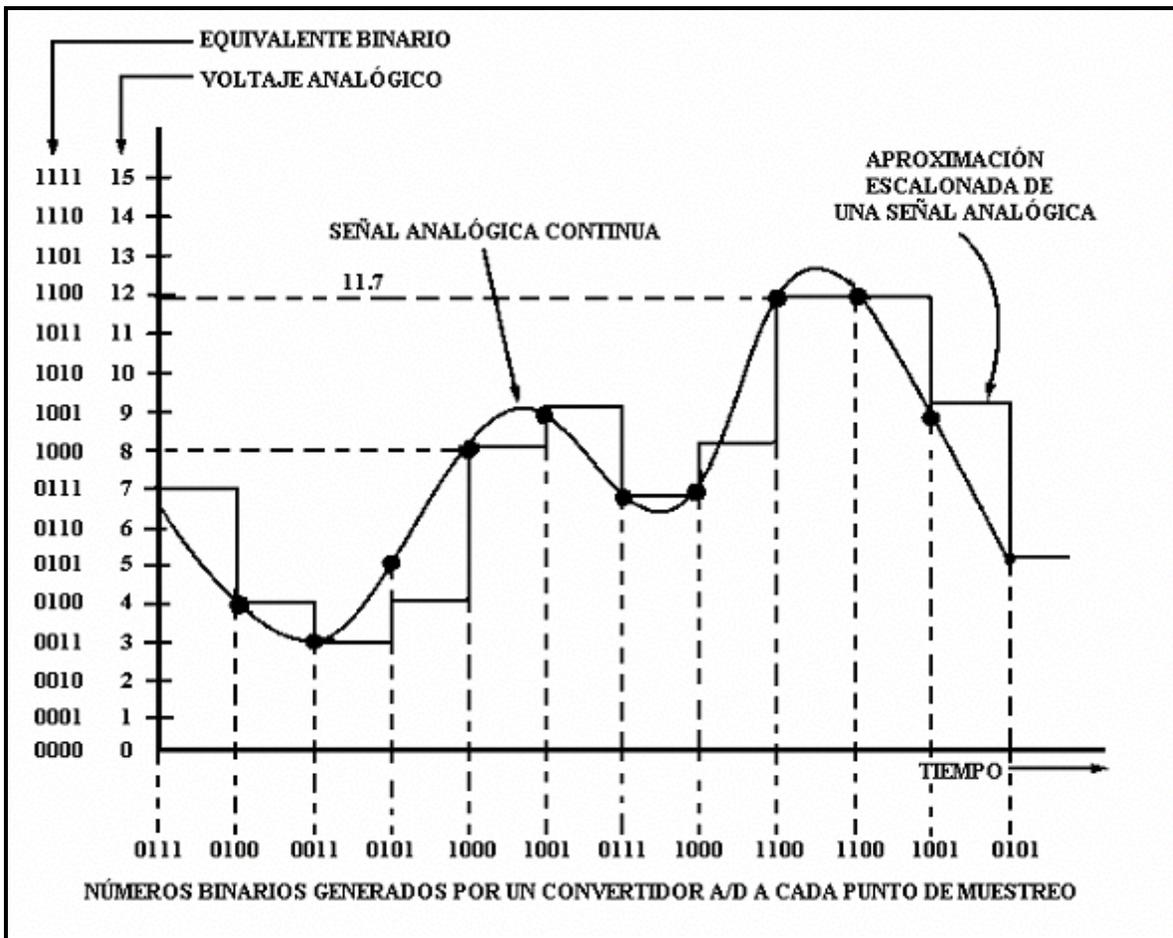


FIGURA 1.8.1 Procesamiento de la señal en la conversión digital / analógica.

“Si las palabras binarias tienen un número mayor de bits, el intervalo de voltaje analógico se divide en incrementos menores y los incrementos escalonados de salida serán menores. Esto conduce a una aproximación más cercana a la señal analógica original”.⁽⁴¹⁾

Un CDA trabaja en base a las siguientes secciones (figura 1.8.2):

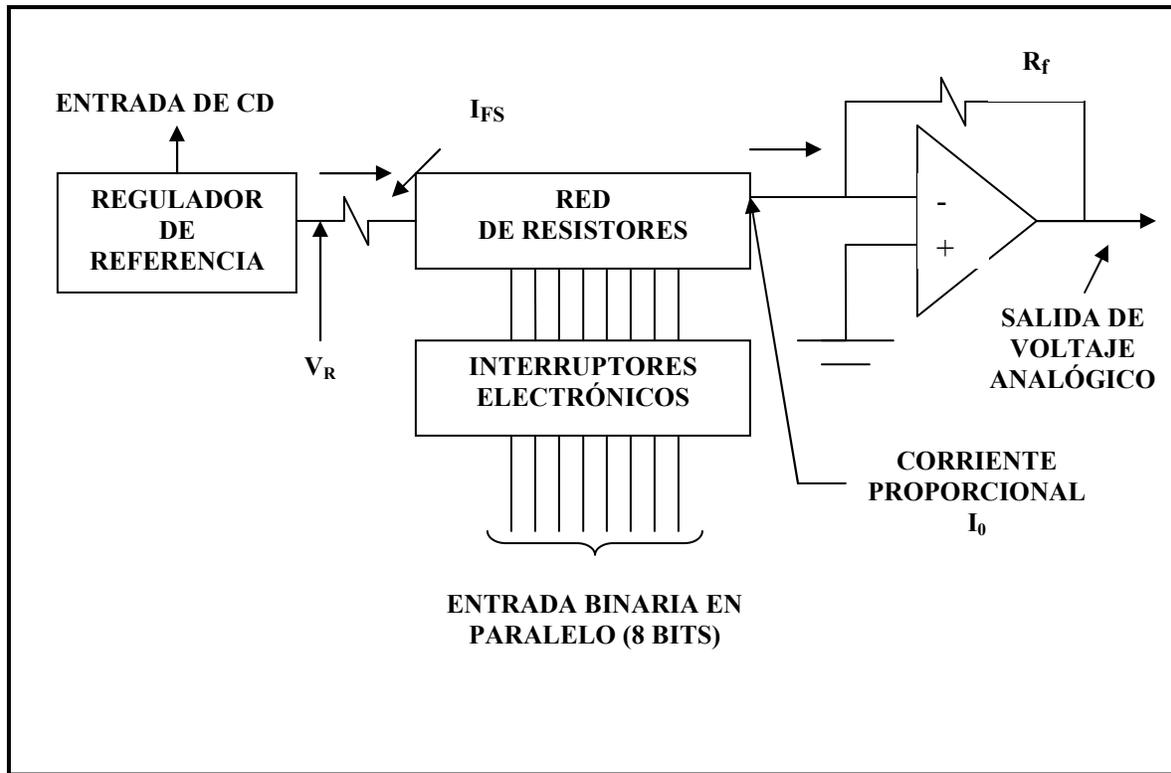


FIGURA 1.8.2 Componentes de un CDA.

- **Regulador de referencia:** Utiliza un diodo zener mediante el cual se fija un voltaje de referencia V_R en base a un voltaje de CD aplicado a él. Un resistor a la salida de éste módulo establece la corriente máxima de entrada a otro módulo del CDA (que es una red de resistores), la cual fija la precisión del circuito. La corriente máxima es llamada **corriente de escala máxima ó I_{FS}** , la cual queda expresada mediante la ecuación:

$$I_{FS} = V_R / R_R$$

Donde:

V_R = Voltaje de referencia

R_R = Resistencia de referencia

- **Red de resistores:** Es un arreglo de resistencias en configuración **Escalera R – 2R** (ver figura 1.8.3), pero también puede ser una red de capacitores. Este módulo del CDA convierte el voltaje de referencia del módulo anterior en una corriente proporcional al valor de la entrada binaria y la I_{FS} , donde:

$$I_0 = [I_{FS} (2^N - 1)] / 2^N$$

Donde:

I_0 = Corriente de salida de la red

I_{FS} = Corriente de escala máxima

N = Número de bits

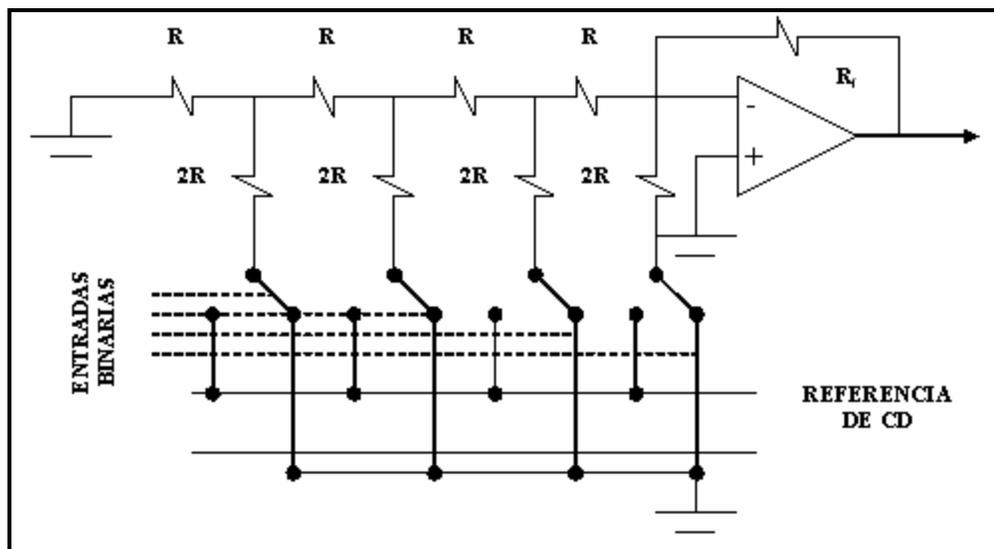


FIGURA 1.8.3 Red Escalera R -2R

- **Interruptores electrónicos:** Conmutan corriente o voltaje a la red R – 2R y están controlados por la entrada binaria de datos a convertir. Por lo regular están implementados por diodos o transistores.

- **Amplificadores de salida:** Un OPAM (amplificador operacional) convierte la corriente de salida (I_0) en un voltaje proporcional. La corriente de salida de $R - 2R$, multiplicada por el resistor de realimentación (R_f), da el voltaje de salida tomando en cuenta que dependiendo de R_f el voltaje de salida se escalona a cualquier valor. El voltaje de salida va a ser igual a:

$$V_{SAL} = -I_0 R_f$$

Para que un CDA trabaje adecuadamente, debe reunir especificaciones tales como:

- **Resolución:** Es el número total de incrementos que produce el CDA dentro de su intervalo de voltaje de salida. Se calcula mediante la expresión:

$$R_{ES} = V_R / (2^N - 1)$$

Donde:

V_R = Voltaje de referencia

N = Número de bits

- **Error:** Es un porcentaje del máximo voltaje de salida o de escala completa, que es el voltaje de referencia. La cifra típica es de $\pm 0.1\%$; debe ser menor que la mitad de un incremento mínimo.
- **Tiempo de asentamiento:** “Es el tiempo que le toma a la salida de un convertidor D/A asentarse a $\pm 1/2$ del cambio producido por el bit menos significativo (LSB)”.⁽⁴²⁾ Los tiempos de asentamiento típicos están en el intervalo de 100 ns.

CITAS.

- (1) P. E. TIPPENS. *Física, conceptos y aplicaciones*, pág. 632
- (2) CONFER G. J. KING. *Radio*, págs. 4 – 5
- (3) CONFER *Enciclopedia Temática Océano, Volumen 6, Física II*, pág. 1122
- (4) P. E. TIPPENS. Op. cit., pág. 703
- (5) CONFER J. EDMINISTER. *Circuitos Eléctricos*, pág. 3
- (6) CONFER G. J. KING. Op. cit., pág. 19
- (7) L. E. FRENZEL. *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*, págs. 18 – 19
- (8) *Ibidem*, pág. 21
- (9) *Ibidem*, págs.. 44 – 46
- (10) CONFER P. E. TIPPENS. Op. cit., págs.. 842 – 845
- (11) CONFER *Ibidem*, pág. 844
- (12) CONFER *Ibidem*, pág. 658
- (13) L. E. FRENZEL. Op. cit., pág. 633
- (14) R. SÁNCHEZ. *Sistemas Electrónicos Digitales (Fundamentos para Procesamiento y transmisión de Datos)*, pág. 179
- (15) CONFER F. RUIZ. *Enciclopedia de la Radio, Televisión, HI – FI, Tomo Radio*. pág. 11
- (16) CONFER R. SANCHEZ. Op. cit., pág. 181
- (17) CONFER *Ibidem*, pág. 184
- (18) CONFER L. E. FRENZEL. Op. Cit., pág. 14
- (19) H. L. KRAUSS. *Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicación*, pág. 17
- (20) *Ibidem*, págs. 16, 18
- (21) <http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm>

- (22) CONFER //espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm
- (23) CONFER //espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm
- (24) CONFER //espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm
- (25) <http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm>
- (26) <http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm>
- (27) L. E. FRENZEL. Op. cit., pág. 636
- (28) <http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm>
- (29) CONFER L. E. FRENZEL. Op. cit., pág. 656
- (30) *Ibidem*, pág. 638
- (31) CONFER www.wikipedia/fenómenos asociados a la radiación electromagnética.htm
- (32) P. E. TIPPENS. Op. cit., pág. 564
- (33) *Ibidem*, pág. 570
- (34) CONFER *Ibidem*, pág. 607
- (35) *Ibidem*, pág. 540
- (36) CONFER *Ibidem*, pág. 540
- (37) CONFER R. SANCHEZ. Op. cit., pág. 177
- (38) F. RUIZ. *Enciclopedia de la Radio, Televisión, HI – FI, Tomo Radio*, pág. 25
- (39) CONFER F. RUIZ. Op. cit., pág. 32
- (40) L. E. FRENZEL. Op. cit., pág. 400
- (41) *Ibidem*, pág. 403
- (42) *Ibidem*, pág. 406

TEMA 2.- OPERACIÓN DEL SISTEMA.

2.1 Diagrama a Bloques.

El diagrama a bloques ayuda a tener una referencia acerca de los elementos que conforman al Transmisor de AM modelo DX 50, donde cada bloque representa un conjunto de tarjetas con diferentes circuitos para una función específica.

El Transmisor, de acuerdo a lo anterior, se divide en varias secciones o módulos (ver figura 2.1.1):

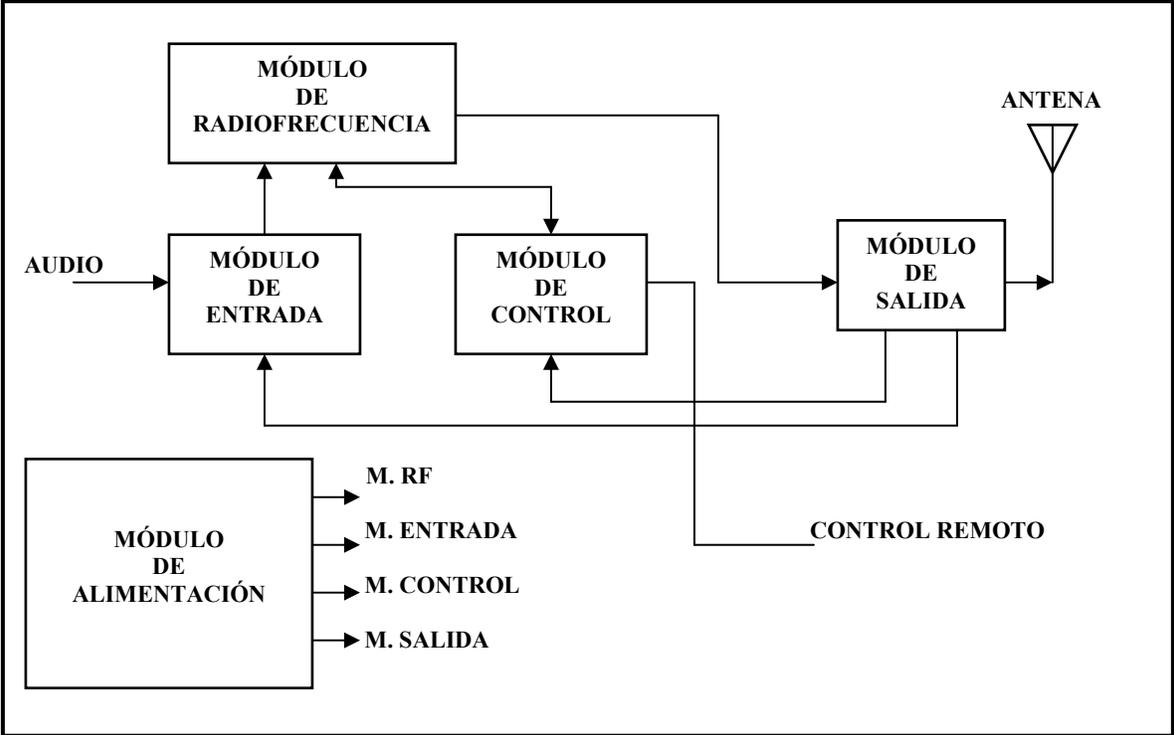


FIGURA 2.1.1 Diagrama a Bloques de los módulos que conforman el Sistema del Transmisor DX-50.

Módulo de Radiofrecuencia.

Este módulo está integrado por el Oscilador (Oscillator), el Amplificador Separador (Buffer Amplifier), el Pre-excitador (Predriver), el Excitador de RF (RF Driver), el Combinador Excitador (Driver Combiner), el Regulador de Alimentación Excitador (Driver Supply Regulator), el Divisor de RF (RF Splitter), el Amplificador de Potencia o PA (Power Amplifier) y el Combinador del Amplificador de Potencia (PA Combiner).

Básicamente, el Módulo de Radiofrecuencia genera una señal de RF, luego amplifica esta señal en tres etapas hasta un nivel lo suficientemente alto para excitar el Amplificador de Potencia, donde se modula con la señal procedente del Módulo de Entrada; la salida de este módulo se da en la Tarjeta del Combinador de Potencia.

Módulo de Entrada.

Está integrado por la tarjeta donde se alimenta la señal de entrada (Audio Input), el Convertidor Analógico/Digital o CAD (Analog to Digital Converter), los Codificadores de Modulación (Modulation Encoders) y un Regulador DC (DC Regulator).

Este módulo acepta una señal de audio de entrada y la convierte a una señal digital; luego es procesada o “codificada” para controlar el encendido y apagado de los módulos amplificadores del PA (ubicado en el Módulo de RF), y de esta manera modular en amplitud la señal proveniente del Módulo de Radiofrecuencia.

Módulo de Control.

La Sección de Control incluye la Tarjeta de Control (Controller), la Tarjeta LED (LED Board), la Tarjeta de Interfase Externa (External Interface) y el Panel de Medición/Tablero de Control (Switch Board/Meter Panel).

El comando de encendido/apagado del PA es reconocido por la Tarjeta de Control desde alguno de los botones identificados como **BAJA (LOW)**, **MEDIA (MED)**, **ALTA (HIGH)** potencia ó **APAGADO (OFF)**, así como los ajustes del nivel de potencia y de control que también son procesados en ésta tarjeta.

La Tarjeta LED se encarga de la detección de fallas y sobrecargas, por lo que provee 26 indicaciones en el Panel de Estados LED así como indicaciones de estado “Local” ó “Remoto”, también provee todas estas indicaciones, como salida remoto de estado, en la Interfase Externa. Muchas indicaciones de estado son almacenadas para proporcionar indicaciones de falla hasta que sean borradas, incluso si el Transmisor está apagado. Las indicaciones almacenadas son también “recordadas” siempre que un voltaje de alimentación de respaldo esté presente cuando la corriente ac se desconecte ó falle.

La Interfase Externa provee una comunicación entre la Tarjeta de Control del Transmisor y cualquier control externo o equipo de monitoreo, incluyendo equipo de control remoto y paneles de control extendido y monitoreo. Los circuitos de interfaz en la Tarjeta proveen de aislamiento a la sección de Control, y además, se utilizan unos diodos transzorb que protegen al Transmisor de voltajes transitorios que provengan de cableado externo y de voltajes inadecuados accidentalmente aplicados en las terminales de la Interfase Externa.

Módulo de Alimentación.

Lo conforman la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje (Low Voltage Power Supply) y la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje (High Voltage Power Supply).

La Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje utiliza rectificadores de onda completa y arrollamientos con derivación para proporcionar cinco voltajes dc diferentes no regulados, los cuales son: +8V, -8V, +22V, -22V y +30V. Todos los circuitos lógicos y otros más, excepto el Amplificador de Potencia RF (PA) y los módulos del Driver RF, operan con la alimentación de Bajo Voltaje.

La Fuente de Alto Voltaje posee un Transformador trifásico en el cual sus múltiples devanados en el primario permiten un rango de voltaje de entrada desde 360Vac a 505Vac. Tres juegos de devanados secundarios proveen la corriente ac para los ensambles rectificadores de +230Vdc y +115Vdc, pero mediante una conexión de ese transformador se obtienen también +60Vdc. Algunas veces, en otras descripciones de los circuitos del Transmisor, los voltajes del PA pueden también ser mencionados como **Voltaje Completo (+230Vdc)**, **Medio Voltaje (+115Vdc)** y **Un cuarto de Voltaje (60Vdc)**.

Módulo de Salida.

Lo forman el Filtro Paso Banda (Bandpass Filter), la Red Adaptadora Pi (Pi Matching Network), una inductancia denominada L7 y los circuitos de la Tarjeta de la Muestra de Salida (Output Sample Board), además, de la Tarjeta del Monitor de Salida (Output Monitor Board).

La señal de salida del Combinador del PA pasa por un filtro paso banda, el cual atenúa las frecuencias fuera de la banda seleccionada para llegar a la Red Adaptadora Pi, donde se adapta la impedancia de salida del Combinador del PA (la cual es de 8Ω) a un valor de 50Ω . La función de la Tarjeta del Monitor de Salida es que cada que exista una condición de VSWR alto, mandará una señal de apagado a la Tarjeta de los Codificadores de Modulación (Módulo de Entrada), la cual apagará las etapas amplificadoras del PA en unos cuantos microsegundos.

Ahora bien, las tarjetas que conforman cada módulo se interconectan de la siguiente forma, como se observa en la figura 2.1.2:

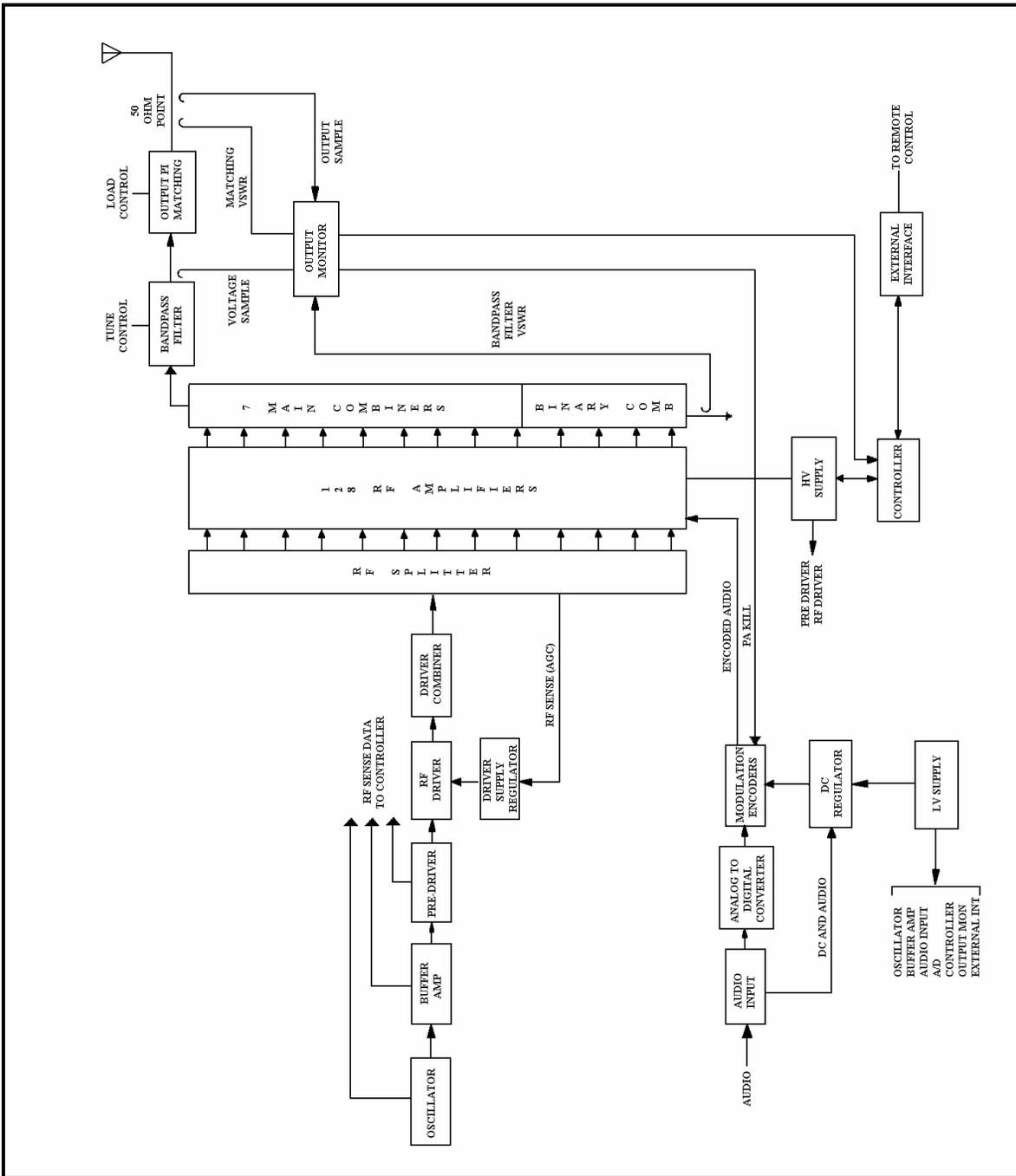


FIGURA 2.1.2 Diagrama a Blocques de un Transmisor de AM modelo Harris DX 50.

2.2 Módulo de Radiofrecuencia.

Tal como se mencionó en el subtema anterior, cada módulo contiene diferentes tarjetas, como se puede observar en la figura 2.1.2. A continuación se describen las tarjetas del Módulo de RF.

1.- Tarjeta del Oscilador.

La Tarjeta del Oscilador funciona en base a un circuito oscilador a cristal ó puede usarse uno externo de otra fuente. La etapa del oscilador a cristal, Q1, es un circuito Pierce Standard, que opera a cuatro u ocho veces la frecuencia de portadora en modo resonante paralelo. El conector tipo jumper plug, P1, permite seleccionar entre el cristal uno (Y1) o el dos (Y2), así mismo, mediante el conector P6, se elige al horno correspondiente para cada uno de ellos. Para cada cristal los ajustes pequeños de frecuencia pueden hacerse con C1 (para el cristal Y1) o C3 (para el cristal Y2). Ver figura 2.2.1.

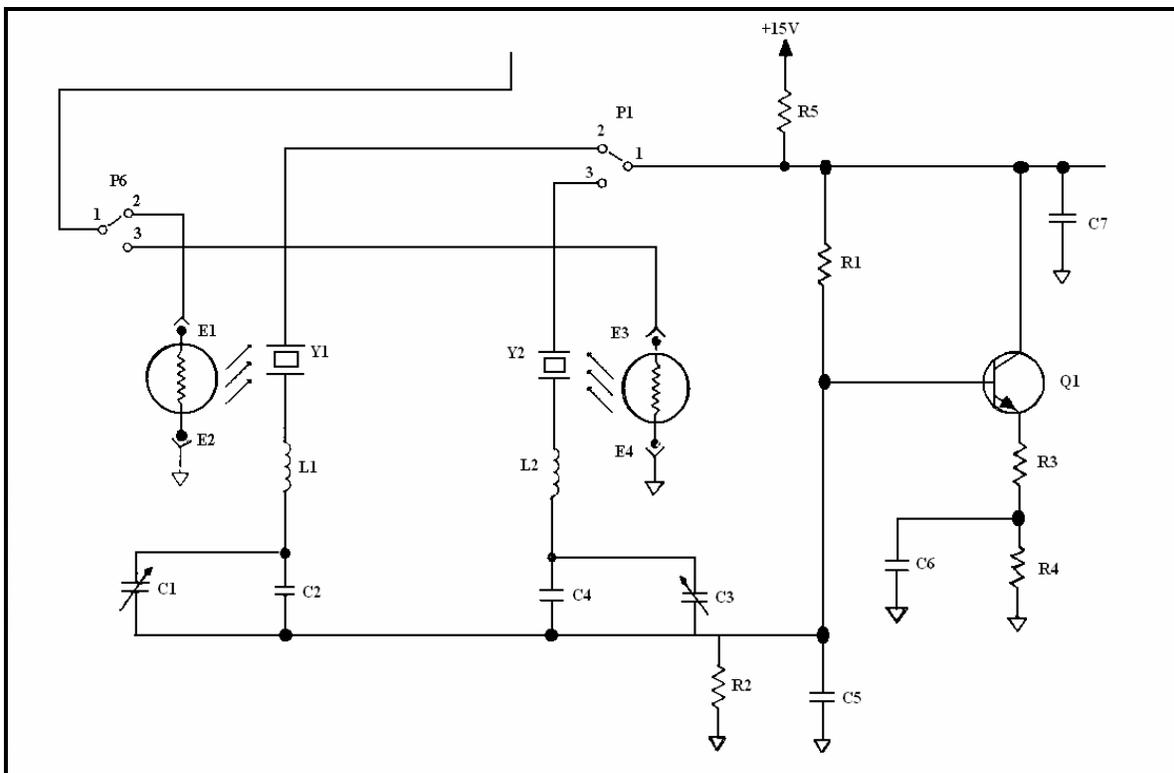


FIGURA 2.2.1 Circuito Oscilador.

Para frecuencias de portadora de 1250 KHz y por debajo de ésta, la frecuencia del cristal es ocho veces la frecuencia y por encima, el cristal opera a cuatro veces la frecuencia. Para el punto de interés de éste trabajo, la frecuencia de portadora es de 860 KHz, por lo que la frecuencia del cristal es de 6.88 MHz.

El voltaje de alimentación de +15V para el oscilador se deriva de +22V y es regulado por un diodo zener. Cada cristal está contenido en un horno, el cual mantiene la temperatura a 70°C (+/-3° C, aproximadamente) y mediante el conector P6 se suministran -15V a cada horno. Los conectores P1 y P6 deben estar en la misma posición, de otra forma, el cristal en uso no tendrá la temperatura correcta y puede quedar fuera de frecuencia (P1 y P6 deben estar en la posición superior o en la inferior).

La Salida de la Tarjeta del Oscilador está formada por un circuito separador, cuya entrada es una señal lógica de nivel TTL y su salida es una onda cuadrada (4 a 4.5V_{pp}). La impedancia de salida del circuito separador es muy baja, y un resistor acoplado a ésta, la fija en 50Ω.

Los voltajes de entrada para la Tarjeta del Oscilador provienen de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje del Transmisor, y tienen un valor de +22V y -22V no regulados; por medio de un regulador de tensión se proporcionan -15V para el horno del cristal.

2.- Tarjeta del Amplificador Separador.

El Amplificador Separador está compuesto de tres etapas amplificadoras que funcionan de la siguiente manera:

- **Primera Etapa.**

Un circuito separador convierte la entrada de nivel TTL, (la cual es una onda cuadrada de 4 a 4.5V_{p-p} con una impedancia de 50Ω) proveniente de la Tarjeta del Oscilador, en una señal de nivel MOS la cual se utiliza para excitar la segunda etapa, compuesta por un par de transistores BJT tipo NPN y PNP. La salida de ésta etapa es una onda cuadrada a la frecuencia de la portadora, con una amplitud de aproximadamente 15V_{p-p}.

- **Segunda Etapa.**

Esta etapa amplificadora proporciona la señal RF, a través de un transformador de acoplamiento, a la etapa de salida del Amplificador Separador. Debido a que el par de transistores que constituyen ésta etapa operan como un Amplificador de Conmutación de Alta Eficiencia, con señales de onda cuadrada tanto de entrada como de salida (cuya salida se encuentra en la unión de los emisores), conmutará entre tierra y el voltaje de alimentación de ésta etapa, pues cuando la entrada es Alta, el transistor NPN se saturará, llevando la salida a los +15V de alimentación, y cuando la entrada es Baja, el transistor PNP se saturará, llevando la salida a tierra (0V).

- **Tercera Etapa.**

La componen dos MOSFET's de potencia conectados en serie, los cuales son alimentados, en sus compuertas, con dos señales procedentes del transformador de acoplamiento citado anteriormente, 180° fuera de fase, por lo que éste par de transistores son conmutados alternadamente y la salida de la etapa alterna entre tierra (0V) y +30V con que se alimenta ésta etapa. La salida de ésta etapa está acoplada a la entrada del Pre-excitador por medio de una Red de Acoplamiento de Banda Ancha, formada por una red capacitiva-inductiva y una resistiva de estabilización.

El voltaje de entrada del Amplificador Separador es de +30V, que llegan de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje del Transmisor. La entrada dc del Amplificador Separador es protegida con un fusible de 2 Amp.

Antes de abordar la siguiente etapa es importante hacer un paréntesis para explicar la composición total de los módulos amplificadores en el Transmisor, para comprender la interrelación que existe entre los módulos Pre-excitador, Excitador de RF y el Amplificador de Potencia o PA.

El Transmisor usa un total de 143 módulos amplificadores de RF, de los cuales unos están conectados en la Tabla Madre/Combinador Excitador de RF (ver figura 2.2.2), tales como el módulo RF129 usado en la etapa del Pre-excitador, y 14 que son usados en la etapa del Excitador de RF (D1 a D14 o RF130 a RF143). 128 son usados por el PA (desde RF1 a RF128), pero estos se encuentran conectados en la Tabla Madre/Combinador del Amplificador de Potencia.

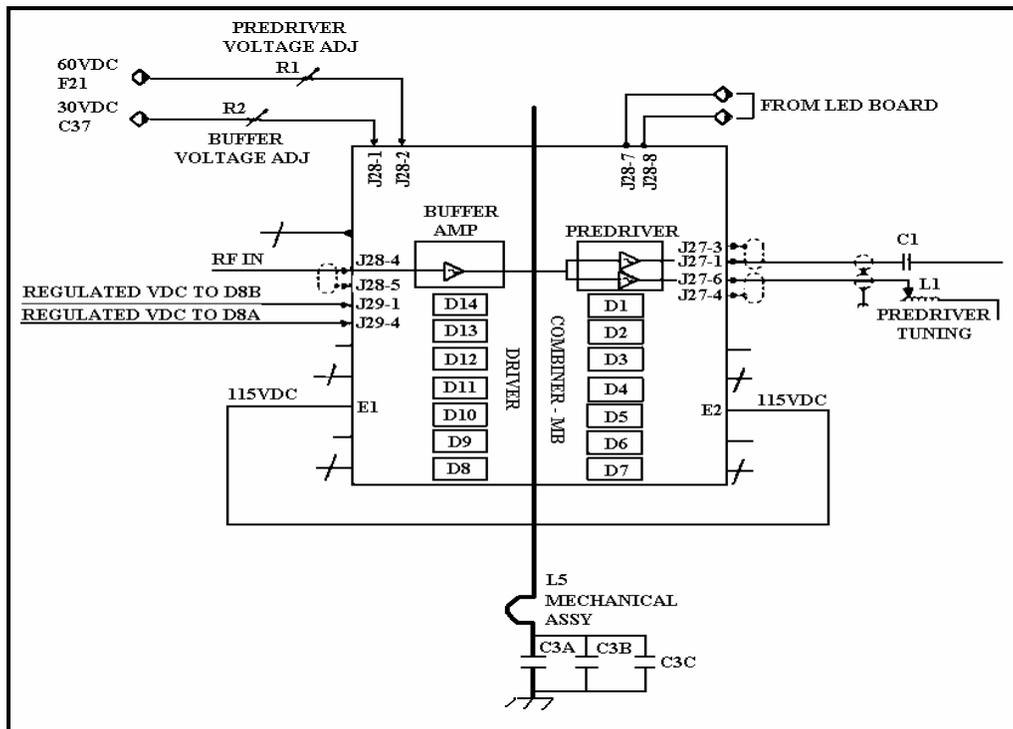


FIGURA 2.2.2 Diagrama de la Tabla Madre/Combinador Excitador de RF, donde se puede apreciar al Amplificador Separador, al Pre-excitador y los 14 módulos del Excitador de RF.

3.- Tarjeta del Pre-excitador.

Esta etapa es la primera en donde se usa uno de los 143 módulos amplificadores de RF (los cuales son idénticos e intercambiables) usados en el Transmisor. El Pre-excitador amplifica la señal del Amplificador Separador a un nivel lo suficientemente alto para operar los 14 módulos usados por el Excitador de RF.

El voltaje de alimentación para el Pre-excitador es de +60V y se ajusta usando un reóstato, el cual esta etiquetado como “Voltaje del Pre-excitador”. Este ajuste fija el nivel RF adecuado de excitación para la sección del Excitador de RF.

Una de las señales del Divisor de RF es utilizada para proporcionar la *Muestra de Estado del Pre-excitador*. La muestra entra a la Tabla Madre/Combinador Excitador de RF y es conducida a un circuito detector de picos. El voltaje dc de salida del detector de picos es enviado como señal a los circuitos de falla y sobrecarga en la Tarjeta LED. Cuando éste voltaje dc está presente el led, denominado “**Predriver**” en el Panel de Estados, será verde; cuando hay ausencia del mismo, es rojo.

4.- Tarjeta del Excitador de RF.

El Excitador de RF consta de 14 de los 143 módulos amplificadores usados en el Transmisor (D1 hasta D14), cuyas entradas provienen de un circuito divisor. Uno de éstos dos módulos (D7) opera normalmente apagado, y es utilizado como un amplificador de reserva para dar un basto incremento en el nivel de excitación, mientras otro (D8) proveerá un ajuste fino al nivel de excitación del PA mediante la alimentación dc variable del Regulador de Alimentación Excitador.

Tal como se mencionó en los párrafos anteriores, las etapas de amplificación compuestas por el Amplificador Separador, Pre-excitador y Excitador de RF se encuentran ubicadas en una Tarjeta llamada Tabla Madre/Combinador Excitador de RF, cuya salida consiste en 14 toroides de ferrita cuyos devanados primarios están conectados a las salidas del Excitador de RF y una barra de cobre, que pasa a través de los toroides, actúa como devanados secundarios conectados en serie; la salida del Combinador Excitador de RF va al Divisor de RF.

El Combinador suma los voltajes RF de las secciones del Excitador de RF conforme van pasando de un secundario a otro. El voltaje RF es inferior ó cero en el punto de tierra de la barra o secundario y se incrementa hasta que es alimentado dentro del Divisor de RF, pero, a causa de la baja impedancia del Divisor (aproximadamente 2Ω), el voltaje RF total es menor a 100 Vrms.

5.- Tarjeta del Divisor de RF.

El Divisor de RF provee 256 salidas, una por cada Medio-QUAD (la configuración de cada módulo amplificador es llamada QUAD-Completo y está formada por dos secciones, A y B, de cuatro MOSFET'S cada una), de los 128 módulos del Amplificador de Potencia o PA. Un conector adicional, en la Tarjeta del Divisor de RF, proporciona 3 muestras de señales RF a otras partes del transmisor, como se describe a continuación:

- a) Al Regulador de Alimentación Excitador DC:** Una muestra RF para el lazo de Control Automático de Ganancia, con sus siglas AGC (Automatic Gain Control).
- b) Al Convertidor Analógico/Digital:** Una señal de sincronización para el proceso de conversión A/D.
- c) A la Tarjeta LED:** Una muestra RF para los circuitos detectores de Falla de Sobre-excitación y Sub-excitación, y para medición de la *Señal Relativa de RF*.

6.- Tarjeta del Regulador de Alimentación Excitador.

El Regulador es parte de un lazo el cual controla el nivel de la señal RF al PA. Una señal de retroalimentación denominada *Estado de RF* o *Señal AGC*, proveniente del Divisor de RF, controla el voltaje de salida regulador, el cual controla la salida del Excitador de RF.

La salida del módulo D8, del Excitador de RF, es ajustable, variando el voltaje de alimentación a cada Medio-QUAD (D8A y D8B). Este nivel de salida es ajustado con los controles **Ajuste en Lazo Abierto (Open Loop Adjust)** o **Ajuste en Lazo Cerrado (Closed Loop Adjust)**, en el Regulador de Alimentación Excitador, para obtener el nivel de RF adecuado para el PA. El circuito de Ajuste en Lazo Cerrado provee un control automático del nivel de excitación, para aumentarlo si un módulo de los utilizados por el PA falla y para compensar las fluctuaciones del voltaje de la línea de alimentación.

Como se sabe, el Excitador de RF consta de 14 módulos, cuyos voltajes de salida son sumados en el Combinador Excitador, donde no es necesario tener las mismas salidas de todos los módulos, puesto que el nivel total de la señal RF puede ser modificado cambiando la salida de sólo uno de los módulos.

En el Transmisor, los voltajes de alimentación para el módulo D8 son variados para cambiar la salida total de la sección del Excitador de RF, mientras los módulos D1 hasta D14, operan con un voltaje fijo de +115V (no regulados).

Las dos salidas dc del Regulador pueden variar cada una desde 0 a +110V y no serán iguales, excepto bajo condiciones de falla. Durante operación normal, el voltaje de D8A será de aproximadamente +40 a +80V y el de D8B será 0.

Conforme la salida RF se incremente, sólo el voltaje de D8A se incrementará, hasta llegar a un rango entre +100 a +110V; sólo si se requiere más nivel de RF, el voltaje de D8B se incrementará, mientras que el voltaje de D8A permanece en +110V, y si se requiere aún

más nivel, el módulo D7 es encendido por medio de la Tarjeta del Codificador Excitador/Sensor de Temperatura.

7.- Tarjeta del Amplificador de Potencia (PA).

El PA está integrado por 128 módulos amplificadores RF, los cuales se encuentran conectados en la Tabla Madre/Combinador del PA, como se describirá más adelante.

Las señales de audio codificadas, provenientes del Codificador de Modulación, encienden tantos módulos como se requiera en cualquier instante por la señal moduladora. A los 128 amplificadores se les llama también **Escalones**. El método de modulación utilizado en el Transmisor usa una combinación de **Escalones Enteros (Whole Steps)** y **Escalones Fraccionales (Fractional Steps)**, referidos como **Escalones Binarios (Binary Steps)**.

En el PA, la información digital, la cual es construida por el Convertidor A/D (CAD), es usada para encender y apagar los amplificadores RF de potencia. La salida de potencia de cada etapa amplificadora de RF, en la sección del PA, depende del número total de etapas encendidas; de ésta forma, si un pequeño número de etapas está encendido, cada etapa tendrá una salida pequeña de potencia; en caso contrario, habrá una salida grande de potencia en cada etapa.

La acción combinada del Combinador RF de Potencia y los Amplificadores de Potencia, utilizados en el Transmisor, producen **Escalones de Voltaje RF** a la salida del Combinador de Potencia, no **Escalones de Potencia RF**.

El Amplificador de Potencia de RF en el Transmisor puede considerarse un Convertidor D/A (CDA), donde la señal análoga de salida es de alta potencia, modulada en amplitud y de RF. En una secuencia binaria del CDA, el voltaje RF correspondiente al dígito más significativo en la palabra digital debe ser 1/2 del voltaje pico. En el Combinador de RF, todos los voltajes RF son sumados en serie, así que el mismo flujo de corriente a través de

todas las salidas, como a través de la carga, y 1/2 del voltaje pico, es también 1/2 la potencia pico.

Asumiendo que el voltaje de alimentación permanece igual, el voltaje RF de salida de cada módulo permanece igual, no importando cuantos otros módulos estén encendidos. Ya que los secundarios del Combinador están en serie, el voltaje RF inducido total en la barra del mismo, aumentará de acuerdo al número de escalones encendidos. Con carga constante a la salida, (8Ω), el aumento en voltaje RF elevará la corriente RF y del mismo modo la potencia de salida.

8.- Tarjeta del Combinador PA.

Como se mencionó anteriormente, los 128 módulos amplificadores del PA están contenidos en ésta Tarjeta, la cual se divide en dos: **Combinador Binario** (en la cual se ubican los módulos amplificadores RF124-RF128 o B8-B12), o también llamados Escalones Binarios, y el **Combinador Principal** (en la cual se ubican los módulos amplificadores RF1-RF123), cuyos módulos, RF1-RF8 y RF121-RF123, se ubican en la Tarjeta del Combinador Binario (ver figura 2.2.3).

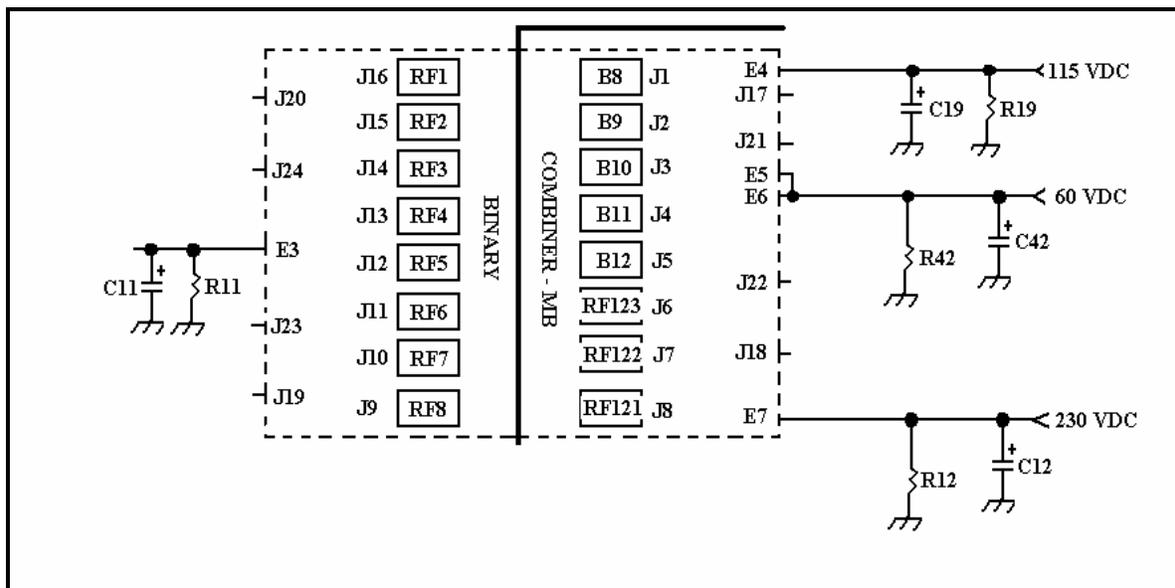


FIGURA 2.2.3 Vista de la Tarjeta del Combinador Binario a Bloques, en donde se puede apreciar parte de los Escalones Completos y los Escalones Binarios o Fraccionales.

Por cada amplificador RF hay un transformador RF hecho con un núcleo toroidal de ferrita. La relación de vueltas de los primarios y secundarios es la misma para todos los transformadores, excepto para los amplificadores RF usados como Escalones Binarios en la Tabla Madre del Combinador Binario. Por ejemplo, en todos los Escalones Completos, 1-123, los transformadores RF tienen una relación de vueltas de 16:1; que es, 16 vueltas para el arrollamiento primario y 1 vuelta para el secundario; en cambio, cuatro de los Escalones Binarios (1/2, 1/4, 1/8 y 1/16) emplean transformadores con tap en el primario para ajustes finos.

El secundario del Combinador es una barra de cobre hecha en secciones, unidas mediante pernos, para facilitar la extracción de cualquier combinador si fuese necesario. Cada Tabla Madre tendrá entonces 16 transformadores RF (T1-T16), donde los amplificadores RF están montados en dos hileras de 8 conectores (J1 - J8 Y J9 - J16). Para observar éstas descripciones refiérase a la figura 2.2.4:

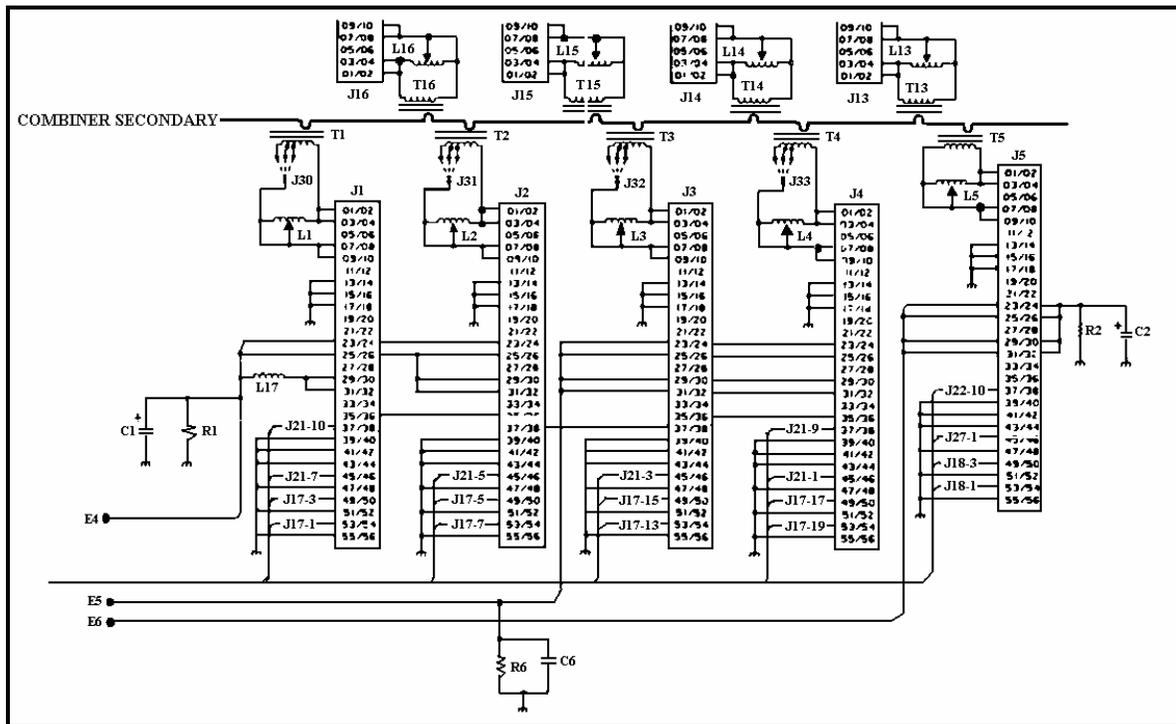


FIGURA 2.2.4 Vista del interior de la Tarjeta del Combinador Binario, donde se pueden apreciar los cinco Escalones Binarios.

Cada módulo amplificador RF induce un voltaje RF al secundario del Combinador; los voltajes RF de todos los amplificadores que estén encendidos, se suman en el secundario y la salida de potencia total del amplificador aparece al final del Combinador, en un punto de aproximadamente 8Ω de impedancia. A la potencia nominal del transmisor (50 KW sin modular), la corriente RF en el secundario del Combinador es de 80 amperes.

En los Combinadores RF del transmisor no es necesario que todos los módulos desarrollen la misma potencia; en algún instante de tiempo, uno de los módulos estará apagado (excepto cuando hay una modulación pico positiva muy alta, donde todos están encendidos). También los módulos amplificadores RF utilizados como Escalones Binarios desarrollarán menos potencia que aquellos usados como **Escalones Completos**.

Cada voltaje de los módulos individuales se suman para formar uno solo y la corriente es el resultado del voltaje total dividido entre la impedancia de carga del Combinador (aproximadamente 8 ohms).

Conforme amplificadores adicionales se enciendan, los escalones de salida del Combinador serán escalones iguales de voltaje (no de potencia). Cuando hay modulación pico positiva al 100%, la corriente será dos veces 80 amps, es decir, 160 amps (el voltaje RF en la salida también se duplicará). Si 47 módulos están encendidos a una potencia de portadora de 50 KW, dos veces éste número, o sea 94 módulos, encenderán con una modulación al 100%, para dar dos veces el voltaje.

El Combinador Binario es similar al Combinador Principal, pero con algunas diferencias y componentes adicionales. En el Combinador Principal, todos los módulos amplificadores entregan la misma potencia, sin embargo, en el Combinador Binario, hay Escalones Fraccionales.

En las Tarjetas del Combinador Principal, todos los módulos operan con un voltaje de +230V no regulados que llegan de la Fuente de Alto Voltaje del Transmisor. En la Tarjeta del Combinador Binario, dos módulos operan con +115V_{dc} (1/2 y 1/4) y tres con 60V_{dc} (1/8, 1/16 y 1/32), los 11 módulos restantes son Escalones Grandes y operan con +230V.

Las entradas de RF llegan del Divisor de RF mediante un cable de transmisión RF separado por cada Medio-QUAD, por tanto, hay dos cables de transmisión por cada módulo amplificador. Todos los cables coaxiales tienen la misma longitud, de manera que todas las señales RF están en fase.

2.3 Módulo de Entrada.

En éste Módulo es donde se lleva a cabo el tratamiento de la señal de audio para después modular a la onda portadora generada en el Módulo de Radiofrecuencia. A continuación se explicará la función de las Tarjetas implicadas en dicho proceso.

1.- Tarjeta de Entrada Analógica.

El audio se alimenta a la Tarjeta de Entrada Analógica donde se procesa, lo cual implica atenuar las altas frecuencias de audio para la separación entre canales en la banda de AM (10 kHz), y sumar una componente dc para controlar o determinar la potencia de la portadora no modulada. Esta señal *Audio + Componente dc* es enviada al CAD (Convertidor Analógico/Digital); una segunda señal *Audio + Componente dc* se envía al Regulador DC.

La Tarjeta de Entrada Analógica posee tres conectores para la entrada de audio, donde la selección apropiada de la entrada mejora la respuesta en alta frecuencia y la eliminación virtual de sobre-oscilación, en caso contrario sólo habrá pequeños cambios. Se utiliza J1 si la impedancia fuente es de 600Ω o más, J2 si está entre 50Ω y 600Ω , J3 si es de 50Ω ó menos; si no se conoce la impedancia fuente entonces puede utilizarse J1 o J2, pero no mejoraría la respuesta de la señal. Si la impedancia fuente es más grande que la impedancia de entrada de la Tarjeta de Entrada Analógica, ocasionaría una sobre-oscilación; en caso contrario (una impedancia menor), la respuesta en alta frecuencia cambiaría ligeramente. Para ésta explicación y posteriores, refiérase a la figura 2.3.1

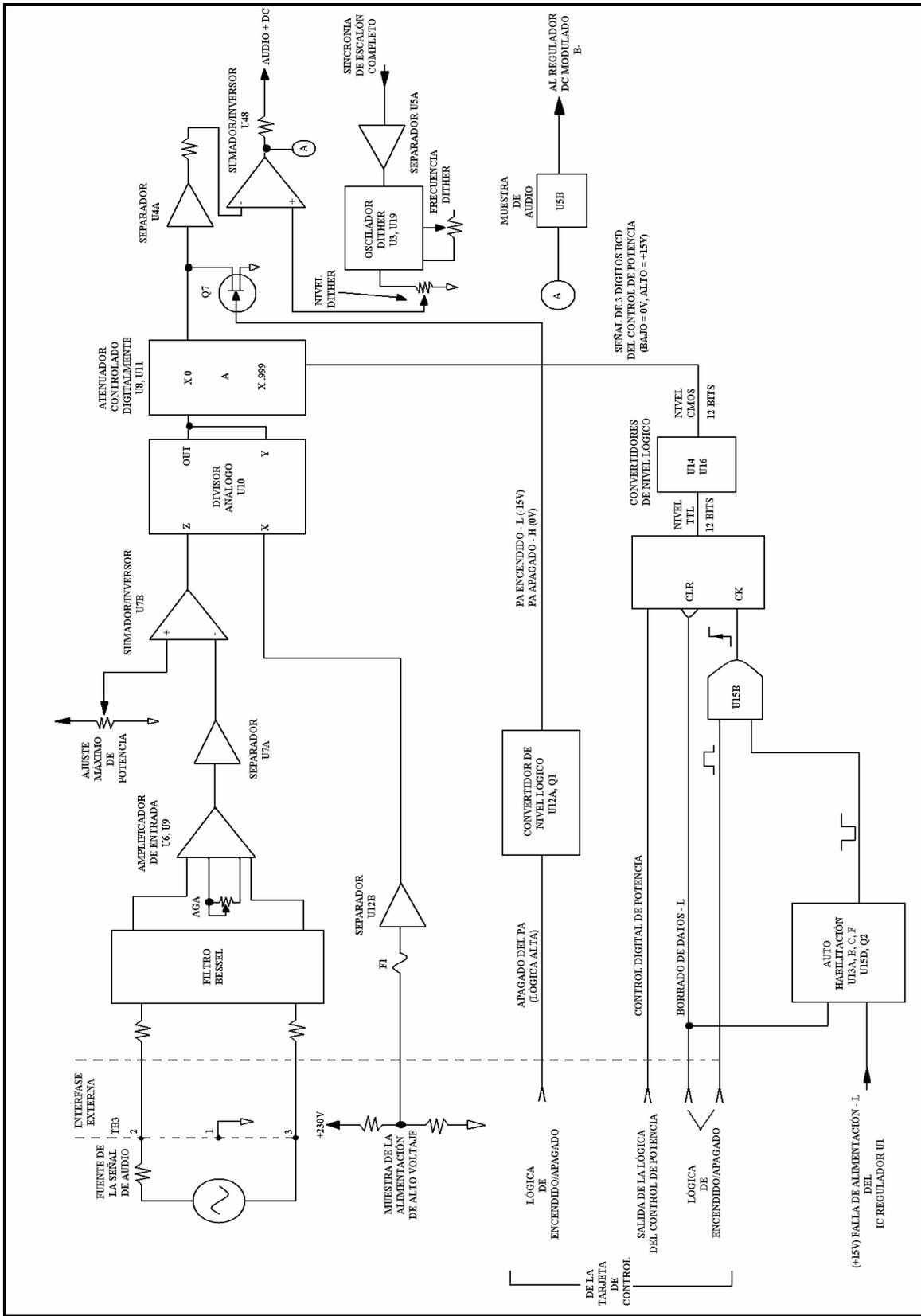


FIGURA 2.3.1 Diagrama simplificado de la Tarjeta de Entrada Analógica.

La señal pasa por un filtro Bessel, construido con componentes pasivos LC, y su función es atenuar las frecuencias por encima de la banda de audio, pero sin introducir sobreoscilación (la cual es causada por las características de desplazamiento de fase de muchos tipos de filtros). La respuesta en frecuencia de audio del Transmisor es menor que 0.9dB por debajo de 10 KHz.

Después de pasar por el filtro, la señal ac es acoplada, mediante capacitores, a la entrada de un amplificador de instrumentación, integrado por tres amplificadores operacionales: dos amplificadores no inversores (U6) con entradas de alta impedancia, balanceadas, con ajuste de ganancia de audio (AGA) mediante un reóstato a la entrada de éstos, que permite niveles de audio desde -10 dBm a +10 dBm; un amplificador diferencial (U9), cuya salida va a la entrada no inversora de un amplificador separador (U7A) con ganancia de 2. Cuando el Transmisor es modulado al 100% con una onda senoidal, la amplitud de la señal de audio será de aproximadamente $1.5 V_{p-p}$ sin componente dc.

La otra mitad de U7 (U7B) es un amplificador diferencial con una ganancia en la señal de audio de -1 (invierte la señal de audio). La entrada no inversora de U7B es un voltaje negativo ajustable. La salida, en U7, será la señal de audio con una componente dc negativa.

Mediante el reóstato para el Ajuste Máximo de Potencia, fijado para 50 kW, el voltaje en la salida de U7B será de aproximadamente $-1.5V_{dc}$ sin modulación; con una modulación al 100%, la señal será de $3V_{p-p}$ con una componente de $-1.5V_{dc}$. El voltaje no cambiará aún cuando los controles *Aumentar (Raise)* o *Disminuir (Lower)*, en el Panel Frontal, sean operados, ó cuando el Transmisor sea conmutado entre *Baja, Media* o *Alta* potencia.

Si el Ajuste Máximo de Potencia es fijado para menos de 50 kW, la componente dc en la salida de U7B estará entre $-1.5V_{dc}$ y $0V_{dc}$ (para 25 kW de potencia, será de aproximadamente 1.05V; la componente dc en éste punto es proporcional al voltaje RF no modulado en la salida del Transmisor).

Un voltaje instantáneo de 0V equivale a no tener salida RF, lo cual es una modulación pico a -100% a cualquier nivel máximo de potencia.

En ésta Tarjeta se utiliza un circuito para la *Muestra de Alimentación* (que proviene de la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje), la cual compensa la caída de voltaje de la fuente de alimentación, así como el ruido y zumbido de la misma. Esta Muestra se alimenta a un amplificador separador no inversor (U12B), con una ganancia un poco mayor a 1 y su salida va a la entrada X del divisor U10.

La señal *Audio + Offset dc* de U7B, es la entrada Z de U10, mientras que la entrada X es la Muestra de la Fuente (no hay ajuste) y es de aproximadamente 5.1V, de modo que la salida de U10, *Audio + Componente dc* es ligeramente menor que la entrada:

$$\text{SALIDA} = [4.93 / 5.1] / [\text{AUDIO} + \text{ENTRADA DC}]$$

Si la alimentación de alto voltaje “se cae”, por ejemplo, en modulaciones pico, el voltaje RF de salida del Transmisor podría caer también. La Muestra de Alimentación, no obstante, disminuye ligeramente, y la salida de U10 *Audio + Componente dc* aumenta ligeramente para compensar. Cuando la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje está apagada, la salida de U12B es cero; esto también podría ocurrir si alguna falla del circuito para la Muestra de Alimentación ocurre. Sin voltaje en la entrada X de U10, la salida aumentaría hacia los -15V de alimentación y la salida de potencia del Transmisor aumentaría a un nivel alto. Si la salida de U12B (la Muestra de Alimentación) es demasiado baja, un diodo compuerta conduce y mantiene el voltaje en U10-X en aproximadamente +3.9V; cuando la Muestra es normal, el cátodo del diodo es más positivo que el ánodo y el diodo está en corte.

Cuando la señal sale de U10, entra al circuito integrado U8 (X0 a X.999), el cual es un Potenciómetro Controlado Digitalmente (un atenuador), de 3-1/2 dígitos y que posee también una entrada de 12 bits en código BCD (con sus siglas en inglés BCD, Binary Coded Decimal) o Decimal Codificado a Binario, la cual es una señal digital de control de

potencia que controla la salida de U8, la cual será de 0.000 a 0.999 veces la entrada que llega de U10 (ver tabla 2.3.1).

La componente dc de la salida del atenuador determina la potencia de “portadora” y la componente de audio modula la salida del Transmisor.

La señal *BCD* se genera en la Tarjeta de Control y se almacena en dos circuitos latch TTL, los cuales almacenan 6 bits cada uno y después se convierte a *niveles lógicos CMOS* mediante seis cambiadores de nivel por latch (U14, U16).

Nivel de Potencia	Decimal	Código BCD
Potencia Máxima	0.999	1001 1001 1001
1 / 2 de Potencia	0.707	0111 0000 0111
1 / 4 de Potencia	0.500	0101 0000 0000
1 / 10 de Potencia	0.316	0011 0001 0110
Potencia de cero	0.000	0000 0000 0000

TABLA 2.3.1 Códigos para diferentes niveles de potencia.

La impedancia de salida de U8 depende de su atenuación, por lo cual se hace uso de un amplificador operacional de precisión de bajo ruido y baja tensión de error, que provee buena linealidad y una impedancia constante de salida a los circuitos siguientes. Dado que el atenuador y el amplificador forman el circuito completo, la salida de éste circuito es:

$$V_{(OUT)} = -V_{(in)} * DAC$$

Donde DAC es la entrada digital (0.000 a 0.999 en éste circuito).

A 50 KW con una modulación al 100%, la salida será una señal de audio de $3V_{P-P}$ con una componente dc de +1.5V. A niveles más bajos de potencia, ambas, el audio y la componente dc, serán más pequeñas por la raíz cuadrada de la relación de potencia.

La señal TTL *Apagado del PA*, que llega de la Tarjeta LED, es lógica Alta (nominalmente +4 a +5V) y Baja (menor que .5V) para permitir que el PA opere. El interruptor JFET Q7 requiere 0V en su compuerta para apagar el PA y un voltaje negativo para permitir que opere. U12A, Q1 proveen este cambio de nivel; U12A utiliza un inversor Schmitt trigger, así, cuando la entrada lógica *Apagado del PA* es Alta, Q1 enciende llevando su colector a tierra y por lo tanto logrando que en la compuerta de Q7 haya 0V, y cuando la entrada lógica es Baja, Q1 es apagado.

Un resistor junto a Q7 forman un divisor de voltaje, para cuando Q7 esté encendido, corta la señal *Audio + dc* efectivamente a tierra. Cuando Q7 no conduce, es un circuito abierto, y la resistencia en serie con la entrada de muy alta impedancia del amplificador no inversor (U4A) no tiene efecto.

La Tarjeta de Entrada Analógica utiliza un circuito denominado Oscilador Dither (el cual sirve para minimizar el ruido residual), que está formado por un integrador (U3) y un generador de onda cuadrada (U19), y su función es introducir una pequeña onda triangular con frecuencia de 72 KHz y amplitud de $1V_{P-P}$ en la señal, la cual es una frecuencia por encima del rango de audiofrecuencia, pero lo suficientemente baja de manera que cualquier banda lateral en 72 KHz sea atenuada en la Red de Salida por el filtro paso banda. Si la frecuencia dither es demasiado alta, o el nivel dither demasiado grande, no habrá la atenuación suficiente y aparecerían como señales indeseables. Este circuito trabaja de la siguiente forma:

De la Tarjeta del Convertidor A/D llega una señal llamada *Sincronía de Escalón Grande*, que consiste en un pulso corto cada vez que ocurre un Escalón Grande. Los pulsos de sincronía son separados en el amplificador no inversor U5A y de ahí van a U19 en el Oscilador Dither, donde, si la señal dither es ascendente cuando un Escalón Grande está apagado, el pulso de *Sincronía de Escalón Grande* cambiará la dirección de la señal dither, por lo que ésta descenderá. Si la señal dither está descendente cuando un Escalón Grande está encendido, el pulso de sincronía ocasionará que la señal dither cambie y ascienda.

Sin una entrada de sincronía en U5A, la salida en U3 será una onda triangular ascendente – descendente entre +1 y -1V, a una frecuencia fijada por una resistencia llamada Ajuste de Frecuencia Dither, nominalmente de 72 KHz.

La señal dither llega al amplificador diferencial U48 en su entrada no inversora, de modo que éste amplificador suma ésta señal a la señal *Audio + dc*. Con una potencia de salida de 50 KW y una modulación al 100%, la salida en U48 será una señal de audio de $6V_{P-P}$ con una componente dc de -3V y una componente dither muy pequeña de 72 KHz.

Una muestra de la señal de salida de la Tarjeta de Entrada Analógica es atenuada por un divisor de voltaje ajustable y es alimentada a la entrada no inversora del amplificador diferencial U5B. La salida de U5B es una señal de audio invertida con un voltaje dc de compensación ajustable (la señal de audio es invertida porque los picos positivos son más negativos en éste punto). El control de ganancia ajusta el nivel de la señal *Audio + dc* y el control de compensación sólo cambia el voltaje dc de compensación del ya fijado por el Control de Ajuste de Potencia Máxima. La señal va al Regulador DC donde modula la alimentación negativa del Regulador DC para proveer la **Alimentación Modulada B-**.

Los voltajes de alimentación a la Tarjeta de Entrada Analógica son +22V y -22V no regulados, que llegan de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje del Transmisor.

2.- Tarjeta del Convertidor Analógico / Digital (CAD).

Aquí se lleva acabo la conversión de la señal *Audio + Componente dc* en una señal digital de audio de 12 bits, que se muestrea a una relación de 1.16 microsegundos en base a la frecuencia de operación del Transmisor (860 kHz). *El proceso que conlleva la conversión se explica en los siguientes párrafos; tómese como referencia la figura 2.3.2.*

La señal analógica de entrada del Convertidor A/D es la señal *Audio + Componente dc* de la Tarjeta de Entrada Analógica. La componente dc determina la salida de potencia no modulada del Transmisor (nivel de portadora), encendiendo el número de Escalones Grandes que se requieren (típicamente 18 Escalones a 10 kilowatts). La amplitud de la componente de audio modula la salida apagando o encendiendo los escalones para variar el voltaje RF instantáneo de salida del PA.

Un amplificador separador U28 de ganancia menor a 1 provee de un nivel adecuado a la señal antes de entrar al circuito de **Muestreo y Retención U1**. A causa del gran valor de la resistencia que une la trayectoria de la señal de Sincronía de Escalón Grande y la entrada de la señal compuesta al separador U28, la señal de Sincronía es mucho más pequeña que la señal de entrada.

El Circuito de Muestreo y Retención captura el voltaje analógico y mantiene la entrada del CAD a ese nivel durante el proceso de conversión. Este circuito carga un capacitor en la malla de entrada para muestrearla, luego, un interruptor se abre de manera que el voltaje a través del capacitor se “retenga” en el nivel presente de cuando el interruptor abrió. Un amplificador separador de entrada provee una carga de alta impedancia al circuito fuente y cuando el interruptor interno cierra, suministra una corriente de carga al capacitor de retención; éste, es parte de un integrador activo el cual también provee una salida de baja impedancia.

El interruptor interno se controla mediante una señal lógica denominada *Modo de Control* de nivel TTL, que también es llamada entrada *Retener/No Muestrear*, porque ese es el modo en que se encuentra en el momento en que la señal es lógica Alta. Una señal lógica Baja muestrea la entrada analógica cerrando el interruptor; la salida del circuito integrado mantiene seguimiento de la entrada analógica durante éste periodo de muestreo.

El Convertidor A/D (U2) es de 12 bits y de alta velocidad, en el cual, el tiempo de conversión es menor a 900 nanosegundos (menor a 0.9 microsegundos). El rango del voltaje de entrada analógico es de 0 a +5V; una entrada de 0V entrega una salida digital

de “0000 0000 0000”. Una entrada de +5V entrega una salida de “1111 1111 1111” (esto normalmente correspondería a una muy alta modulación pico positiva).

El convertidor tiene dos entradas de señal: una entrada para la señal analógica y una entrada para la señal lógica TTL *Inicio de Conversión*. La conversión se inicia por el Borde de Caída del pulso *Inicio de Conversión* y así mismo, éste pulso debe permanecer Bajo durante el proceso de conversión.

Este integrado consta de 12 líneas de salida de nivel TTL, conectadas a latch digitales, etiquetados como U3, que almacena los 6 bits menos significativos (LSB) (controlan los Escalones Binarios en el Amplificador de Potencia o PA), y U4, que almacena lo 6 bits más significativos (MSB). Una señal lógica Baja borrará el latch, causando que todas las salidas sean Bajas (“0” lógico), y cuando la entrada **Clear (CLR)** es Alta, la entrada **Clock (CK)** determinará cada salida.

Los excitadores/separadores (U5, U6) proveen salidas de datos para excitar las entradas en la Tarjeta del Codificador de Modulación. Cuando la entrada a los excitadores es Alta (“1” lógico), el voltaje de salida es de cerca de +3.4V y cuando la entrada es Baja (“0” lógico), su salida es llevada a tierra.

Hay dos entradas de Muestra RF en la Tarjeta del Convertidor A/D: una proviene del Divisor RF y la otra del Combinador del PA, las cuales son sumadas vectorialmente y la salida resultante es desplazada en fase aproximadamente $\pm 15^\circ$ (en el extremo inferior de la banda) durante la modulación. Esta muestra entra al primario de un transformador RF toroidal de banda ancha y de ahí llega al circuito Schmitt Trigger U12C que la convierte a pulsos de nivel TTL.

La salida del circuito U12C entra a un divisor de frecuencia (U29, U12D, U12E), en el cual la salida va a depender de la posición de un jumper, esto es, a la frecuencia de la señal de entrada, a 1/2 o a 1/3 de la frecuencia. La relación de división utilizada y, asimismo, la posición del jumper, dependen de la frecuencia de operación del Transmisor.

Por último, la salida del divisor llega a un circuito que incluye un diferenciador R-C, un transistor y un inversor (U17B), que genera un pulso negativo cada vez que la salida del divisor de frecuencia va de Alto a Bajo. La anchura del pulso es de 300 nanosegundos y es ajustable mediante un potenciómetro. Este es el pulso de reloj que llega a la compuerta del Modo de Control U15D, al Circuito de Retardo (el cual se conforma por DL2 y U71A) y a una parte del Circuito Error de Conversión U13A.

El circuito de Retardo tiene como función asegurarse de que la señal *Inicio de Conversión* no llegue al convertidor A/D hasta después de que el circuito de Muestreo y Retención no haya conmutado a Retención y haya habido algún tiempo de ajuste. La función del inversor U71A es invertir el pulso de reloj para activar el circuito de retardo DL2 y retardar el pulso 60 nanosegundos, después de los cuales se invierte el pulso del reloj de Alto a Bajo iniciando la conversión nuevamente.

La señal lógica *Habilitación de Datos* (maneja una transición de Bajo a Alto) sincroniza los latch de datos, de manera que los datos de audio digital sean almacenados después de que la conversión A/D se haya completado.

El proceso que origina la señal *Habilitación de Datos* es el siguiente: Debido a que ésta señal se deriva de la señal *EOC-L o Error de Conversión - Bajo* que proviene de la salida de Estado del convertidor A/D U2; cuando la conversión se ha completado, la señal de la salida de Estado va en transición Alto a Bajo y se invierte en U71C, además de que es retardada 60 nanosegundos por DL3, hasta llegar a la entrada clock de los latch y la entrada del separador U7A (éste invierte la señal y excita los circuitos de habilitación de datos de la Tarjeta de los Codificadores de Modulación) como la señal *Habilitación de Datos*.

U14 es un multivibrador monoestable redisparable también llamado “un tiro (one-shot)”, el cual se disparará a cada transición Bajo a Alto, de los pulsos de reloj del divisor de frecuencia (U29); mientras los pulsos de reloj estén presentes, el multivibrador continúa redisparando y la salida se mantiene en Alto.

Si los pulsos de reloj se detienen, ó su frecuencia es mucho menor, la salida del multivibrador irá a Bajo 3.9 microsegundos después de la última transición de Bajo-Alto, generando la señal lógica *Error de Reloj – L*.

Otro multivibrador, que corresponde al circuito de Error de Conversión (U13A), tiene dos entradas, de las cuales una corresponde a los pulsos del reloj de la salida del Generador de Pulsos (Q5, U17B), y la salida de “Estado” del convertidor A/D (la transición de Alto a Bajo de ésta salida es la señal *Fin de Conversión*).

Las condiciones que disparan éste multivibrador son:

1. Si la conversión A/D inicia pero no está completada antes del siguiente pulso de reloj, la entrada que llega del CAD es Alta cuando la transición de los pulsos de reloj de Alto a Bajo ocurre y el multivibrador genera en Q negada una salida lógica Baja de 3.9 microsegundos. Esta es la salida *Error EOC-L* (EOC por las siglas End of Conversión y L por Low es decir, nivel Bajo) y dos razones por las que se origine ésta señal son: falla para completar la conversión ó una frecuencia demasiado alta de los pulsos de reloj.
2. Si el Estado A/D va de Bajo a Alto (inicia la conversión) mientras la salida del generador de los pulsos de reloj es Baja, se generará una salida *Error EOC-L* y la causa de ello es un pulso de reloj demasiado largo.

La compuerta U15 dispara el multivibrador U14 si cualquiera, *Error de Reloj* ó *Error de Conversión (EOC)* se detectan. Debido a que si alguna o ambas entradas son Bajas por alguno de los errores citados, producirá en la salida de la compuerta una señal *Error de Conversión-L*.

U14 genera un pulso de salida lógico Bajo de 10 microsegundos en su salida Q negada cada vez que un Error de Conversión se detecta y funciona como un Ensanchador de Pulsos, pues, se asegura que cada pulso de Error de Conversión tenga una anchura de 10 microsegundos.

El amplificador operacional U11B funciona como un comparador, con la entrada inversora mantenida en +1.5V por un divisor de voltaje formado por resistencias. Si la señal *Error de Conversión-L* está presente, la salida de U11B será negativa y el led bicolor DS1 encenderá rojo; si no hay señal de *Error de Conversión*, la entrada no inversora de U11B será Alta y su salida positiva, por lo que el led encenderá verde.

La señal *Borrado de Datos*, si es lógica Baja, borrará todos los latch de audio en la Tarjeta del Convertidor A/D y de la Tarjeta de los Codificadores de Modulación, siempre que cualquiera, una señal *Error de Conversión* o una señal *Reset de Encendido*, se genere. Estas señales son las entradas a U15C, y si alguna o ambas son Bajas, la salida de ésta compuerta será una señal de ***Borrado de Datos-L*** que va a la entrada CLR de los latch U3 y U4, y a los separadores U7B-U7C que proveen la señal *Borrado de Datos-L* a la Tarjeta del Codificador de Modulación.

El Circuito de Sincronía de Escalón Grande produce un pulso cada vez que ocurre un “Escalón Grande” en la salida del Transmisor. Este Escalón ocurre siempre que uno o más de los seis bits más significativos en la señal digital de audio cambia.

Los pulsos de sincronía de Escalón Grande, sincronizan el Oscilador Dither en la Tarjeta de Entrada Analógica y una pequeña cantidad de señal de Escalón Grande también se suma a la entrada analógica *Audio + dc* en la entrada de la Tarjeta del Convertidor A/D.

Un convertidor digital/analógico de 8 bits y alta velocidad se utiliza para convertir los seis bits más significativos de la señal de audio digital. La salida del convertidor es una señal de 0 a -1V, integrada solo por Escalones Grandes. Esta salida se amplifica en U24-U25 la cual es una etapa amplificadora con una ganancia ligeramente superior a 5.

Después de pasar por ésta etapa llega a un filtro paso bajas el cual remueve cualquier muestra de frecuencia y otras componentes de alta frecuencia, luego, la señal es separada por una etapa seguidora de voltaje, cuya salida excita un diferenciador (U27) y también provee una pequeña señal escalonada de “Sincronía de Escalón Grande” la cual se suma, a través de una resistencia, a la señal de entrada analógica. La señal de salida de U27 son los pulsos de Sincronía de Escalón Grande los cuales van al circuito del Oscilador Dither.

3.- Tarjetas de los Codificadores de Modulación.

Los Codificadores de Modulación convierten la información de audio digital de 12 bits en señales de control, las cuales encienden y apagan los módulos amplificadores de potencia RF, de acuerdo a como se requieran por el nivel de potencia de portadora del Transmisor y el nivel instantáneo de modulación. El DX50 utiliza dos Tarjetas de Codificadores de Modulación, donde la Tarjeta A controla los “Escalones Binarios” (B8 a B12) y los “Escalones Grandes” (1 a 32 y 97 a 123); la Tarjeta B controla los “Escalones Grandes” (33 a 96). Para referencia a ésta explicación obsérvese la figura 2.3.3.

Para saber como se manejan estos bits de control véanse los siguientes ejemplos:

Si el estado de los bits B1 a B7 es:

B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7
0 1 0 1 0 1 0

Entonces el número de Escalones Grandes (amplificadores RF) que deberían encender se obtiene cambiando el valor binario a decimal, es decir:

Bits:	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Nivel Lógico:	0	1	0	1	0	1	0
(* Valor decimal):	<u>64</u>	<u>32</u>	<u>16</u>	<u>8</u>	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>1</u>
	$0 + 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 0 = 42$						

Por lo tanto, los amplificadores RF o Escalones Grandes 1 a 42, deben estar encendidos.

Para los Escalones Binarios (B8 a B12), la conversión es control binario directo, es decir, que si un bit es 1, ó nivel lógico Alto, entonces el amplificador RF asociado está encendido y si es 0 está apagado. Por ejemplo: Si el estado de B8 a B12 es 01101 (B8, B9, B10, B11, B12 respectivamente), entonces los amplificadores RF o Escalones Binarios **B9, B10 y B12 deben estar encendidos.**

Ambas tarjetas de los Codificadores operan con alimentaciones B+ (+5.7V), y una modulada B- que llegan de la Tarjeta del Regulador DC y a +5V, en la Tarjeta del Codificador de Modulación.

El proceso de codificación inicia en los latch U49 y 50. Cada latch es un flip-flop octal tipo-D, en el cual una transición Bajo-Alto del pulso *Habilitación de Datos* hace cambiar el estado de salida al estado de entrada, donde las salidas permanecerán en ese estado hasta

el siguiente pulso de la señal *Habilitadora de Datos* ó por la aparición de la señal *Borrado de Datos* (lógica “Bajo”), en las entradas Clear de los latch. Cuando la entrada Clear es Baja, todas las salidas de los latch irán a estado Bajo, apagando todos los módulos PA; por lo tanto, la señal *Borrado de Datos* es también llamada *Señal Apagado del PA*.

a) Descripción de la Tarjeta A.

Seis bits (B7 a B12) son las entradas al latch U31 y cada salida de éste van a una compuerta OR en la cual la otra señal de entrada es la señal *Clip* (el circuito que la genera produce una modulación pico positiva de “cima plana” si el nivel de la entrada de audio excede las capacidades máximas de modulación pico positiva del Transmisor). Las seis salidas de las compuertas OR van a una configuración de jumpers, conectando los bits B7 a B12 a la entrada de los inversores excitadores (uno por cada módulo), que proporcionan las entradas de control de Encendido/Apagado a los módulos PA.

La salida de los excitadores va a un divisor de voltaje integrado por un resistor que está a la salida del excitador y otro conectado a la alimentación Modulada B-. La unión de los resistores es la entrada al circuito de control de encendido/apagado de los módulos, donde una señal lógica Alta en éste punto apagará el módulo PA, y una Baja, encenderá el módulo.

b) Descripción de la Tarjeta B.

Ocho bits (B1 a B8) direccionan las *memorias ROM* U41 a U48, y cada ROM codifica los 8 bits, haciendo salir el patrón digital almacenado en la localidad direccionada a los latch U31 a U38. Las salidas de U32 a U38 van a los Excitadores/Inversores que proporcionan las señales de encendido/apagado para los amplificadores RF “Escalón Grande” en ambas Tarjetas de Codificadores. El latch U31 en la Tarjeta A sólo se conecta a 3 de los Excitadores/Inversores para excitar 3 amplificadores RF “Escalón Grande”. U31 en la Tarjeta B se conecta a los Excitadores/Inversores para la información del Escalón Binario.

Los circuitos del Cable de Bloqueo en cada Tarjeta de los Codificadores genera una Falla Tipo 1, la cual apaga todos los módulos PA, encendiendo un led indicador rojo en el Panel Frontal con la indicación “**Falla del Cable de Bloqueo del Codificador de Modulación (Modulation Encoder Interlock Cable Fault)**” y también enciende un indicador rojo en la Tarjeta del Codificador de Modulación, cuando:

- a) Alguno de los cables de interconexión entre las Tarjetas de los Codificadores de Modulación y las Tablas Madre/Combinador del PA están desconectados.
- b) Alguno de los módulos PA no está instalado.
- c) El cable de energía del Regulador DC a cada Tarjeta del Codificador de Modulación está desconectado.
- d) Algún Amplificador RF no está instalado.

Una Falla del Cable de Bloqueo no permitirá que el Transmisor sea encendido hasta que se arregle.

El circuito de Apagado del PA genera una señal lógica Baja (señal *Apagado del PA* o *Borrado de Datos*) la cual pone todas las salidas de los latch a Bajo en cada Tarjeta del codificador de Modulación y enciende el led DS1 de la sección de “Apagado del PA”. Esta señal se genera cuando alguna de las siguientes señales ocurre:

- a) Falla “Cable de Bloqueo-L”, en cada Tarjeta de los Codificadores de Modulación.
- b) *Reset de Encendido*, en cada Tarjeta de los Codificadores de Modulación.
- c) *Apagado del PA-H*, de los circuitos de Falla y Sobrecarga en la Tarjeta LED.

- d) Señal *Apagado del PA* del Monitor de Salida, la cual sucede debido a un excesivo VSWR.
- e) Señal *Borrado de Datos* de la Tarjeta del Convertidor A/D, también llamada *Apagado del PA*.

4.- Tarjeta del Regulador DC.

El Regulador DC produce los voltajes B+ (+5.75V_{dc}) y B- utilizados por los Codificadores de Modulación. Una muestra de la señal compuesta *Audio + dc* de la Tarjeta de Entrada Analógica va al Regulador DC, donde modula el voltaje de salida del regulador “B-“ (de ahí que sea denominado voltaje Modulado B-). El voltaje Modulado B- es, efectivamente, un voltaje de polarización para los transistores MOSFET del Amplificador de Potencia RF, para optimizar el rendimiento de distorsión y ruido.

Las tierras para los suministros B+ (+5.75V_{dc}) y B- Modulado, se mantienen por separado en la Tarjeta; las tierras son referidas como “A” y “B” y son llevadas por separado a la tierra del gabinete, en la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje para reducir el ruido AC y RF.

En la Tarjeta del Regulador DC se utilizan cuatro circuitos integrados reguladores UC3834, uno en cada una de las alimentaciones B+ y los otros dos en las alimentaciones B-. Este integrado, así mismo, es utilizado en las alimentaciones reguladas dentro de las tarjetas de otros circuitos en el Transmisor. Las alimentaciones reguladas adicionales donde se utiliza este integrado son:

a. Convertidor A/D

- 1. -15V
- 2. +15V
- 3. +5V

b. Tarjeta de Entrada Analógica

- 1. -15V
- 2. +15V

c. Monitor de Salida

1. -5V
2. +5V

d. Tarjeta de Control / Tarjeta LED

1. +5V
2. +15V
3. -15V

a) Alimentaciones Reguladas B+ (+5.75V_{dc}).

La alimentación B+ con tierra "A" utiliza un regulador IC U3 y un transistor de paso en serie Q1. La entrada no regulada en TP3 es de +8V protegida por el fusible F2 que llega de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje; los capacitores C17 y C20 filtran los transitorios y el ruido de alta frecuencia en la entrada no regulada (ver figura 2.3.4).

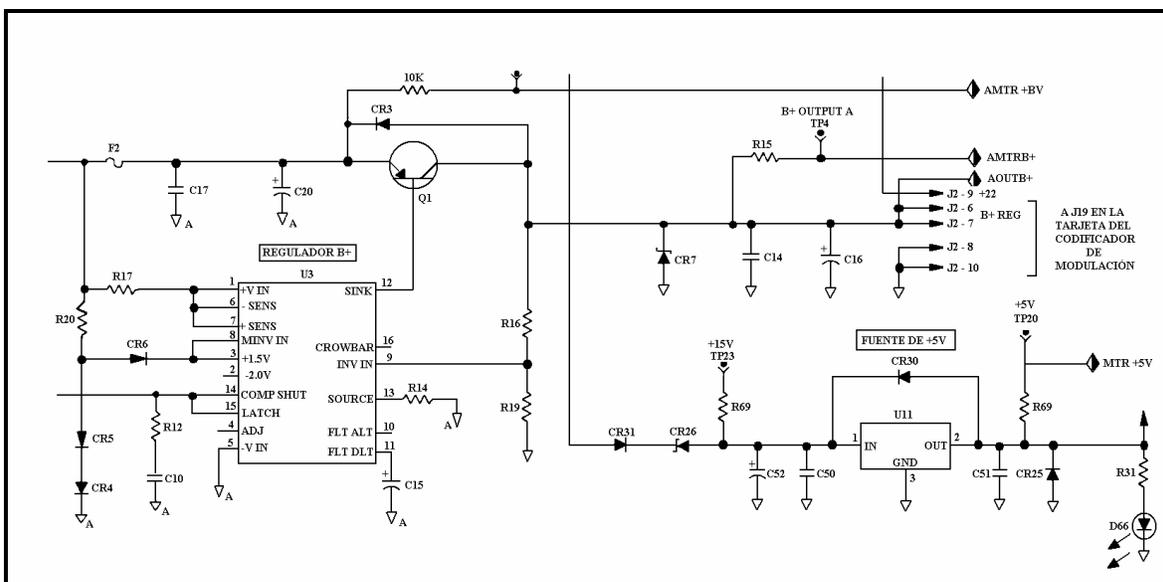


FIGURA 2.3.4 Circuito del Regulador DC para la alimentación B+.

El voltaje de salida se determina por el voltaje de referencia del integrado (V_{ref}) y el divisor de la muestra de voltaje por R16 y R19. El regulador controla el voltaje de salida de manera que el voltaje de referencia sea igual a la muestra de voltaje, por lo tanto, el voltaje de salida es entonces:

$$V_{out} = V_{ref} / [R19 / (R16 + R19)]$$

El voltaje de referencia en los reguladores de voltaje positivo es el interno de +1.5V. La base del transistor Q1 es excitada por la salida “sink” y la terminal “source” del IC va a tierra a través de un resistor de emisor (por su configuración interna).

Los componentes adicionales del regulador son:

- a) **Voltaje de Alimentación para los circuitos internos del integrado:** El resistor R17 a través del cual se suministra el voltaje para los circuitos internos del regulador y las entradas detectoras de corriente. Este voltaje no está protegido.
- b) **Lazo Retroalimentado de Compensación:** Utilizado para la estabilidad del regulador, mediante el capacitor C10 y el resistor R12 de los pines 14 y 15, que van a tierra, se forma éste lazo.
- c) **Protección de Salida:** La Protección de Salida incluye un diodo zener CR7 y los capacitores bypass C14 y C16.
- d) **Protección de voltaje inverso:** El diodo CR3 a través del transistor Q1 provee protección si un voltaje inverso es accidentalmente aplicado en la entrada no regulada.

b) Alimentaciones Moduladas B-

Este tipo de alimentaciones proveen un voltaje negativo a las Tarjetas de los Codificadores, las cuales varían con la entrada de audio y el nivel de potencia del

Transmisor. El efecto del voltaje Modulado B- es controlar los tiempos de encendido/apagado del módulo PA, los cuales dependen de la carga en cada módulo, la cual a su vez, depende del número total de módulos que están operando.

A niveles bajos de potencia (incluyendo los picos de modulación negativos), sólo unos cuantos Escalones Grandes están encendidos y cada módulo PA está ligeramente cargado. Conforme los Escalones Grandes adicionales se enciendan, los cambios de carga y los tiempos requeridos de encendido/apagado también cambian considerablemente. A niveles altos de potencia (más módulos encendidos), la carga en cada módulo casi no cambia tan rápido cuando módulos adicionales encienden (o apagan).

Para compensar, el voltaje Modulado B- debe ser más negativo en picos positivos, pero debe cambiar más lentamente conforme la salida instantánea del Transmisor sea más grande (y más módulos estén encendidos); por lo tanto, el voltaje Modulado B- debe variar de una forma no lineal conforme la muestra $-(\text{Audio} + dc)$ cambie. Un circuito no lineal, entre la entrada de la señal $-(\text{Audio} + dc)$ y la entrada del voltaje de referencia del regulador, deforma a propósito la entrada de audio.

A una potencia de operación de 50 KW y con 100% de modulación, el voltaje instantáneo Modulado B- debe variar aproximadamente entre -2 y -6V. Sin salida de potencia, el nivel DC debe ser aproximadamente $-2.5V_{dc}$. En modulación pico negativa al 100%, el voltaje instantáneo debe ser aproximadamente de -2.7V y en pico positiva de -5.7V, teniendo en cuenta que éste rango de voltaje será menor a potencias de operación inferiores.

Hay dos circuitos idénticos de alimentación Modulada B- en la Tarjeta del Regulador DC del DX50, de los cuales el identificado como "A" asociado con la Tarjeta del Codificador de Modulación B, se discutirá a continuación. La alimentación Modulada B- utiliza un regulador U6 y el transistor en serie Q2 (ver figura 2.3.5).

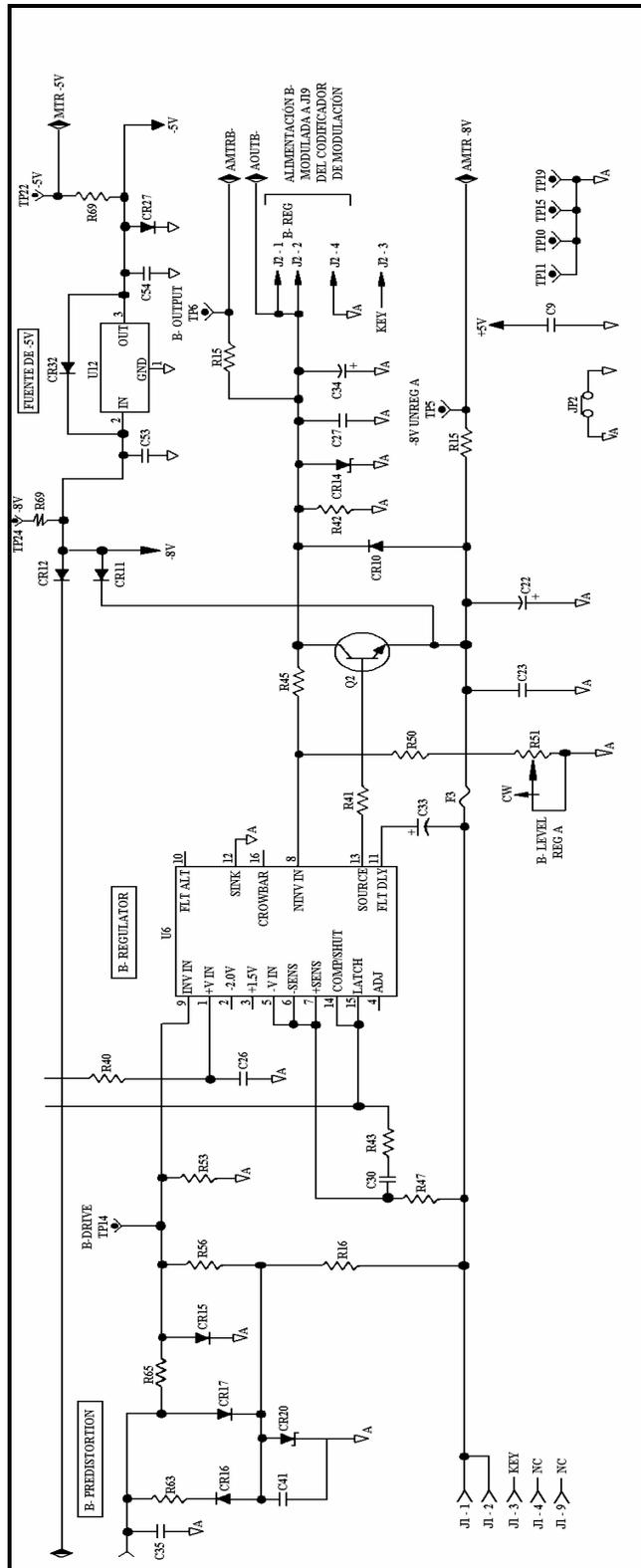


FIGURA 2.3.5 Circuito de Pre-distorsión y circuito de la alimentación Modulada B-.

El “voltaje de referencia” para la alimentación Modulada B- es una muestra negativa (invertida) de la señal analógica de audio y la señal de control de potencia dc que llega de la salida de la Tarjeta de Entrada Analógica.

El circuito de pre-distorsión está integrado por los diodos CR16, CR17 y los resistores R65, R56 y R53. El diodo zener CR20 y el resistor R16 provee una referencia regulada de -1.22V para éste circuito; el diodo Schottky CR15 provee protección preventiva contra voltajes positivos de referencia accidentales.

El voltaje de salida del circuito del Regulador depende del voltaje de referencia y del ajuste del resistor R51 en el divisor de la muestra de voltaje de salida. El amplificador de error en U6 compara el voltaje de referencia pre-distorsionado y una muestra del voltaje de salida de la alimentación. El integrado regulador controla la corriente de base en el transistor Q2 para ajustar el voltaje de salida, de manera que el voltaje diferencial en el integrado sea esencialmente 0.

La entrada no regulada es de -8V, protegida por F3, de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje, y los capacitores C23 y C22 proveen filtrado para alta y baja frecuencia. El voltaje de salida negativo depende de la potencia del Transmisor y el nivel instantáneo de modulación; el integrado utiliza voltajes de +8 y -8V suministrados a través de R40 en el pin 1 (+V) y R47 en el pin 5 (-V), respectivamente.

2.4 Módulo de Control.

A éste módulo lo conforman tres tarjetas, las cuales se describirán a continuación:

1.- Tarjeta de Control.

En ésta Tarjeta se manejan dos circuitos principalmente, el **Circuito de la Lógica de Control de Encendido/Apagado** y el **Circuito de la Lógica de Control de Potencia**, respectivamente.

El comando de encendido/apagado del PA es reconocido por la Tarjeta de Control desde alguno de los botones identificados como **BAJA, MEDIA, ALTA** (en cuanto al nivel de potencia) ó **APAGADO**, los cuales están etiquetados en el Transmisor como LOW, MED, HIGH y OFF en el Panel de Medición/Tablero de Control.

La Lógica del Control de Encendido/Apagado del Transmisor, manejada en la Tarjeta de Control, provee señales de excitación para los relés denominados K1 y K2, y también provee señales lógicas para inhibir varias funciones en el Transmisor durante la Secuencia de Encendido por Pasos, y cuando el Transmisor está apagado. Por ejemplo, una señal de entrada *Apagado*, desde la Lógica del Control de Potencia, inmediatamente des-energizará los contactores de la alimentación de alto voltaje y generará señales lógicas para inhibir otras funciones en el Transmisor.

La siguiente explicación corresponde al Circuito de la Lógica del Encendido/Apagado del Transmisor, y más adelante se describe al Circuito de la lógica de Potencia (ver figura 2.4.1):

1a) Secuencia de Encendido del Transmisor.

- a. **Comando de Entrada:** Cuando un comando de potencia, como *Alta*, *Media* o *Baja Potencia*, es dado (ya sea o una entrada local o una entrada remoto), en la Lógica de Control de Potencia es generada la señal *Solicitud de Encendido*.
- b. **Solicitud de Encendido:** Esta señal (de transición bajo a alto) pone en funcionamiento el monoestable (un tiro) U50A, en su entrada B, generando un pulso de encendido de 1.6 segundos. Si el Transmisor ya está encendido, una señal denominada *Inhibidora* de nivel lógico Alto, en la entrada A del monoestable, previene que el pulso de encendido sea generado.
- c. **Pulso de Encendido:** Cuando U50A es disparado, genera un pulso de encendido lógico Alto de 1.6 segundos en su salida Q y un pulso lógico Bajo de 1.6 segundos en su salida Q negada. El pulso de encendido excita al contactor K1 y el pulso invertido genera una señal denominada *Habilitación de Datos* para los latch de datos en la Tarjeta de Entrada Analógica. Si una entrada *Apagado* o alguna entrada de falla, durante el pulso de encendido de 1.6 segundos borra el monoestable, la secuencia de encendido es abortada inmediatamente.
- d. **K1 ha Cerrado:** Cuando K1 cierra, un contacto auxiliar coloca una señal de +22V en la entrada de un circuito convertidor de nivel lógico tipo De-Bounce. La salida del circuito es una señal denominada *K1 ha Cerrado* la cual es de nivel lógico Alto y...
 - 1. Desactiva la señal denominada *Inhibición de Subexcitación-B* (pone a cero el voltaje rampa de referencia del comparador de subexcitación, en la Tarjeta LED).
 - 2. Activa el temporizador de retardo de 0.3 segundos.

e. **K1 ha Cerrado + 0.3 Segundos:** 0.3 segundos después de la entrada *K1 ha Cerrado*, el temporizador de retardo provee una salida lógica Alta, la cual:

1. Desactiva la señal denominada *Inhibición de Subexcitación-A* (activa la salida *Falla de Subexcitación* en la Tarjeta LED). Esta señal lógica Alta va a una entrada de la compuerta OR U58B forzando la salida de la compuerta a un nivel lógico Alto. Otra entrada de la compuerta U58B conserva la salida en Alto siempre que K2 esté cerrado y el Transmisor encendido.
2. Activa un temporizador de retardo de 0.8 segundos; la salida de éste segundo temporizador es la señal *K1 ha Cerrado + 1.1 Segundos* de nivel lógico Alto.

f. **K1 ha Cerrado + 1.1 Segundos:** La salida lógica Alta del circuito de retardo de 0.8 segundos ocurre $(0.3 + 0.8) = 1.1$ segundos después de la entrada *K1 ha Cerrado*. Esta señal lógica Alta:

1. Genera una salida llamada *Excitación de K2* si no hay fallas presentes. La señal lógica Alta va a través de la compuerta OR U58A, las compuertas AND U52B y U52C. La otra entrada de la compuerta OR U58A fija K2. Si no hay señal *Inhibición K2-L* presente en U52B y no hay señal *Falla de Alimentación-L* presente en U52C, la señal de Excitación K2 energiza el contactor de Encendido por Pasos, K2.
2. Genera una señal llamada *Desactivación de Inhibición-H* en la salida de U58A, la cual permite que los pulsos de reloj vayan a las compuertas de control de los contadores incrementales/decrementales de la Lógica de Control de Potencia. Hasta ahora, la línea lógica *Desactivación de Inhibición-H* ha sido baja, inhibiendo los pulsos de reloj a través de la compuerta inhibidora U68B del reloj de la Lógica de Control de Potencia.

- g. K2 ha Cerrado:** Cuando K2 cierra, un contacto auxiliar coloca una señal de +22V en la entrada de un circuito convertidor de nivel lógico y de tipo De-Bounce B. La salida desde el convertidor, una señal llamada *K2 ha Cerrado* de nivel lógico Alto:
1. Fija K2, si no hay fallas presentes: La entrada *K2 ha Cerrado-H* a la compuerta OR U58A, retiene la salida de la compuerta Alta, las salidas de las compuertas AND U52B y U52C son Altas. La salida Alta de la compuerta U52C es la señal *Excitación de K2* al circuito contactor de excitación en la Tarjeta del Regulador DC. (Una señal *Inhibición K2-L* en la compuerta U52B o *Falla de Alimentación-L* en la compuerta U52C inhiben o bloquean la señal *Excitación de K2*).
 2. Inhibe la señal *Encendido de K1 por Monoestable U50A*, de manera que otro cambio de modalidad de potencia (el cual genera otra “Solicitud de Encendido”) no puede disparar otro pulso de encendido.
 3. Mantiene la línea de *Desactivación de Inhibición-H* de la salida de la compuerta U58A en Alto.
 4. Activa el temporizador de retardo de 150 milisegundos U59E: Después de 150 milisegundos, la salida del temporizador de retardo va de un nivel Alto a Bajo, desactivando la señal *Apagado del PA* permitiendo a los módulos del PA operar.
- h. Temporizador de Retardo U59E de 150 milisegundos:** 150 milisegundos después de que la señal *K2 ha Cerrado* va Alta, la salida de éste temporizador de retardo va Baja proporcionando una entrada a la compuerta U53B.
- i. Entrada negativa a la compuerta AND U53B:** Si no hay fallas presentes, la salida de ésta compuerta es Alta, 150 milisegundos después de que K2 cierra. Cuando la salida de la compuerta U53B es Alta, ésta:

1. Desactiva la señal *Inhibición de Sobreexcitación*: La señal *Inhibición de Sobreexcitación-L* es desactivada de manera que los circuitos detectores de sobreexcitación y de Falla de Flujo de Aire en la Tarjeta LED estén funcionando.
 2. Desactiva la señal *Apagado del PA-L*, permitiendo al PA encender (a menos que una señal externa *Apagado del PA* o del interruptor S5 de “Apagado del PA” en la Tarjeta de Control, o señales de Apagado del PA de otras partes del Transmisor, todavía mantengan el PA apagado).
- j. **En éste momento, 1.2 segundos aproximadamente han transcurrido desde la “Solicitud de Encendido” y el encendido del Transmisor:** El pulso de 1.6 segundos *K1 Encendido*, permanecerá en nivel lógico Alto por aproximadamente 0.4 segundos más, luego irá a nivel Bajo, la señal *Excitación de K1* será eliminada y K1 se des-energizará.

1b) Secuencia de Apagado del Transmisor.

Cuando una señal lógica Alta o de *Apagado* se recibe desde la Lógica de Control de Potencia, da lugar a la siguiente secuencia:

- a. **Genera la señal *Inhibición de K2-L*:** La señal *Apagado-H* en una entrada de la compuerta NOR U53C provoca que su salida vaya a Bajo, la cual es la señal *Inhibición de K2-L*, que causa lo siguiente:
 1. **Apaga la Fuente de Alto Voltaje:** La entrada lógica Baja en U52B inhibe la señal *Excitación de K2* por lo que K2 se des-energiza, deshabilitando la alimentación primaria de la Fuente de Alto Voltaje. K2 es inhibido siempre que el comando *Apagado* esté presente.

2. Inhibe el pulso de encendido: La señal *Inhibición de K2-L* va a las compuertas U43A, B y C en la Lógica del Control de Potencia para detener la “Solicitud de Encendido;” indicadores de estado tales como ALTA, MEDIA y BAJA; las funciones Elevar/Disminuir; y la salida múltiple. Estas funciones son inhibidas siempre que el comando de *Apagado* esté presente.

 3. Apaga los Módulos del PA (Señal *Apagado del PA* de la compuerta U53B, por medio del inversor U59D): La entrada lógica Baja causa una salida *Apagado del PA-L* la cual mantiene los módulos del PA apagados, siempre que el comando *Apagado* esté presente.

 4. Inhibe la Detección de las Fallas de Sobreexcitación y Flujo de Aire: Cuando el PA es apagado, estas funciones de Falla y Sobrecarga son también detenidas por una señal inhibidora de nivel lógico Bajo.
- b. Cuando K2 se des-energiza**, su contacto auxiliar abre y la línea *K2 está Cerrado-H* va en Bajo, lo cual ocasiona las siguientes acciones:
1. Elimina la señal de U58A: K2 no puede energizarse de nuevo hasta que otra señal de “Solicitud de Encendido” inicie la secuencia de encendido nuevamente.

 2. Mantiene la señal *Apagado del PA* (a través del circuito de retardo U59E y de las compuertas U53B y U52A): La señal *Apagado del PA* permanece hasta que K2 se energiza nuevamente.

 3. Inhibe la detección de las fallas de Flujo de Aire y Sobreexcitación (a través del circuito de retardo U59E y la compuerta U53B): La señal *Inhibición de Sobreexcitación-L* está presente.

 4. Inhibe la detección de la Falla de Subexcitación (en la Tarjeta LED) a través de la compuerta U58B: La señal *Inhibición de Subexcitación-A* está presente.

5. Inhibe el Cambio de Potencia: La salida de la compuerta U58A es Baja, elimina la señal *Desactivación de Inhibición-H* y detiene la entrada de reloj a los contadores incrementales/decrementales (a través de la compuerta U68B en la Lógica de Control de Potencia).
6. Elimina la entrada inhibidora K1 Encendido al multivibrador (a través del separador U69C a la entrada A del multivibrador U50A); se debe tomar en cuenta que siempre que el comando *Apagado* está presente, la entrada clear del multivibrador está en Bajo, de forma que el multivibrador todavía no pueda operar.

1c) Sección de la Lógica del Control de Potencia.

Los circuitos de ésta sección aceptan los comandos de entrada para el control de potencia y generan una salida de control de potencia de 3 dígitos BCD, la cual va al circuito del potenciómetro controlado digitalmente en la Tarjeta de Entrada Analógica. Para la siguiente referencia ver figura 2.4.2.

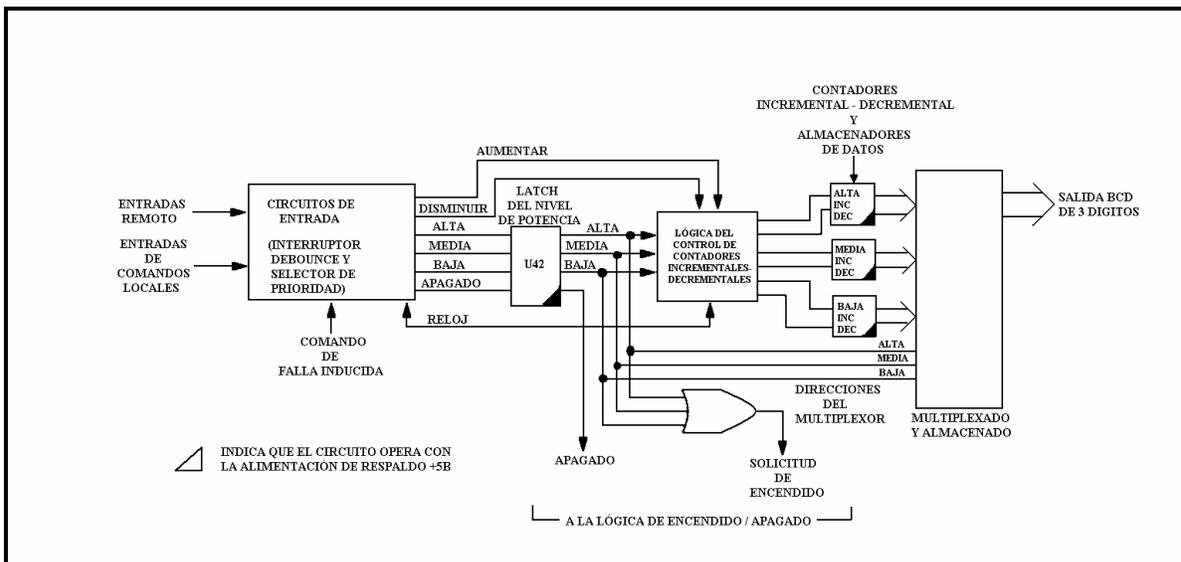


FIGURA 2.4.2 Diagrama Simplificado del Circuito de la Lógica de Control de Potencia.

Los comandos de entrada son *Apagado, Disminuir, Aumentar, Alta, Media y Baja* potencia, los cuales pueden ser comandos **Locales, Remotos**, ó por **Falla Inducida**. Los botones de control del Panel Frontal del Transmisor son comandos de entrada Locales, y las entradas de un equipo de control remoto, ó de paneles de control extendidos a la terminal TB1 de la Tarjeta de Interfase Externa, son entradas Remoto. Las secciones de los circuitos de falla y sobrecarga del Transmisor pueden generar comandos de apagado inducidos por una Falla Tipo 1, comandos de disminución de potencia inducidos por VSWR o inducidos por temperatura.

El último comando, ya sea *Apagado, Alta, Media o Baja*, se almacena en el Latch del Nivel de Potencia el cual opera con +5B de la alimentación de respaldo, de forma que, después de una falla de potencia, el Transmisor volverá a encender en el mismo nivel de potencia.

La salida *Apagado* del Latch / Nivel de Potencia va a los circuitos de control de Encendido/Apagado, y las salidas *Alta, Media y Baja* son comparadas en una compuerta OR para generar una señal *Solicitud de Encendido* a los circuitos de control de Encendido/Apagado.

La Lógica de Control de Contadores Incrementales/Decrementales consta de compuertas las cuales envían los pulsos de reloj a la entrada de un contador incremental/decremental para el Nivel de Potencia fijado, cuando un comando, tal como *Aumentar* ó *Disminuir*, está presente.

Los contadores fijan y almacenan la salida de potencia del Transmisor para cada nivel de potencia. Hay un ajuste de los contadores para cada nivel de potencia, y cuando un nivel de potencia se selecciona, su salida, que consta de Datos de Potencia en BCD, se selecciona mediante un *multiplexor*, para después ir a la Tarjeta de Entrada Analógica. La salida de cada juego de contadores con salida en paralelo es de 12 bits que conforman la **Señal de Datos de la Salida de Potencia en BCD**.

Cuando el control *Aumentar*, o *Disminuir*, es operado mientras el Transmisor está en el modo de potencia ALTA, MEDIA o BAJA, los pulsos de reloj van a la entrada del conteo incremental, o a la decremental, de los contadores para ese modo de control, para cambiar los Datos de Potencia BCD. La alimentación del contador es la de respaldo de +5B, de manera que la salida del contador no cambia a menos que una entrada de conteo incremental o decremental esté presente.

Un circuito multiplexor de salida selecciona el dato BCD de 12 bits de un juego de contadores y lo envía a la Tarjeta de Entrada Analógica. Tres direcciones de entrada en el multiplexor (nivel ó modo de potencia ALTA, MEDIA o BAJA) determinan cual juego de datos se convierte en la salida del multiplexor; si las tres líneas de dirección son de estado Bajo, la salida del multiplexor es cero (0000 0000 0000). En la Tarjeta de Entrada Analógica, el dato es almacenado en los latch y después va a la entrada del potenciómetro controlado digitalmente.

1d) Fuentes de Alimentación.

La alimentación en la Tarjeta es hecha en base a reguladores de voltaje que suministran +5V para todos los circuitos lógicos en la misma, y también +15V y -15V para el monitor de medición analógico y los excitadores/separadores. La alimentación de respaldo, +5B, la cual se suministra a todos los circuitos críticos de memoria cuando la alimentación primaria del Transmisor falla, o cuando el Transmisor es apagado, también se localiza en la Tarjeta de Control.

Estas alimentaciones también proveen voltajes de operación para la Tarjeta LED, la que a su vez utiliza la alimentación de respaldo +5B para los circuitos de memoria.

1e) Alimentación de Respaldo +5B (Backup).

La alimentación +5B está conformada por tres baterías (baterías de respaldo opcionales), un Capacitor Almacenador de Energía de bajo voltaje y con valor de capacitancia, de 1 Farad, así como dos diodos y dos resistores limitadores de corriente.

Los capacitores como el mencionado, son diseñados para emplearse en aplicaciones de respaldo de memoria de baja corriente. El capacitor es inicialmente cargado desde la alimentación de +5V, a través de un diodo y un resistor; cuando la alimentación primaria está presente, sólo se mantiene la carga en él.

Si el suministro de +5V falla, ya sea por la pérdida de alimentación primaria ac del Transmisor ó una Falla de Alimentación, el diodo mencionado será polarizado en inversa, de manera que el capacitor se descargue sólo dentro de los circuitos en las Tarjetas tanto de Control como LED. El drenado total de corriente de la alimentación de respaldo, cuando la alimentación de +5V falla, es menor a 1 miliampere (mA), de forma que el capacitor solo, puede habilitar la memoria por dos horas o más.

Si el Transmisor ha estado apagado por un largo periodo de tiempo y el capacitor de la alimentación de respaldo ha sido descargado, el capacitor se cargará a través de el resistor cuando la alimentación de +5V llegue de nuevo. Durante éste periodo de carga, aproximadamente de un minuto, la señal +5B *Reset* evitará el control del Transmisor desde la operación.

2.- Tarjeta LED.

La Tarjeta LED se encarga de la detección de fallas y sobrecargas, además de la lógica ejecutada para tal función. Provee 26 indicaciones en el Panel de Estados LED e indicaciones de estado “Local” ó “Remoto,” así como también provee todas estas indicaciones, como salida de estado remoto, a la Tarjeta de Interfase Externa. Muchas indicaciones de estado son almacenadas para proporcionar indicaciones de falla, (hasta

que sean borradas) incluso, si el Transmisor está apagado. Las indicaciones almacenadas son también “recordadas” siempre que un voltaje de alimentación de respaldo esté presente cuando la corriente ac se desconecte ó falle.

Los circuitos de falla y sobrecarga en el Transmisor son agrupados de acuerdo al **Tipo de Falla**, en base a la acción tomada cuando alguno se detecta, por lo que se tienen los siguientes tipos de falla (ver la figura 2.4.3 para las siguientes explicaciones):

2a) Falla Tipo 1 – Apaga el Transmisor.

Quita el alto voltaje des-energizando los contactores de la corriente primaria de la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje y proporciona un comando *Apagado*. Cada indicador de éste tipo de falla cambia de verde a rojo, es decir, si existe una indicación en rojo, permanecerá así hasta que los indicadores de estado sean reiniciados.

La compuerta OR U10 provee una salida lógica Alta si cualquier Circuito de Detección de Falla Tipo 1, en la Tarjeta LED, detecta una falla. La salida de la compuerta OR U24C es lógica Alta, ya sea si la salida de U10 es Alta o si una falla Tipo 2 se repite cuando el Transmisor es re-encendido.

El dilatador de pulsos U64B y la compuerta OR U70A se aseguran de que una señal llamada *Falla Tipo 1-H* generará un pulso de apagado del Transmisor de al menos 2.4 segundos y durante éste tiempo, cualquier otro comando también será inhibido.

En la Tarjeta de Control, una compuerta OR adicional (U58C), provee señales de *Falla Tipo 1-H* si, o una Falla Tipo 1 de la Tarjeta LED o una Falla de Bloqueo (éste tipo de falla se presenta cuando algún panel o puerta del transmisor está abierta), está presente (se comparan en la compuerta). La Lógica de Bloqueo en la Tarjeta de Control también envía señales lógicas indicadoras de estado a la Tarjeta LED para condiciones de Bloqueo de Puertas (Door Interlock) ó Bloqueo Externo (External Interlock). Algunas entradas de la compuerta OR, U10, que pertenecen al grupo de Falla Tipo 1 son:

- **Falla del Flujo de Aire (Air Flow Fault).**

El circuito de Falla de Flujo de Aire está formado por una unidad detectora del flujo de aire, S7, montada en la Tarjeta del Codificador Excitador/Sensor de Temperatura, y la lógica de la Tarjeta LED.

Una Falla de Flujo de Aire sucede cuando no hay suficiente aire para enfriar apropiadamente los módulos amplificadores de RF, lo cual puede deberse a una falla de ventilador (una mala conexión del motor del ventilador ocasiona que el ventilador funcione al revés), o por quitar alguno de los paneles traseros.

- **Falla de la Alimentación de Alto Voltaje o HV Supply Fault (Circuito de Protección para la Alimentación del PA).**

Este circuito, cuya indicación de estado es “**Falla de Alimentación,**” básicamente protege el transformador trifásico T1 de un sobrecalentamiento ocasionado por un desequilibrio fásico. Algunas causas del desequilibrio fásico son: un alto ó bajo voltaje de fase, pérdida de una fase de una corriente entrante, falla de contactor (la cual ocasiona pérdida de una fase en el primario del transformador), falla de rectificador o una falla de transformador.

Normalmente, la fuente de 12 fases tiene una frecuencia de rizo que es 12 veces la frecuencia en la corriente de línea (en México equivale a 60 Hz, por lo que tendría un valor de 720 Hz). Un desequilibrio fásico, por alguna razón, ocasiona una componente de rizo de dos veces la frecuencia de línea (un rizo de 120 Hz). La entrada del circuito de protección es una muestra del rizo de alimentación de media onda y un valor de +57.5V, de la Tarjeta de Fusibles. El circuito de protección está formado por un filtro paso banda, un detector de picos, un comparador y un circuito de retardo, el cual previene contra condiciones transitorias de las fallas generadas.

El filtro activo paso banda está compuesto de 3 etapas cuyo ancho de banda está en función de la frecuencia de la línea de alimentación (para 60Hz sería de 12Hz, es decir, pasarían frecuencias desde 114 a 126Hz). Este filtro deja pasar las frecuencias de rizo de la falla y atenúa o rechaza otras frecuencias ac ó de rizo. Si la componente de rizo con valor de 120Hz aumenta lo suficiente, la señal en la entrada no inversora del comparador se vuelve más grande que el voltaje de referencia y la

salida del comparador va desde cero a +5V (desde un estado lógico Bajo a uno Alto).

Cuando una falla se detecta, la salida del comparador es Alta, pero, a causa de un circuito de retardo, la salida de los circuitos de falla no es Alta hasta aproximadamente 1.5 segundos después; éste retardo previene condiciones transitorias en la corriente de línea de la cual se originan salidas de “falla”.

- **Falla de Sobrevoltaje en la Alimentación del PA (HV Supply Overvoltage).**

Un divisor de voltaje de la Tarjeta de Fusibles proporciona una muestra de voltaje del PA de +230V_{dc} y va a la entrada no inversora de un comparador de voltaje en la Tarjeta LED; la entrada inversora del comparador es un voltaje fijo de referencia derivado de la alimentación regulada de +15V.

Normalmente, la muestra es inferior al voltaje de referencia y la salida del comparador va a -15V. Un diodo fija el voltaje a tierra de forma que la entrada a un Convertidor de Nivel Lógico no es negativa, y su salida es una señal en Bajo con nivel lógico TTL que va al circuito indicador de estado de “**Fuente de Alimentación Principal: Sobrevoltaje**”.

Si el voltaje de alimentación excede el umbral prefijado, la salida del comparador va a +15V, luego es convertida a una señal lógica Alta de nivel TTL. La entrada lógica Alta a un circuito latch, indicador de estados, ocasiona una indicación almacenada de “Falla” con led en Rojo hasta que el latch sea restablecido.

- **Falla de los Cables de Bloqueo (Cable Interlocks).**

El circuito de los **Cables de Bloqueo** detecta cables desconectados entre el Codificador de Modulación y las Tablas Madre/Combinador del PA; módulos amplificadores RF faltantes, cables desconectados entre el Regulador DC y el

Codificador de Modulación, un cable desconectado entre el Codificador de Modulación y la Tarjeta LED; en cualquier caso, se produce una señal llamada **Falla Cables de Bloqueo-H**.

Las entradas “RESET A” y “RESET B” a la lógica de Falla Tipo 1, reinician sólo las Indicaciones de Estado, en cambio los circuitos de detección de fallas, borran éstas, eliminando la salida de Falla- H. El borrar la falla no reiniciará la indicación de estado, por lo que, el botón de Reset en el Panel de Estados del Transmisor debe estar pulsado, o debe recibirse una entrada de control remoto “Reset”, para reiniciar las Indicaciones de Estado.

2b) Falla Tipo 2 – Re-enciende el Transmisor una vez.

Las fallas de éste tipo pueden ser temporales y se eliminan desconectando la alimentación de Alto Voltaje por un corto tiempo. Estas fallas des-energizan los contactores primarios de la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje, luego, después de un segundo aproximadamente, re-enciende el Transmisor mediante el inicio de un ciclo normal de encendido por pasos. Si la misma falla se detecta de nuevo tan pronto el Transmisor encienda, ésta se convierte en una Tipo 1, la cual lo apagaría.

Una señal *Sobreexcitación de la Señal RF* o *Subexcitación de la Señal RF*, o de *Sobrecarga de la Corriente de Alimentación* (una Sobrecarga de Corriente Pico ó una Sobrecarga de Corriente Promedio dan lugar a una Sobrecarga de la Corriente de Alimentación), genera una señal **Falla Tipo 2-H** (un pulso lógico Alto de aproximadamente 1 segundo de duración) la cual va a la lógica de encendido en la Tarjeta de Control para apagar el Transmisor y volverlo a encender. Si la misma falla sucede de nuevo cuando el Transmisor es re-encendido, una salida *Falla-H* va a la compuerta OR de Falla Tipo 1, U24C.

- **Sobreexcitación de la Señal RF.**

Una señal dc *Muestra de la Señal RF* va a la entrada no inversora de un comparador cuyo voltaje de referencia en la entrada inversora es fijado con un resistor variable. Normalmente, el voltaje de referencia es más grande que la *Muestra de la Señal RF* y la salida del comparador va a cero, pero si el voltaje de ésta señal es más grande que el voltaje de referencia, la salida es llevada a +5V, proporcionando una entrada lógica llamada *Falla-H* a un multivibrador.

- **Subexcitación de la Señal RF.**

La señal dc *Muestra de la Señal RF* va a la entrada inversora de otro comparador y el voltaje de referencia va la entrada no inversora. Normalmente, el voltaje de la *Muestra* es más grande que el voltaje de referencia y la salida del comparador va a tierra, pero si cae por debajo del voltaje de referencia (el umbral de subexcitación se fija también con un resistor variable), la salida del comparador es lógica Alta (a +5V), proporcionando una entrada lógica *Falla-H* a un multivibrador.

Cuando el Transmisor es encendido (con el control de BAJA, MEDIA o ALTA potencia) el circuito de Encendido por Pasos aplica corriente ac a la Fuente de Alto Voltaje y el voltaje de alimentación comienza a llegar; si no existen fallas, el contactor K1 cierra y su contacto auxiliar cierra proporcionando una señal *K1 ha Cerrado* con transición de Bajo a Alto en la línea de la señal *Inhibición de Subexcitación B*. Después de un retardo de 0.3 segundos la línea de la señal *Inhibición de Subexcitación A* también es Alta.

Durante la primera parte del ciclo de Encendido por Pasos, la línea de la señal *Inhibición de Subexcitación A* es de estado lógico Bajo, de tal manera que ésta señal en una compuerta AND mantiene la salida en Bajo, incluso si la salida del comparador está en Alto.

Aproximadamente 0.3 segundos después el contactor K1 cierra, la señal *Inhibición de Subexcitación A* es Alta de manera que si la Señal RF es Baja (una condición de subexcitación) se genera una Falla de Tipo 2.

Una cadena de fallas de la Señal RF es una causa obvia para las Fallas Tipo 2, pero una Falla de Alimentación de Alto Voltaje puede también causar una Falla de Subexcitación durante el encendido.

Las Fallas de Alimentación de Alto Voltaje o una carga excesiva en la Alimentación de Alto Voltaje puede causar una Falla de Subexcitación durante el encendido. La Alimentación de Alto Voltaje inicialmente llega a través de los resistores de Encendido por Pasos, pero la única carga en la alimentación es el Excitador de RF, por lo tanto, el voltaje de alimentación debe estar cercano al voltaje completo y la señal RF debe estar cerca de la normal. Si hay una Falla de Alimentación o carga excesiva, la corriente primaria adicional causa una caída de voltaje a través de los resistores de Encendido por Pasos, el voltaje de alimentación es bajo y por lo tanto la señal RF será baja.

- **Sobrecarga de la Corriente de Alimentación.**

Este tipo de falla se puede originar a partir de las fallas de **Sobrecarga de Corriente Pico** o **Sobrecarga de Corriente Promedio**.

Sobrecarga de Corriente Pico: Un comparador se encarga de detectar las Sobrecargas de Corriente Pico y su voltaje de referencia es fijado mediante un resistor variable. El comparador tiene una salida a colector abierto la cual va a +5V a través de una resistencia; normalmente su salida es lógica Baja (aproximadamente cero volts), pero si la corriente pico de alimentación excede el umbral prefijado, la salida del comparador es lógica Alta (aproximadamente +5V).

Sobrecarga de Corriente Promedio: Un filtro paso bajas elimina las componentes de audiofrecuencia de la Muestra de Corriente de Alimentación, de manera que sólo la corriente promedio de alimentación en la entrada de un seguidor de alimentación va a proporcionar una salida de Corriente Promedio de Alimentación a la Interfase Externa, para la medición de la Corriente de Alimentación. La salida del seguidor también llega a la entrada no inversora de un comparador, donde su entrada inversora es un voltaje de referencia fijado por un control variable; si la corriente promedio excede el umbral prefijado, la salida del comparador es lógica Alta de nivel TTL.

El límite de la corriente promedio es utilizado para alimentar la salida del comparador a la Tarjeta de Entrada Analógica donde los pulsos de salida del comparador mencionado, son integrados y producen una señal de realimentación que reduce la salida de potencia para mantener la corriente del PA en el máximo nivel deseado.

Una señal llamada *Señal RF Estimada*, la cual es un voltaje analógico, también se deriva del circuito de Detección de Fallas de Subexcitación para proporcionar una indicación **Señal RF Relativa** no calibrada en el Multímetro del Panel Frontal y también para proveer una lectura remoto no calibrada llamada *Estimación de la Señal RF*. Una muestra de la corriente de alimentación, se deriva del circuito detector de Sobrecarga de la Corriente de Alimentación.

Las entradas inhibidas de la Tarjeta de Control operan durante el encendido del Transmisor para inhibir la detección de falla mientras se da la excitación RF y proveer una función detectora de subexcitación la cual apaga el Transmisor si las fallas de excitación RF o un bajo voltaje de la alimentación de Alto Voltaje causa una baja excitación.

Una entrada *Falla de Alimentación-L* en la Tarjeta de Control, inhibe las indicaciones de falla para detener indicaciones falsas cuando la corriente ac se aplica inicialmente o es re-aplicada al Transmisor.

2c) Falla Tipo 3 – Disminuye la Potencia del Transmisor.

La falla de éste tipo sucede cuando hay muchos lapsos de VSWR, uno después de otro. Esto es ocasionado por fallas en la antena (carga), o también en la Red de Salida del Transmisor las cuales ocasionan un cambio de impedancia RF. Algunas veces, el Transmisor puede todavía ser operado con toda seguridad a potencia reducida, por lo que la Falla Tipo 3 reduce la potencia del Transmisor hasta donde se reduce la potencia reflejada, a un nivel que no dañará el Transmisor.

Una compuerta NOR genera una señal *Falla VSWR-L* que va a una compuerta para el apagado del PA y mantenerlo así, por 14 o 19 milisegundos. Una orden de apagado del PA, directamente de la Tarjeta del Monitor de Salida a la Tarjeta del Codificador de Modulación (apaga el PA dentro de un microsegundo al detectar el VSWR, pero típicamente solo mantiene el PA apagado por aproximadamente 20 microsegundos), en ese tiempo, la señal *Falla VSWR-L* continuará manteniendo el PA apagado.

La salida de la compuerta NOR también va a un multivibrador, el cual genera un pulso de 220 microsegundos llamado *Conmutación de la Señal RF* el cual llega a la Tarjeta del Oscilador. La salida de la compuerta NOR también provee una señal *Falla VSWR-L* que va al circuito de Auto Prueba.

Si se repiten los VSWR lo suficiente, la lógica VSWR de la Tarjeta LED realizará lo siguiente:

1. Un latch indicador de estado proveerá una indicación almacenada VSWR hasta que los circuitos indicadores de estado sean reiniciados.
2. Un comando de Disminución por un VSWR Inducido se generará y de ésta forma irá a la Lógica de Control de Potencia en la Tarjeta de Control y continuará disminuyendo la potencia hasta que la potencia reflejada esté por debajo de 500 watts pico dentro del umbral de detección de VSWR.

3. Existe un circuito denominado **Circuito de Auto-Prueba de VSWR**, el cual ejecuta una prueba lógica de VSWR automáticamente cada vez que la corriente ac es aplicada al Transmisor y también el operador la puede realizar manualmente en cualquier momento. Los resultados de ésta prueba se pueden verificar en el Panel de Estados del Transmisor ó como una indicación llamada **“Falla/Aprobación de la Auto-Prueba VSWR”** en una ubicación remoto.
4. Si toda la lógica VSWR en la Tarjeta del Monitor de Salida y en la Tarjeta LED está trabajando apropiadamente cuando una Auto-Prueba de VSWR (VSWR Self-Test) se está ejecutando, ambos indicadores del Monitor de Salida – VSWR encenderán en rojo por medio segundo y el Detector de Estado de VSWR parpadeará en rojo momentáneamente (por 0.5 milisegundos) luego los tres indicadores encenderán en verde.
5. Si el indicador del Detector de Estado de VSWR permanece en rojo, una falla de lógica VSWR es indicada y el Transmisor no tiene protección de VSWR. El Transmisor no se debe operar hasta que la falla de la lógica VSWR sea corregida, ya que podría ocasionar serios daños al Transmisor.

2d) Falla Tipo 4 – Apaga sólo el PA.

Las Fallas Tipo 4 son todas las fallas de alimentación en las Tarjetas tanto de Entrada Analógica como en la del Convertidor A/D. Estas fallas pueden afectar los datos digitales los cuales se encargan de encender y apagar los módulos del PA, por lo que cualquier Falla Tipo 4 genera una salida *Apagado del PA* la cual va al Codificador de Modulación para después apagar todos los módulos del PA.

Cada circuito detector de Falla Tipo 4 incluye una salida llamada ***Alerta de Falla*** del regulador de voltaje y resistores en la Tarjeta de Entrada Analógica o la Tarjeta del Convertidor A/D y un comparador de voltaje en la Tarjeta LED. Este tipo de fallas se manifiestan cuando los reguladores de voltaje en la Tarjeta de Entrada Analógica o en

la Tarjeta del Convertidor A/D fallan, por lo que las fallas en cualquiera de estas Tarjetas resultan en datos digitales de audio dañados, pero sin afectar otros circuitos del Transmisor con excepción del detector envuelto el cual solo provee una indicación.

Las fallas Tipo 1 apagan el Transmisor si la alimentación del Regulador DC o en la Tarjeta del Monitor de Salida, falla, de lo cual si la alimentación del Regulador DC falla, todos los módulos del PA se encienden mientras que las fallas de alimentación en el Monitor de Salida, ocasionan la pérdida de protección contra VSWR; ambas circunstancias podrían ocasionar serios daños al Transmisor.

Los Circuitos Detectores de Fallas de Alimentación trabajan con unos comparadores diferenciales donde cada entrada no inversora es un voltaje fijo positivo de referencia que se deriva de la alimentación regulada de +5V de la Tarjeta de Control.

Todas las entradas de referencia de los comparadores para las fallas Tipo 4 están conectadas juntas y se derivan de un divisor de voltaje común. Las entradas inversoras de los comparadores actúan como entradas detectoras de fallas, por lo que si no hay fallas de alimentación, la entrada inversora del comparador será más positiva que el voltaje de referencia y la salida del comparador será Baja (“sin falla,” cercana a cero volts); cuando existe una falla, sin embargo, el voltaje en la entrada inversora irá por debajo del voltaje de referencia y la salida del comparador será Alta.

Para la mayoría de los suministros de +5 o +15V, cuando la *Alerta de Falla* está desactivada (sin falla), la entrada “detectora” del comparador va al voltaje regulado de la alimentación a través del divisor de voltaje resistivo. Si el voltaje regulado disminuye y la *Alerta de Falla* no funciona, el comparador de la Falla de Alimentación en la Tarjeta LED todavía detectará una falla y apagará el PA; si la *Alerta de Falla* se activa, la entrada detectora del comparador es puesta a tierra y su salida es lógica Alta, la cual es una salida de “falla”.

El circuito de salida *Alerta de Falla* de la alimentación de +5V de la Tarjeta de Entrada Analógica incluye un capacitor y un diodo de descarga, los cuales son parte de un circuito de retardo de encendido inicial en la Tarjeta. Si la *Alerta de Falla* es lógica Baja, el capacitor se descargará a través del transistor de alerta de falla y una Falla Tipo 4 se generará por el comparador U57B (ver figura 2.4.4).

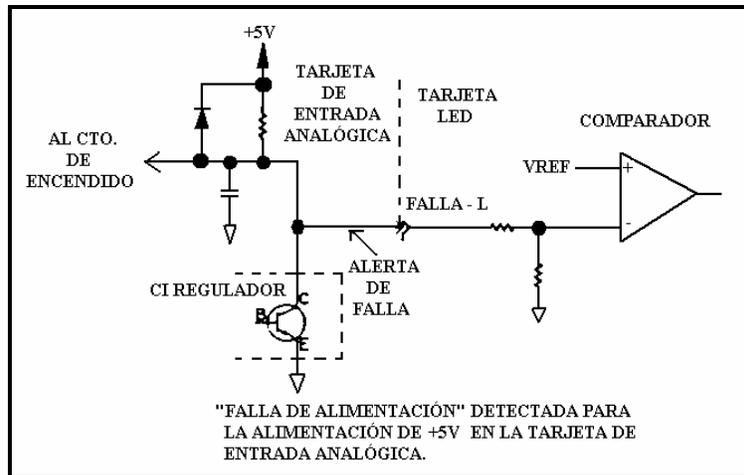


FIGURA 2.4.4 Circuito de Salida para la *Alerta de Falla* de +5V en la Tarjeta de Entrada Analógica.

Por otra parte, para la mayoría de las alimentaciones negativas, normalmente la alerta de falla es efectivamente un circuito abierto, y el voltaje de la entrada detectora del comparador es mantenida por encima del voltaje de referencia por un divisor de voltaje desde +5V a tierra; el resistor a tierra está en la salida de la *Alerta de Falla* en la misma Tarjeta como el regulador de voltaje. Cuando una falla de alimentación negativa sucede, el transistor de *Alerta de Falla* lleva la salida cerca del voltaje de entrada negativo no regulado, de forma que, el divisor de voltaje en la entrada detectora del comparador va desde +5V a, ya sea -8 o -22V; un diodo Schottky en ésta, previene que el voltaje de entrada del comparador llegue a poco más de unas cuantas decenas de un voltaje negativo (ver figura 2.4.5).

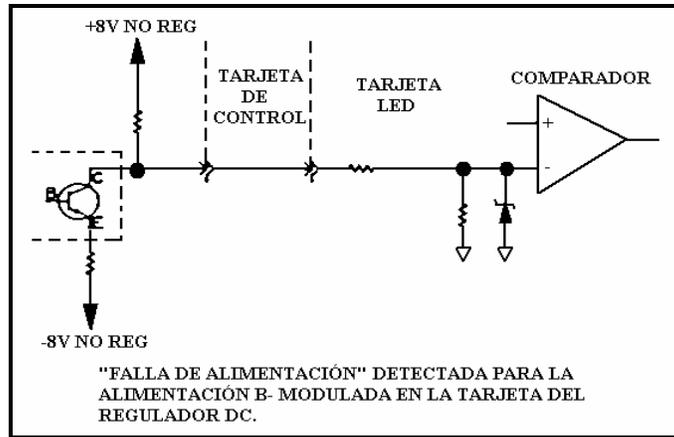


FIGURA 2.4.5 Circuito de Alerta de Falla para alimentaciones negativas.

Cuando la salida del comparador es Baja (no hay falla), un inversor provee una señal lógica Alta para encender la sección verde de un led y dos inversores en serie proveen una señal lógica Baja a la Tarjeta de Interfase Externa. Cuando la salida de un comparador es Alta (cuando hay falla), una salida lógica excitadora es Alta y enciende la sección roja del led y los dos inversores en serie proveen una señal lógica Alta a la Interfase Externa.

2e) Falla Tipo 5 – Borra los Datos del Modulador.

Las Fallas Tipo 5 son fallas de Error de Conversión y el único circuito en la Tarjeta LED es un circuito indicador de estado. El circuito Indicador de Estado del Error de Conversión comprende a una compuerta AND, un separador/excitador y unos inversores/excitadores.

La compuerta AND inhibe las indicaciones de **Falla de Error de Conversión** a menos que el Transmisor este encendido y la señal de Apagado del PA que proviene de la Lógica de Encendido/Apagado en la Tarjeta de Control, haya sido liberada.

Una señal *Inhibición de Sobreexcitación-L* también de la Lógica de Encendido/Apagado, inhibe las indicaciones en rojo de Error de Conversión cuando el Transmisor está apagado, o cuando el PA se mantiene apagado durante la secuencia de Encendido por Pasos, o cuando una entrada de falla a la Lógica de Encendido/Apagado, apaga el PA.

La compuerta AND tiene dos entradas: La entrada para la señal *Inhibición de Sobreexcitación-L* y la señal lógica de *Error de Conversión* que proviene del circuito de Error de Conversión en la Tarjeta del Convertidor A/D. Cuando la señal *Inhibición de Sobreexcitación-L* está presente, la salida de la compuerta será lógica Baja no importando el estado en el que esté la señal lógica *Error de Conversión* y el indicador de Error de Conversión, sin embargo, será verde.

Cuando se libera la señal *Inhibición de Sobreexcitación* (la entrada de la compuerta será lógica Alta), la salida de la compuerta depende de la señal lógica *Error de Conversión*. Cuando una señal *Error de Conversión-H* está presente, la salida de la compuerta es Alta, de otra forma es Baja. Cuando la salida de la compuerta es Alta (Falla de Error de Conversión), la salida de uno de los inversores, es Baja y la salida del otro es Alta, proporcionando una salida de *Falla-H* a la Tarjeta de Interfase Externa.

Cuando no hay falla (o la indicación lógica de *Error de Conversión* es inhibida), la salida de la compuerta es Baja, la salida del excitador es Baja (apaga la sección roja de un indicador led bicolor) y la salida del primer inversor mencionado, es Alta, iluminando la sección verde del led. Cuando la salida de la compuerta U67A es Alta, la salida del excitador también es Alta y la corriente fluye a través de la sección roja del led indicador, proporcionando una indicación en rojo que implica una Falla. La salida de uno de los inversores es entonces Baja y la sección verde del mismo se apaga.

Los circuitos Detectores de RF proveen indicaciones en verde para los indicadores de estado del Oscilador, Divisor y Pre-excitador en el Panel de Estados del Transmisor cuando la salida de RF está presente. Si alguna de esas secciones falla (no haya salida de RF), sólo la primera sección donde falla la RF indicará rojo, incluso aunque las secciones

siguientes tampoco tuvieran salida de RF. A causa de que una falla de RF ocasiona una Falla de Sub-excitación, los circuitos detectores de RF proporcionan solo indicaciones para identificar la sección en la cual la falla está ocurriendo.

2f) Falla Tipo 6 – Sólo Falla de Display (Fusible Dañado).

Las Fallas Tipo 6 son fallas sobre fusibles dañados y son ocasionadas por alguna falla en un Módulo del PA la cual da por resultado la pérdida de Escalones Grandes. Las fallas de fusibles dañados generan una indicación de estado de “Falla” pero no ocasionan ninguna acción. La señal que excita éste circuito se deriva de la Tarjeta del Codificador de Modulación. La indicación está presente sólo cuando las fallas por fusibles son detectadas; la indicación no es almacenada y es reiniciada cuando la falla se borra.

2g) Falla Tipo 7 – Transmisor Inhibido del Encendido.

Las fallas de éste tipo suceden si la Secuencia de Encendido por Pasos del Transmisor no se completa, esto es, si los contactos, ya sea en K1 o K2 no se cierran. Las fallas de éste tipo abortarán (detendrán) la Secuencia de Encendido; ésta acción ocurre dentro de la Sección de Control de Encendido del Transmisor en la Tarjeta de Control. No hay circuitos de Falla Tipo 7 en la Tarjeta LED y las fallas de éste tipo no dan ninguna indicación.

3.- Tarjeta de Interfase Externa (Control Remoto).

La Interfase Externa provee una interfaz entre la Tarjeta de Control del Transmisor y cualquier control externo o equipo de monitoreo, incluyendo equipo de control remoto y paneles de control extendido y monitoreo.

Los circuitos de interfaz en la Tarjeta proveen aislamiento entre la sección de Control y cualesquier conexión hecha en los conectores TB1 y TB2, además de unos diodos transzorb que protegen al Transmisor de voltajes transitorios que provengan de cableado externo

y de voltajes inadecuados, accidentalmente aplicados en las terminales de la Interfase Externa.

La Tarjeta de Interfase Externa maneja cinco tipos de circuitos para diferentes funciones y se identifican como: *Tipo A (Salidas de Estado)*; *B (Entradas de Control)*; *C, D y E (Salidas del Monitor de Voltaje)*.

3a) Salidas de Estado (Tipo A).

Cada salida de estado es una salida a colector abierto y cuando la acción descrita por el nombre de la señal en la salida de estado este ocurriendo, el transistor estará encendido (saturado), proporcionando una corriente de colector a tierra para un voltaje positivo aplicado en esa entrada. Todos los transistores de los circuitos para las Salidas de Estado retornan a tierra. Se pueden mencionar los siguientes ejemplos tomando como referencia el circuito de la figura 2.4.6:

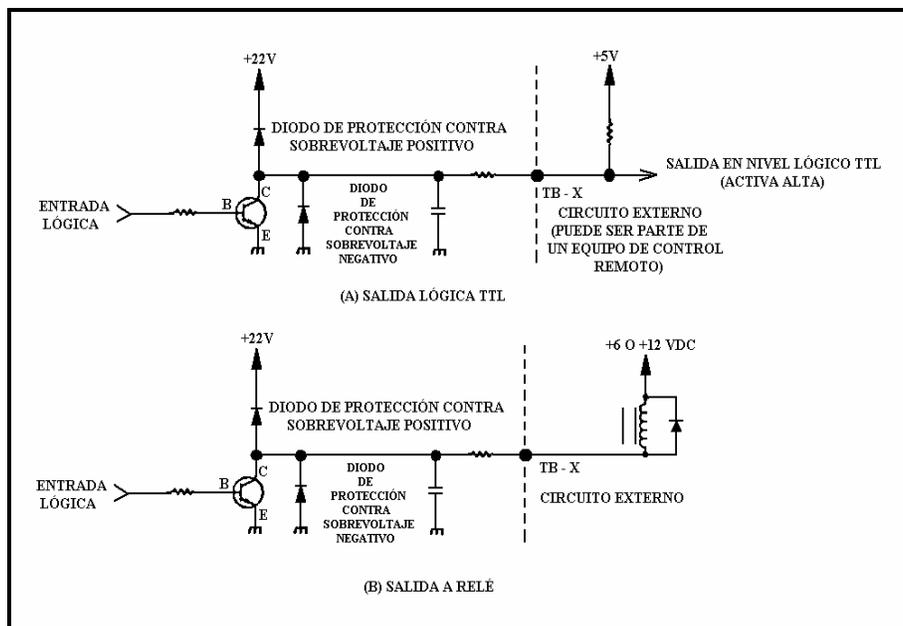


FIGURA 2.4.6 Circuito general para todas las Salidas de Estado, donde se pueden observar dos tipos de salida a un circuito externo (por ejemplo un Equipo de Control Remoto): **(A)** Salida Lógica TTL y **(B)** Salida a Relé.

- **Indicador DISMINUIR (LOWER):** Cuando éste botón está encendido en el Transmisor, el transistor entre TB1 terminal 15 (TB-X) y tierra está “encendido”.
- **Indicador BAJA (LOW):** Cuando el botón BAJA potencia en el Transmisor está encendido, indicando el modo de trabajo del Transmisor, el transistor entre TB1 terminal 20 (TB-X) y tierra está “encendido”.
- **Indicador “Sobrecarga de la Corriente de Alimentación”:** Cuando éste indicador en el Panel de Estados está en rojo, indicando una sobrecarga de la corriente de alimentación, el transistor entre TB2 terminal 25 (TB-X) y tierra está “encendido”.

Cuando el indicador de sobrecarga es verde, el transistor está “apagado” y la terminal 25 es un circuito abierto (a menos que voltaje inverso o excesivo sea aplicado a la terminal).

Las Salidas de Estado son protegidas contra voltaje inverso por un diodo conectado entre el colector del transistor y tierra, con el ánodo del diodo a tierra. Este diodo de protección conducirá si un voltaje negativo es conectado a la terminal de la Salida de Estado.

Las Salidas de Estado son también protegidas contra entradas de voltaje excesivo por un diodo conectado entre el transistor y la alimentación no regulada de +22V. Si un sobrevoltaje en la terminal ocasiona suficiente flujo de corriente a través del diodo, el resistor entre el colector del transistor y la terminal de la Tarjeta para esa salida, se quemará. Un capacitor que va del transistor a tierra, provee filtrado para transitorios y corrientes RF.

3b) Entradas de Control (Tipo B).

Todas las **Entradas de Control Extendidas (Entradas de Control Remoto)**, son aisladas ópticamente. Ambos lados de la entrada son aislados de tierra permitiendo flexibilidad en los circuitos de entrada de control, los cuales son externos al

Transmisor. Por cada Entrada de Control, hay dos terminales, TBX o TBY, etiquetadas como (+) y (-) de tal forma que ambas terminales son aisladas de tierra (ver figura 2.4.7).

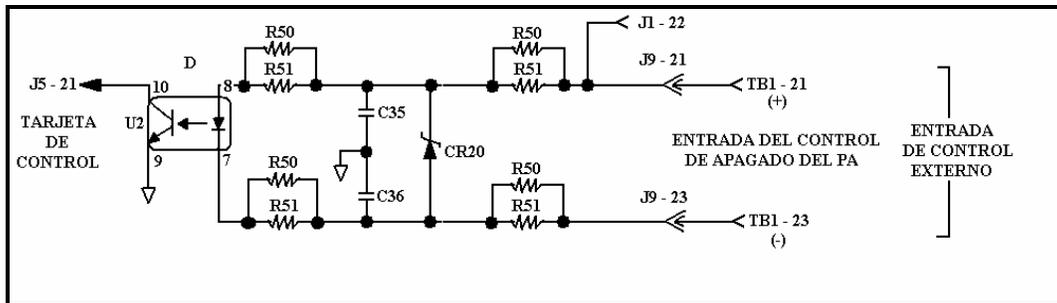


FIGURA 2.4.7 Circuito correspondiente a las Entradas de Control.

La entrada opto-aisladora es un led con ambos lados sobre la superficie. Cuando la corriente fluye a través del diodo, se enciende, el fototransistor interno conduce, proporcionando una corriente de colector entre las terminales de salida; cada fototransistor de los optoaisladores es una parte efectiva de un circuito lógico en la Tarjeta de Control, incluyendo *resistores pull-up*.

Para iniciar o activar la acción de control para cada Entrada, un voltaje momentáneo (100 milisegundos o más) debe ser aplicado a la Entrada de Control para encender el led interno del optoaislador.

Para prevenir la activación de la acción de control del Transmisor, la entrada de voltaje a las terminales de la Entrada de Control debe ser aproximadamente cero (la entrada de voltaje debe estar entre -1 y +1V). Es posible que voltajes más grandes que +1V puedan activar la acción de control, a causa de la tolerancia de los componentes; voltajes menores que -1V pueden ocasionar daño a los componentes.

Algunos ejemplos de éste tipo de entrada son:

- **Apagado del PA.**

La entrada de control *Apagado del PA* (PA Turn Off Control Input aplicada a TB1-21 y 23) apaga todos los módulos PA por medio de la sección de modulación del Transmisor; esto no significa que opere los contactores de Alto Voltaje o apague la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje.

El Apagado del PA está proyectado para apagar el PA brevemente, durante un patrón de cambios en la antena, selección de antena, o durante otras veces cuando la salida RF del Transmisor es conmutada.

- **Control de Apagado.**

La entrada de la señal *Control de Apagado* funciona de la misma forma que el interruptor de apagado en el Panel Frontal del Transmisor, des-energizando el contactor primario de la Alimentación de Alto Voltaje y reiniciando los circuitos de control de encendido/apagado. El *Control de Apagado* debe ser utilizado en cualquier momento que el Transmisor sea apagado por alguna razón a parte de una breve interrupción de la potencia RF de salida durante un cambio de antena o por operaciones en el patrón de cambio de la antena.

3c) Salidas del Monitor de Voltaje (Tipos C, D y E).

Existen tres tipos de Salidas de Monitor, incluyendo a las salidas de Divisor de Voltaje y salidas del Monitor de Voltaje, los cuales se describen a continuación:

- **Salidas de Divisor de Voltaje (Tipo C o Tipo D).**

Las salidas de divisor de voltaje son utilizadas para monitorear las salidas de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje como +22, -22, +8 y -8V. Cada circuito de salida consiste en un divisor de voltaje resistivo con un diodo transzorb para protección de

sobrevoltaje y un capacitor bypass en la entrada. Estas salidas del monitor de voltaje aparecen en TB2, terminales 35 a 38, y todas están con respecto a tierra (ver figura 2.4.8).

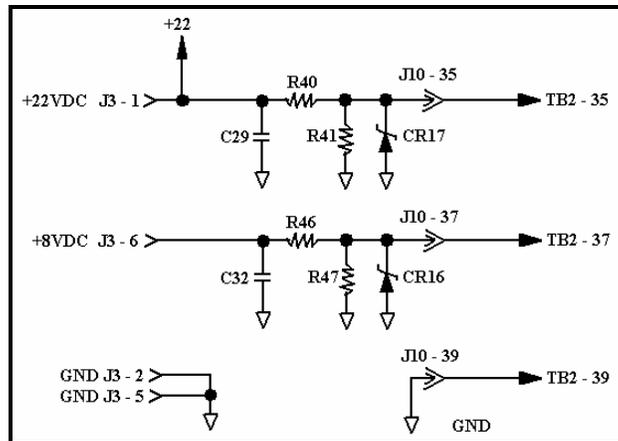


FIGURA 2.4.8 Circuito de Salidas de Divisor de Voltaje.

La salida de los cuatro divisores de voltaje será de 3.4V cuando el voltaje de entrada está en su valor nominal (+22 o +8V), y no hay carga, o con una carga de alta impedancia en el divisor de voltaje. La salida del monitor de voltaje es nominalmente +3.4V para alimentaciones de +22 y +8V y de -3.4V para alimentaciones de -22 y -8V.

- **Salidas Separadas por un Amplificador Operacional (Tipo E).**

Existen seis diferentes parámetros usando éste tipo de salida del monitor de voltaje:

- Potencia Directa
- Potencia Reflejada
- Corriente de Alimentación
- Voltaje de Alimentación
- Transmisión RF (Estimada)
- VSWR de la Antena
- Filtro Paso Banda para el VSWR

La Potencia Directa, Corriente de Alimentación y salidas de Voltaje de Alimentación serán nominalmente de 3.4V cuando el Transmisor este operando con una potencia de salida a 10KW. Estos niveles de salida son determinados por muestras de circuitos en otras partes del Transmisor.

Cada señal análoga de la salida de monitor es separada por una sección de diferentes amplificadores operacionales (cada OPAM tiene dos secciones) configurados como seguidores de voltaje de ganancia 1. La impedancia en la terminal de salida del opam es muy baja, de forma que la impedancia de salida del monitor de voltaje es de 2000 ohms (determinada por dos resistencias en serie con la salida).

3d) Entrada de Audio.

La Tarjeta Terminal de la Entrada de Audio, TB3, se localiza en la Tarjeta de Interfase Externa, donde TB3, terminales 2 y 3, son para una entrada de audio balanceada de 600Ω y la terminal TB3-1 se conecta a la tierra física del gabinete en el Transmisor.

Un diodo zener bipolar (CR30 y CR31) de cada lado de la entrada de audio balanceada a tierra proporciona protección contra sobrevoltaje y el cable de interconexión va de J11 a la Tarjeta de Entrada Analógica (ver figura 2.4.9). Los niveles de la Entrada de Audio para una modulación al 100% son ajustables, desde -10 a +10 dBm (a 600Ω) y se ajustan en la Tarjeta de Entrada Analógica.

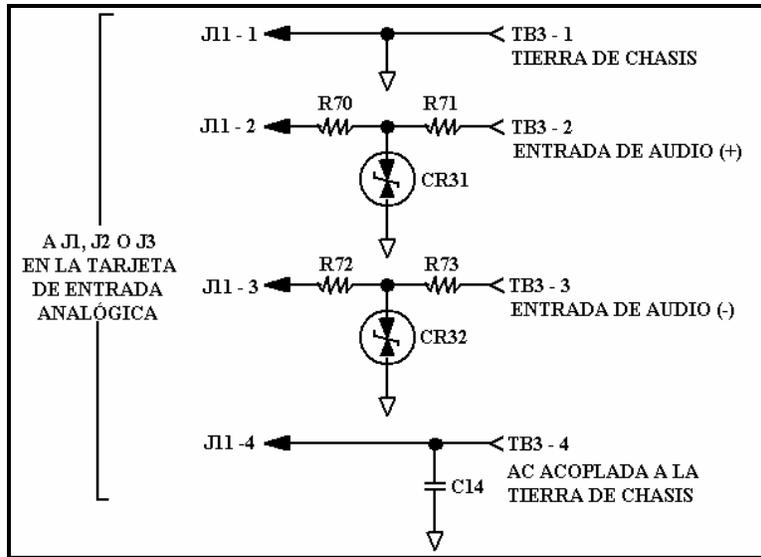


FIGURA 2.4.9 Circuito de la Entrada de Audio.

3e) Alimentación en la Tarjeta de Interfase Externa.

Cuatro voltajes dc llegan de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje, de los cuales, los voltajes tales como +8 y -8V se utilizan sólo para las salidas de monitoreo externo y los voltajes de +22 y -22V son también utilizados para éstas salidas pero en adición, son regulados a +15 y -15V para circuitos en la Tarjeta de Interfase Externa y para voltajes de alimentación requeridos por la interacción externa.

2.5 Módulo de Alimentación.

Para que los circuitos de alimentación trabajen adecuadamente, se requieren de ciertos elementos y condiciones en la línea ac con diferentes formas de protección ante una posible falla; las maneras de protección que se manejan en el Transmisor son las siguientes.

- **Protección contra transitorios.**

Ocho *MOV's* idénticos o también llamados varistores, están montados en el Panel de Encendido por Pasos para absorber voltajes transitorios en las líneas ac de llegada. Dos, son utilizados en la alimentación monofásica y los seis restantes están dispuestos por pares y colocados a través de las líneas de alimentación trifásica y éstos tres pares a su vez, son puestos ya sea en serie ó paralelo, dependiendo de si se utiliza una configuración delta ó estrella.

- **Protección contra Sub-voltaje y Sobrevoltaje.**

No hay circuitos en específico para protección contra problemas de Sub-voltaje y Sobrevoltaje AC, pero otros circuitos del Transmisor protegen contra éstas condiciones, mediante el senso de las condiciones DC en la Fuente de Bajo o Alto Voltaje. Por ejemplo, la protección de sobrevoltaje dc de la Fuente de Alimentación del PA en la Tarjeta LED desconectará el Transmisor en caso de condiciones de sobrevoltaje.

- **Protección contra “Apagones Eléctricos o Brown-Out” y Pérdida de Fase.**

La circuitería en la Tarjeta LED proporciona protección contra la pérdida de fase o desbalance en la línea y en cualquier condición, se detectará y señalará una Falla de Alimentación. Un serio desbalance en la línea ocasionaría daño tanto al transformador como a los motores para la ventilación.

1.- Circuito de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje.

La Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje utiliza rectificadores de onda completa y arrollamientos con derivación para proporcionar cinco voltajes dc diferentes no regulados los cuales son: +8V, -8V, +22V, -22V y +30V. Todos los circuitos lógicos y otros más, excepto el Amplificador de Potencia RF (PA) y los módulos del Excitador de RF, operan con la alimentación de Bajo Voltaje. Para los siguientes párrafos ver figura 2.5.1.

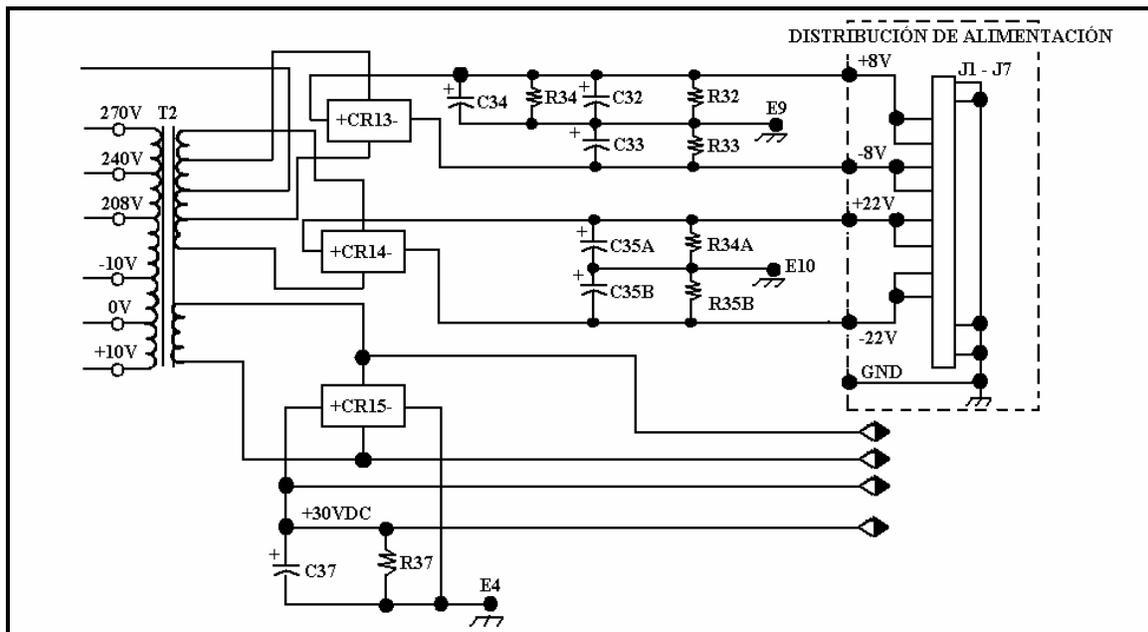


FIGURA 2.5.1 Circuito de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje.

Las salidas de Bajo Voltaje, +8 y +22V, son distribuidas a tarjetas individuales, donde reguladores de +5 y +15V junto con diodos zener, proporcionan los voltajes requeridos por los circuitos en las tarjetas. La salida de +30V opera el Amplificador Separador.

El transformador T2 es un transformador monofásico con derivación en el devanado primario para manejar diferentes voltajes de entrada. Unos interruptores magnetotérmicos, protegen la fuente contra fallas de alimentación, sobrecargas o cortocircuitos en la salida de la fuente.

El transformador T2 tiene dos devanados secundarios, uno de ellos provee 24V al puente rectificador CR15; la salida negativa del puente rectificador está aterrizada y la salida positiva es de +30V no filtrados. Una mitad del devanado también suministra 24Vac para los contactores de la Fuente de Alto Voltaje y circuitos de bloqueo; una parte de éste circuito de 24Vac es el tap central del devanado, el cual es también la salida de +30Vdc de la fuente.

El otro devanado secundario tiene derivaciones para proporcionar dos voltajes de salida diferentes, utilizando dos diferentes puentes rectificadores, CR13 y CR14. El tap central está aterrizado, de forma que cada puente rectificador “mas” la terminal proporcionan un voltaje de salida positivo y “menos” su terminal proporciona un voltaje negativo igual; CR13 proporciona +8V y CR14 provee +22V. Unos filtros capacitivos electrolíticos de valor grande son utilizados para todas las alimentaciones de Bajo Voltaje, donde cada capacitor tiene un resistor conectado a través de sus terminales para descargarlo cuando la Fuente se apague.

A la salida hay una Tarjeta de Distribución de Energía, que distribuye los voltajes de +8V y +22V a otras tarjetas del Transmisor, donde los únicos componentes de la Tarjeta de Distribución son siete conectores. Utilizando éste método de distribución de alimentación, una tierra común es controlada evitando las corrientes que circulan a tierra en el PA y circuitos de potencia.

2.- Circuito de la Fuente de Alimentación del PA.

La Fuente de Alimentación del PA es también conocida como la **Fuente de Alimentación Principal** ó **Fuente de Alto Voltaje**. Los contactores de la Fuente del PA, K1 y K2 en el Panel de Encendido por Pasos son excitados por los circuitos lógicos del Transmisor para proporcionar el Encendido por Pasos. Los contactos auxiliares de K1 y K2 operan la Palanca de Suministro del PA (Crowbar Circuit) para descargar la Fuente cuando ésta es apagada. El suministro de +230Vdc es el suministro principal del PA y también el

más grande. Para la descripción de éste circuito y referencias posteriores ver figura 2.5.2, para la explicación de los siguientes párrafos.

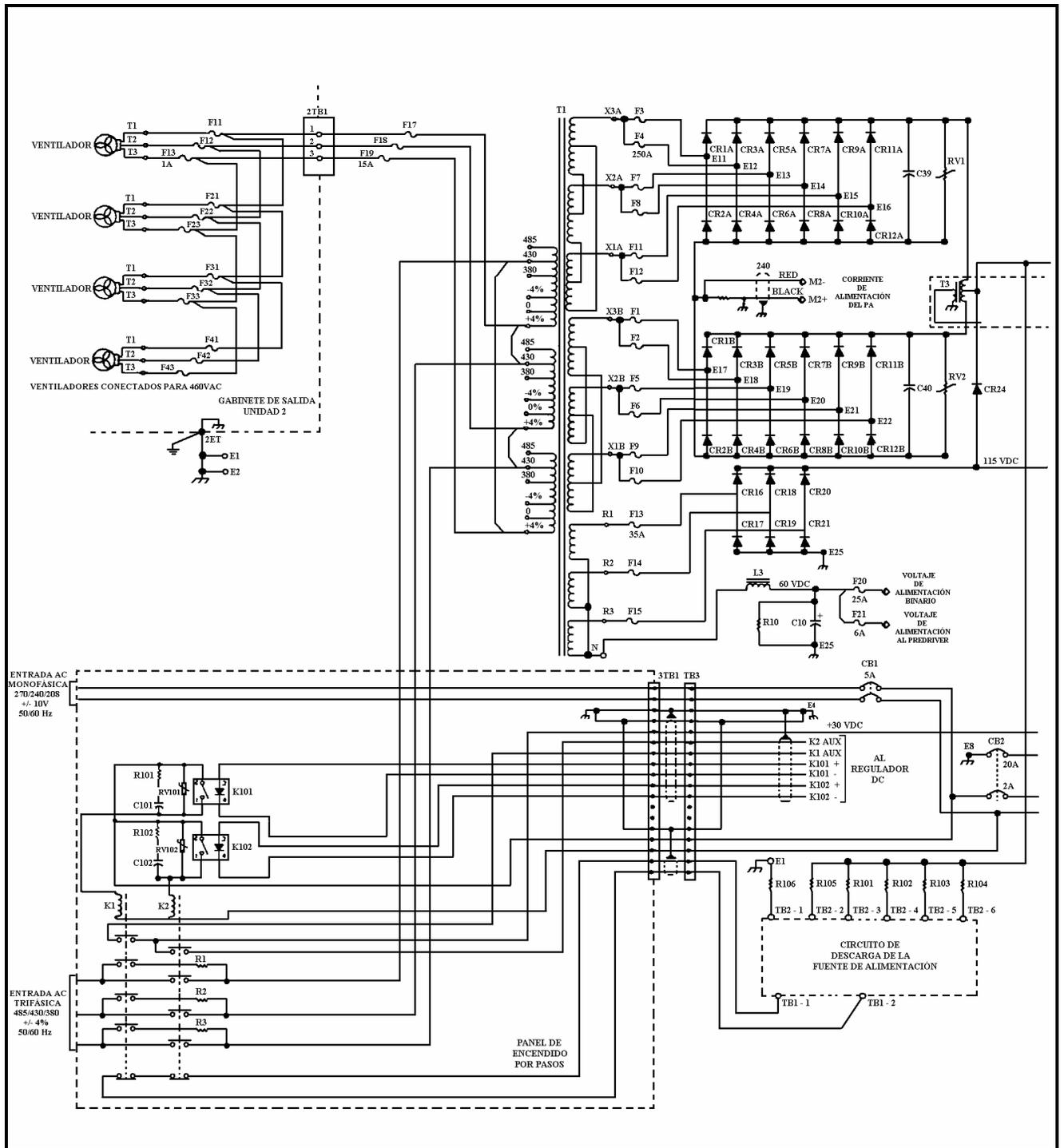


FIGURA 2.5.2 Circuito de la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje.

Algunas veces en otras descripciones de los circuitos del Transmisor, los voltajes del PA pueden también ser mencionados como **Voltaje Completo (+230Vdc)**, **Medio Voltaje (+115Vdc)** y **Un cuarto de Voltaje (60Vdc)**.

La Fuente de Alto Voltaje posee un Transformador trifásico (T1), en el cual, sus múltiples devanados en el primario permiten un rango de voltaje de entrada desde 360Vac a 505Vac. Tres juegos de devanados secundarios proveen la corriente ac para los ensambles rectificadores de +230Vdc y +115Vdc.

Las 12 fases de la alimentación de 230V se derivan de dos juegos de los secundarios cableados en una configuración delta y que operan en paralelo. Las salidas rectificadas de 6 fases, 230V, de Delta A y Delta B son combinadas a través del Transformador de Interfase T3. La salida de 230Vdc, 12 fases de T3, es alimentada al bus de distribución de 470 Amp en las Tarjetas de Protección o Fusibles, A y B *(El uso de un Transformador de Interfaz amplía los ángulos de conducción, lo cual reduce las pérdidas en el transformador de alimentación y rectificadores)*.

La corriente primaria para la Fuente del PA es aplicada a través de dos contactores: **1.** El Contactor de Encendido por Pasos, K1 y **2.** El Contactor de la Fuente Principal, K2, los cuales están montados en el Panel de Encendido por Pasos.

El ensamble rectificador de 12 fases, provee una salida dc con una pequeña componente de rizo a 12 veces la frecuencia de la corriente de línea lo cual es 720 Hz. La alta frecuencia de rizo reduce el filtrado de alimentación requerido. En una alimentación serie o paralelo, los dos secundarios del transformador están por fases 30° aparte uno respecto al otro, sin embargo, las componentes de rizo de 6 fases de cada salida de ensamble rectificador están 30° aparte. Cuando dos suministros se combinan, la frecuencia de rizo será del doble, proporcionando la frecuencia de rizo de 12 fases a una amplitud extremadamente reducida.

En el DX 50, se utilizó un suministro en paralelo para reducir los requerimientos de corriente pico de los rectificadores, puesto que la corriente dc pico en el DX 50 podría estar por arriba de 500 Amp en una condición de sobrecarga. Ya que cada ensamble rectificador proporciona la mitad de la potencia del PA, las corrientes pico también son reducidas por la mitad; para reducir las pérdidas térmicas en los rectificadores de manera que favorezca el mejoramiento de la eficiencia total del DX 50, el número total de rectificadores es duplicado en cada ensamble.

El tercer secundario de T1 es cableado en configuración estrella, para proporcionar la corriente ac, para la alimentación de +115Vdc. Éste alimenta el ensamble rectificador conformado por CR16 hasta CR21, donde la salida de CR16, CR18 y CR20 de +115Vdc, es enviada a la Tarjeta de Fusibles A, para tener protección por separado para el Excitador de RF y los Amplificadores o Escalones Binarios. El neutro de ésta configuración estrella es utilizado para proporcionar 57.5Vdc que son referidos como 60Vdc en el diagrama. La inductancia de 10 MHy, L3, y C10, proveen filtrado adicional para el rizo de 180Hz.

Los fusibles F1 y F2 protegen los devanados secundarios de T1 de un cortocircuito en los ensambles rectificadores “A” y “B” de +230V así como del bus de salida. F13, F14 y F15 protegen el tercer juego de devanados secundarios utilizados en las alimentaciones de +115V y +60V (figura 2.5.2).

2.6 Módulo de Salida.

La Red de Salida del Transmisor DX50 está conformada por el Filtro Paso Banda, la Red Adaptadora Pi y la Tarjeta del Monitor de Salida. Para referencia en la explicación del Filtro Paso Banda y la Red II, (ver figura 2.6.1).

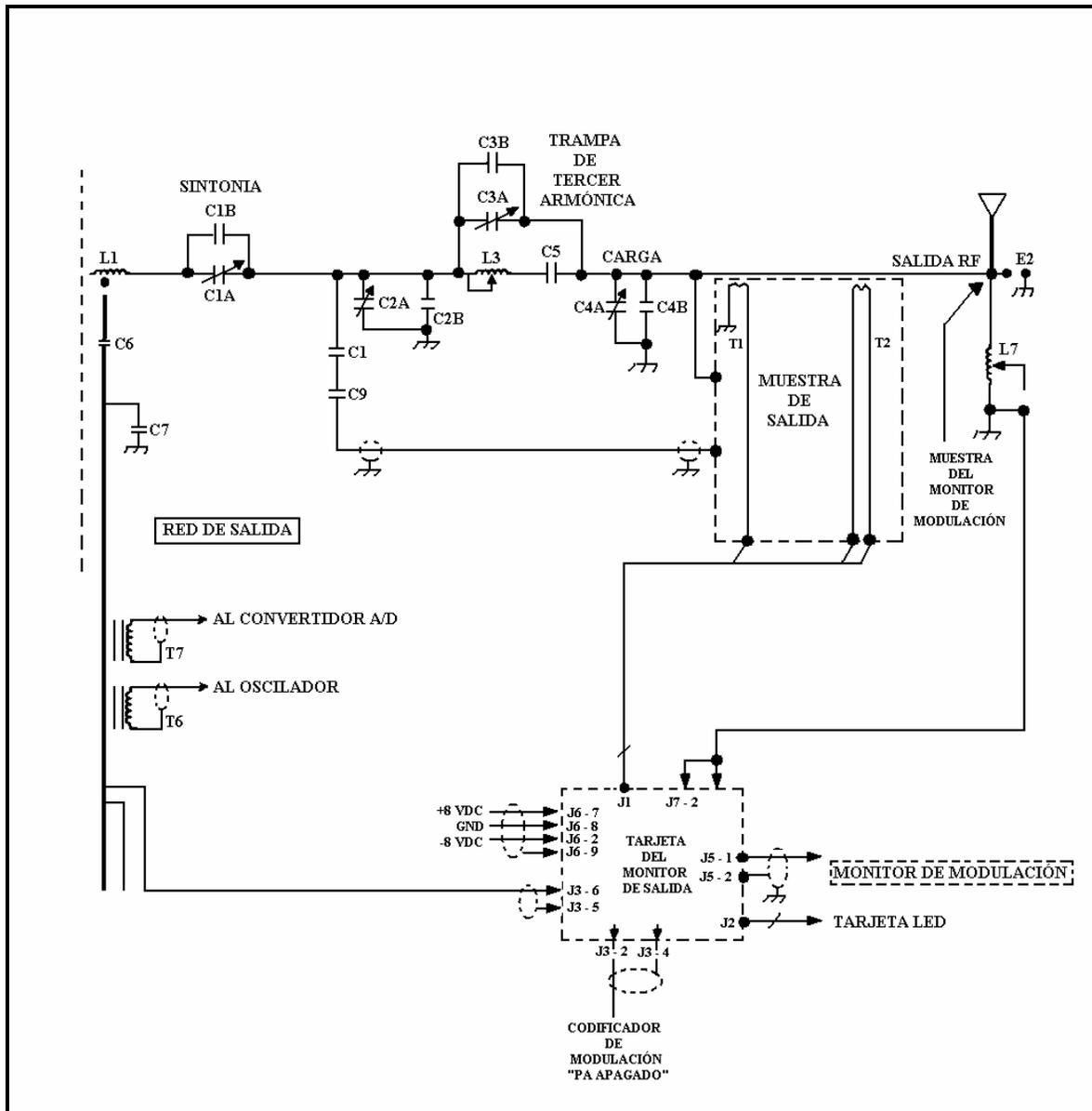


FIGURA 2.6.1 Diagrama de la Red de Salida.

1.- Filtro Paso Banda.

La Red de Salida/Filtro Paso Banda es tanto un filtro como una red adaptadora de impedancia (la impedancia de salida del Combinador PA es de aproximadamente 8Ω y es adaptada ó incrementada a cerca de 50Ω). La sección del Filtro Paso Banda de la Red de Salida consiste en L1, C1A, C1B, donde, en frecuencias de 1500 KHz y por encima de ésta, C6 es también parte del filtro. C1A es un capacitor variable al vacío y en el Transmisor es visto como el control **SINTONIA**.

El filtro Paso Banda también alisa los escalones pequeños que están presentes en la salida del PA (los escalones pequeños son el resultado de bandas laterales fuera del rango de audio frecuencia). Cualquier otra señal espúrea y armónica en la salida del PA será atenuada también por el Filtro Paso Banda. La calibración del Filtro Paso Banda es necesaria, para una correcta respuesta en frecuencia, lo que derivará en un óptimo desempeño del Transmisor.

2.- Red Adaptadora PI (II).

La Red Adaptadora II está formada por C2A, C2B, L3, C3A, C3B, C4A y C4B. C4A es un capacitor variable al vacío y en el Transmisor se identifica como el control **CARGA**, mientras que C2A y C2B comprenden una combinación de capacitores en paralelo para formar la primera parte de la red II. C3A/B y L3 se ajustan y sintonizan a $3f_c$. El circuito resonante paralelo proporciona más atenuación de la tercera armónica.

La Red Adaptadora tiene dos ajustes, ambos disponibles en el frente del Transmisor: uno etiquetado como TUNE (SINTONIA) y el otro como LOAD (CARGA), donde los ajustes pueden hacerse para obtener una lectura mínima en el multímetro del **Detector de Nulidad (Antena)**.

3.- Tarjeta del Monitor de Salida.

A la Tarjeta del Monitor de Salida la constituyen Detectores del Ángulo de Fase, un Acoplador Direccional para la Medición de Potencia y Circuitos de la Muestra del Monitor de Modulación. Las entradas de la alimentación dc a la Tarjeta del Monitor de Salida son de +8 y -8V que llegan de la Fuente de Bajo Voltaje. Para la siguiente explicación vea la figura 2.6.2.

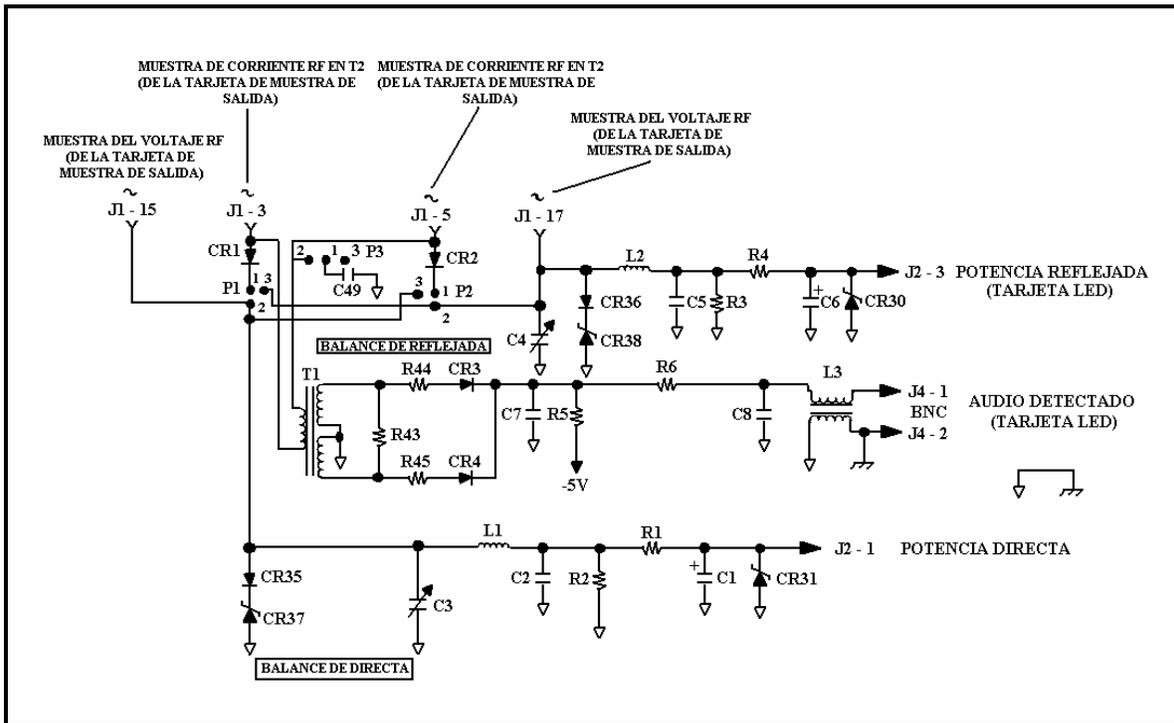


FIGURA 2.6.2 Circuito de la Tarjeta del Monitor de Salida.

Tal como se puede apreciar en la figura 2.6.2, la Tarjeta del Monitor de Salida, trabaja de la siguiente manera en cuanto a los Acopladores Direccionales se refiere; con lo que se tienen los siguientes elementos:

3a) Muestra de Corriente.

El conector jumper plug P3 se utiliza para ajustar una frecuencia determinada, donde una capacitancia es requerida en algunas frecuencias de operación para obtener nulidades de “cero” cuando se ajusten los Acopladores Direccionales.

3b) Acoplador de Potencia Directa.

El ajuste llamado **Balance Directo**, es hecho mediante C3 en la Tarjeta del Monitor de Salida, adapta la amplitud de la Muestra de Voltaje RF. Este ajuste de balance debe hacerse con el Acoplador “invertido”; los conectores P1 y P2 permiten invertir la fase de la Muestra de Corriente de forma que, el Acoplador de Directa lee la Potencia Reflejada y puede ser balanceado o estar nulo. La posición normal para los conectores es P1-1 a 2 y P2-1 a 2; la otra posición, P1-1 a 3 y P2-1 a 3, se utiliza cuando se balancea el Acoplador de Directa (cabe mencionar que los Acopladores deben ser balanceados sólo cuando la impedancia en el punto de la muestra es de 50Ω).

El diodo CR1 es el diodo del Acoplador de Directa, L1 es una bobina de choque RF que junto con C2 forman un filtro para eliminar componentes RF. El resistor R2 proporciona la impedancia de carga del Acoplador y el resistor en serie R1, aísla al Acoplador de alguna variación en la carga fuera de la tarjeta; el resistor R2 y el capacitor C1 también forman un filtro paso bajas para eliminar variaciones de audio frecuencia debido a la modulación en la salida del acoplador.

3c) Acoplador de Potencia Reflejada.

El Acoplador de Reflejada funciona de la misma forma que el Acoplador de Directa, excepto que la Muestra de Corriente está 180° fuera de fase que la usada por el Acoplador de Directa. Un capacitor variable C4 se utiliza para ajuste de balance, el filtro paso bajas formado por L2 y C5 eliminan la componente RF, R3 es la carga del Acoplador y R4 junto a C6 forman otro filtro paso bajas para eliminar componentes de audio frecuencia. R4

también aísla al Acoplador de variaciones de carga fuera de la Tarjeta del Monitor de Salida. Para el Acoplador de Potencia Reflejada, invirtiendo los conectores jumper P1 y P2, se cambia al Acoplador para leer la Potencia Directa para calibrar el Medidor de Potencia Reflejada.

Las salidas del Acoplador Direccional van a través de la Tarjeta LED a los seguidores de voltaje en la Tarjeta de Control. Las salidas del seguidor de voltaje excitan el medidor de potencia ubicado en el Panel de Medición/Tablero de Control y las salidas de potencia directa y reflejada en la Tarjeta de Interfase Externa. Los controles de calibración de la potencia directa y reflejada se localizan en el Panel de Medición/Tablero de Control.

3d) Muestra del Monitor de Modulación.

El circuito **Muestra del Monitor de Modulación** incluye dos relés y ciertos ajustes para proveer el mismo nivel de salida RF, al Monitor de Modulación, en los tres niveles de potencia del transmisor.

La entrada de la Muestra del Monitor de Modulación a éste circuito es tomada de un inductor ajustable con derivación (L7), en el compartimento de la Red de Salida. Los reóstatos R31 y 33 disminuyen el voltaje al nivel deseado (ver figura 2.6.3).

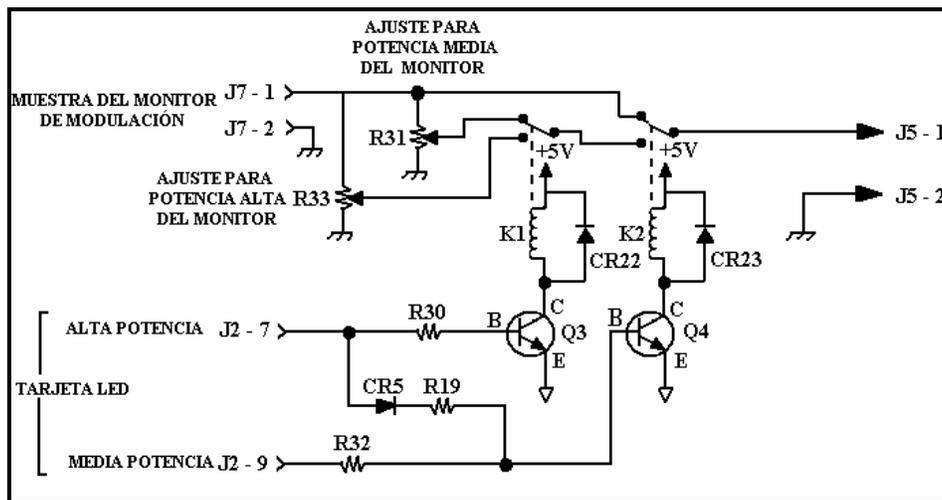


FIGURA 2.6.3 Circuito de la Muestra del Monitor de Modulación.

Cuando el relé K2 se energiza, la salida de la Muestra del Monitor de Modulación es tomada de R31, “**Ajuste para Media Potencia del Monitor**”, y cuando ambos relés K1 y K2 se energizan, la salida de la muestra es tomada de R33, “**Ajuste para Alta Potencia del Monitor**”. Las señales lógicas de los circuitos en la Tarjeta LED proporcionan señales lógicas Altas cuando el Transmisor está en Media ó Alta potencia; estas señales encienden el transistor Q4 para energizar el relé de bajo voltaje K2 (para media potencia) o ambos Q3 y Q4 para energizar ambos K1 y K2 (para alta potencia). El diodo compuerta CR5 aplica la señal lógica Alta **HI PWR** a la base de Q4 de forma que ambos, Q3 y Q4 conduzcan. Los resistores R19, R30 y R32 limitan la corriente de base del transistor.

Cuando Q3 y/o Q4 se apagan, los diodos CR22 y CR23 a través de las bobinas de los relés, previenen que la energía almacenada en las bobinas, produzcan un alto voltaje destructivo en el colector del transistor. El Monitor de Modulación debe tener una terminación de 50Ω para la línea de transmisión, que llegue de la salida de la Muestra del Monitor de Modulación del Transmisor, de otra forma, las ondas estacionarias en la línea de transmisión podrían ocasionar lecturas de nivel de modulación incorrectas.

3e) Detector del Angulo de Fase.

Los detectores son dos: Detector del Angulo de Fase del Filtro Paso Banda para el VSWR y el Detector del Angulo de Fase de la Antena; el detector de la Antena es también llamado **Detector del Angulo de Fase Externo** así como el VSWR de la Antena es llamado **VSWR de la Carga**. En cambio, el detector del filtro es llamado **Detector del Angulo de Fase Interno o Detector del Angulo de Fase del VSWR de la Red de Salida**. Para ésta explicación refiérase a la figura 2.6.4.

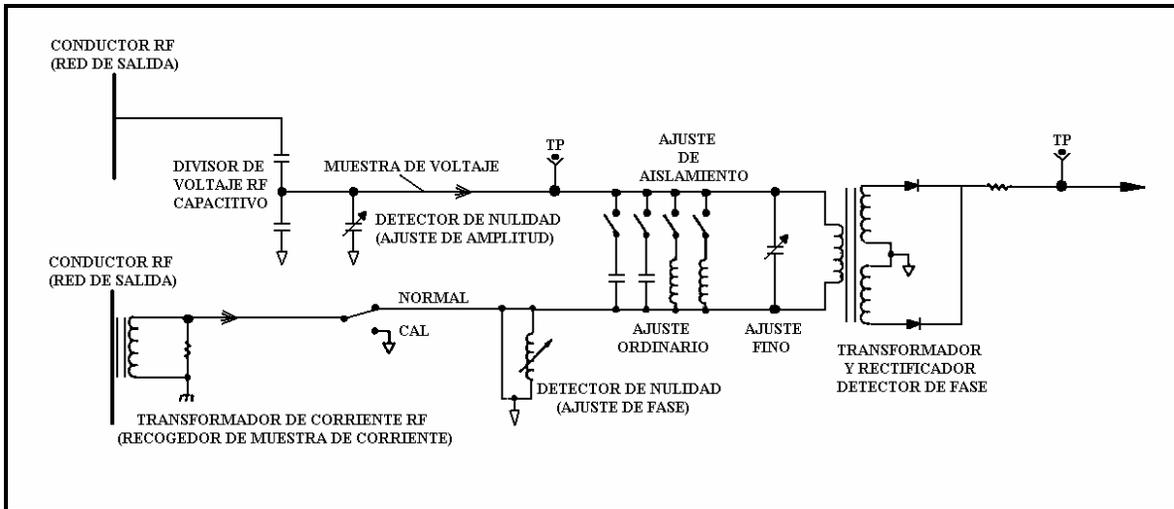


FIGURA 2.6.4 Diagrama Simplificado del Detector del Angulo de Fase.

Cuando una línea de transmisión tiene en su extremo una carga resistiva, el VSWR será 1.0 y tanto el voltaje como la corriente de la línea estarán en fase y tendrán amplitudes determinadas por la ley de Ohm ($R=E/I$). Si la resistencia de la carga cambia, la relación de amplitud voltaje / corriente cambiará, así como si la reactancia de la carga cambia, la relación de fase voltaje / corriente también cambiará. Los Detectores del Angulo de Fase utilizados en el Transmisor están equilibrados o “anulados” por las relaciones de fase y amplitud que existen cuando la Red de Salida es apropiadamente sintonizada y la impedancia de ésta, en el punto donde la Tarjeta de la Muestra de Salida se ubica, es exactamente $50 + j0$ ohms. Cualquier condición de VSWR ocasionará entonces, que la fase y/o amplitud de la corriente y voltaje RF cambie, produciendo un voltaje a la salida de uno o ambos Detectores del Angulo de Fase.

La **Muestra de Corriente** para el Detector del Angulo de Fase incluye un transformador de corriente con la barra ó tubo de cobre, llevando la corriente RF como el primario y un inductor con núcleo toroidal o de ferrita como el secundario. Los resistores están conectados a través del secundario para cargar el devanado y convertir la Muestra de Corriente en el devanado secundario a una Muestra de Voltaje para el Detector del Angulo de Fase. Así mismo, un divisor de voltaje capacitivo proporciona una **Muestra de Voltaje RF** para el Detector del Angulo de Fase.

De ésta manera, la Muestra de Voltaje RF y la Muestra de Corriente RF, son aplicadas a extremos opuestos del devanado primario del transformador toroidal RF del Detector del Angulo de Fase. Cuando las muestras están en fase y tienen las mismas amplitudes, no habrá flujo de corriente RF a través del transformador y si la fase y/o amplitud de cualquier muestra cambia, la corriente fluirá a través del devanado primario del transformador y un voltaje será inducido en el devanado secundario. Un rectificador de onda completa producirá un voltaje de salida dc en la salida del Detector del Angulo de Fase.

Para eliminar cualquier interacción entre las muestras de voltaje y corriente, el devanado primario es sintonizado a una resonancia en paralelo a la frecuencia de operación del Transmisor, proporcionando una alta impedancia entre las muestras. Capacitores e inductores seleccionados mediante interruptores, son utilizados para **Sintonía Ordinaria** y un capacitor variable es utilizado para **Sintonía Fina** en resonancia.

Un interruptor de dos posiciones llamadas **Normal** y **Cal** está provisto por conveniencia cuando el circuito primario del transformador esté en resonancia. Cuando el interruptor está en la posición “Cal”, la Muestra de Corriente se desconecta y mediante la Muestra de Voltaje se aplicará un voltaje RF a uno de los extremos del primario del transformador.

La amplitud de la Muestra de Voltaje RF se ajusta mediante un capacitor variable que forma parte de un divisor de voltaje capacitivo. La Muestra de Corriente aparece a través de un circuito L-C en paralelo; si se cambia el valor de la inductancia o capacitancia (o ambos), cambiará tanto la fase como la amplitud de la muestra. Con el Transmisor apropiadamente sintonizado, el detector está equilibrado mediante éstos ajustes hasta que los voltajes RF en extremos opuestos del primario del transformador del Detector del Angulo de Fase tengan la misma amplitud y estén en fase. Cuando el Detector está equilibrado, la salida dc del Detector debe ser también, esencialmente cero.

Las salidas del Detector del Angulo de Fase son voltajes dc, los cuales son medidos en el multímetro del Panel Frontal reconocidos como **DET NULL (ANT)** y **DET NULL (FILTER)**, Detector de Nulidad en Antena y Filtro, respectivamente. Estos voltajes están también disponibles en la Interfase Externa para una medición de tipo remoto.

Las indicaciones del Detector de Nulidad son lecturas relativas y cuando los detectores de fase son adecuadamente balanceados, ambos tendrán lecturas de cero. Una vez que el Transmisor está sintonizado, cualquier cambio en el Filtro Paso Banda ocasionará que la lectura del indicador DET NULL (FILTER) aumente, mientras que la lectura del DET NULL (ANT) aumenta si la carga en la salida del Transmisor cambia o si el Adaptador T (controles LOAD y TUNE) no están ajustados apropiadamente.

La salida de cada Detector del Angulo de Fase va a través de dos bobinas de RF, una para el Detector de VSWR de la Antena y una para el Detector de VSWR del Filtro Paso Banda, para después llegar a unos conectores. Las señales llegan a la Tarjeta LED y de ahí van a la Tarjeta de Control; en la Tarjeta de Control, dos seguidores de voltaje para cada salida del detector separan las señales y proporcionan salidas al Panel de Medición/Tablero de Control, así como a la Tarjeta de Interfase Externa.

3f) Tarjeta de la Muestra de Salida.

Dentro de la Tarjeta del Monitor de Salida se encuentra una subtarjeta llamada Tarjeta de la Muestra de Salida, que está formada por circuitos para la Muestra de Corriente y Voltaje que se utilizan para alimentar los Detectores del Ángulo de Fase para la Falla VSWR y los Acopladores Direccionales del Medidor de Potencia, de la Tarjeta del Monitor de Salida.

- **Muestra de Corriente:** La Muestra de Corriente para el Acoplador Direccional llega del transformador de corriente T2 (ver figura 2.6.1); el devanado primario del transformador de corriente es una barra de cobre en la Red de Salida. Unos resistores convierten la corriente en dos voltajes RF que están 180° fuera de fase uno del otro, y también cargan el devanado para prevenir los altos voltajes que podrían aparecer a través del devanado sin carga.
- **Muestra de Voltaje:** Las Muestras de Voltaje son tomadas de dos divisores capacitivos en la Tarjeta de la Muestra de Salida; uno de los divisores proporciona una Muestra de Voltaje RF para la salida del Acoplador de Directa, y el otro proporciona una Muestra de Voltaje RF para la salida del Acoplador de Reflejada.

2.7 Módulo de Ventilación.

Este módulo lo conforman los ventiladores así como la Tarjeta del Codificador Excitador/Sensor de Temperatura.

1.- Ventiladores.

Cuatro ventiladores se utilizan en el DX 50 para el enfriamiento del Transmisor, donde cada uno tiene un motor con potencia de 1/3 HP y voltaje trifásico doble. Los motores de los ventiladores están cableados para 460Vac (Alto Voltaje) y son activados al energizarse T1; la protección de cada motor se hace con fusibles de retardo de 1 Amp por fase, para asegurar una fuerte protección contra cualquier desbalance severo en la línea ac de alimentación, el cual dañaría los motores. Las derivaciones del primario de T1 también funcionan como un auto transformador para cuando la alimentación trifásica de línea de 105 KVA es más grande o menor que la tolerancia de $\pm 10\%$ del motor, es decir, $460\text{Vac} \pm 10\%$ a 60 Hz (ver figura 2.7.1).

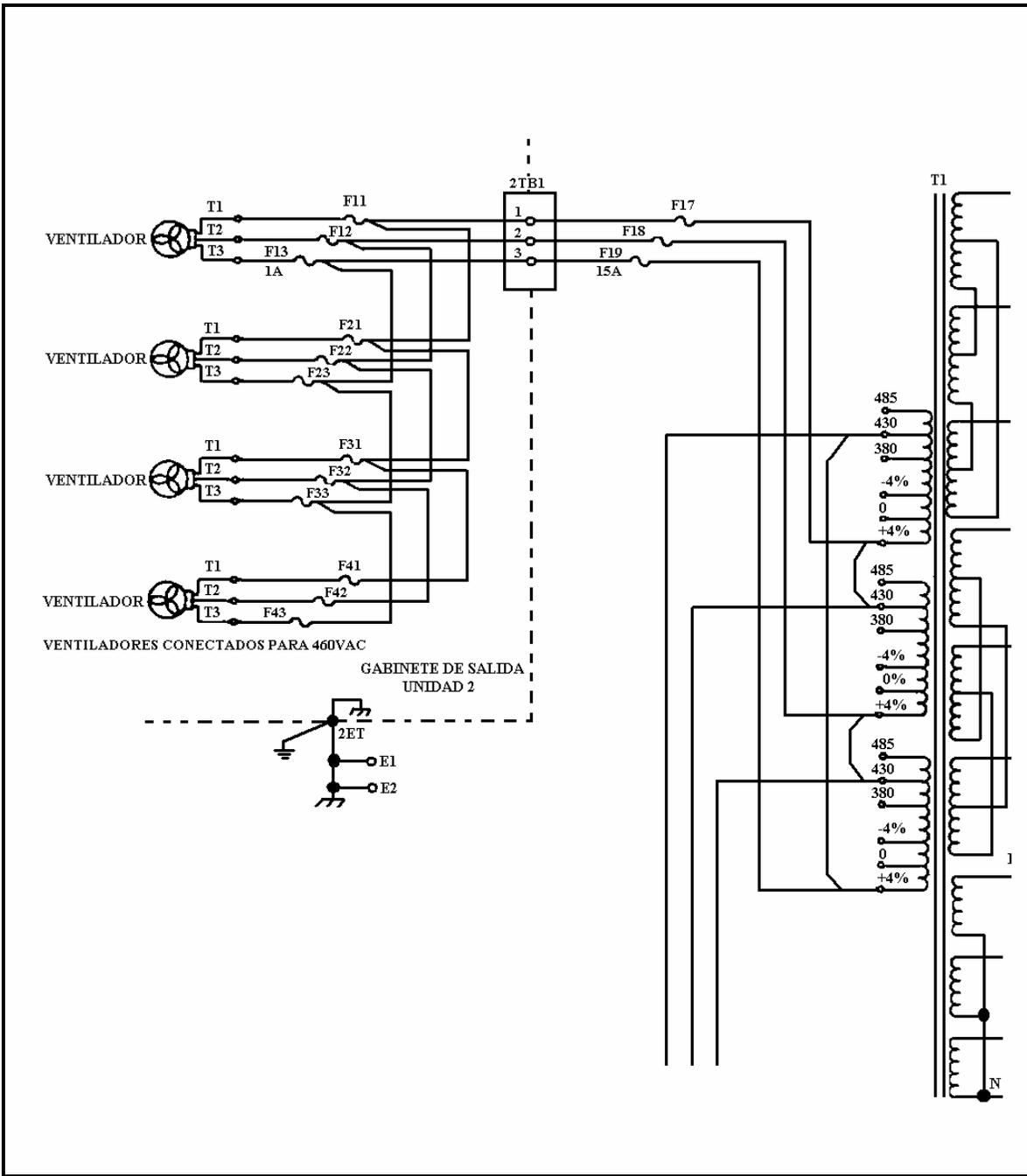


FIGURA 2.7.1 Circuito de la conexión de los ventiladores (lado izquierdo).

2.- Tarjeta del Codificador Excitador/Sensor de Temperatura.

2a) Control del Amplificador.

Operación con el jumper J5 en la posición "Auto".

1. Cuando el botón de *Baja*, *Media* o *Alta* potencia del transmisor es pulsado, una señal activa en nivel Bajo, de "encendido", se alimenta de la Tarjeta LED a la entrada de una compuerta NAND, la cual sale en nivel Alto de la misma y entra a los excitadores en línea U1-A, B, C y D, U2-A y en una entrada de U2-B. La conexión de los pares de transistores Q1-Q7, Q2-Q8, Q3-Q9, Q4-Q10, Q5-Q11 y Q6-Q12 proveen un voltaje positivo en el emisor de los transistores NPN cuando el voltaje de base es positivo ó un voltaje negativo en el emisor de los transistores PNP cuando el voltaje de base es negativo. Para referencias posteriores ver figura 2.7.2.

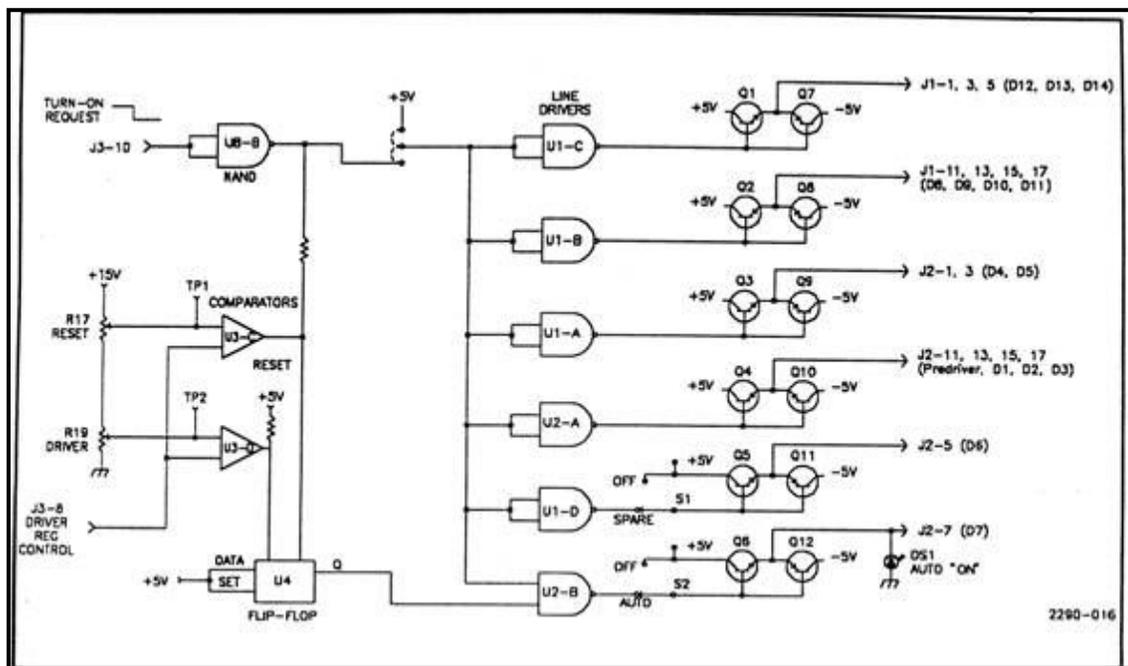


FIGURA 2.7.2 Diagrama a Bloques del Codificador de Temperatura.

Cuando las entradas a los excitadores en línea son Altas, las salidas son Bajas, lo cual significa un voltaje negativo en los emisores de los pares de transistores. Esta señal positiva o negativa es usada para encender o apagar, respectivamente, los amplificadores en la Tarjeta del Combinador Excitador. Los excitadores en línea U1-A, B, C y U2-A con su par asociado de transistores, controlan 13 de los 15 amplificadores, mientras que U1-D y U2-B controlan cada uno un amplificador sencillo.

2. Si el interruptor S1 está en la posición **Apagado (OFF)**, inhibirá el amplificador **Spare**, D6, de su operación.
3. Si el interruptor S2 está en la posición “Apagado (OFF)”, inhibirá el amplificador de reserva, D7, de encender. Con S2 en la posición **Automático (AUTO)**, el amplificador controlado por U2-B y el par de transistores asociado, encenderá automáticamente bajo condiciones inferiores del excitador PA y apagará automáticamente cuando la transmisión regresa a las condiciones preprogramadas.

2b) S2 en la posición Auto.

Cuando el nivel RF al PA es normal y dentro de la regulación del Regulador de Alimentación Excitador, y el amplificador excitador D8, D7 está apagado. Cuando ambas mitades del amplificador D8 están a salida completa y el nivel RF todavía no está a su nivel apropiado, D7 encenderá. Las salidas de D8A y D8B se reinyectarán y entonces continuarán regulando el nivel de excitación RF. La señal de control **+VDC** o **Voltaje de Referencia** usada en el Regulador de Alimentación Excitador es también enviada al Codificador Excitador y extraída en J3-8.

Los comparadores U3-C, U3-D y circuitos asociados, forman una ventana umbral para determinar cuando D7 esté encendido o cuando esté apagado. R19 fija el umbral límite de encendido mientras que R17 fija el de apagado.

La salida Q de U4-A “fijará” el encendido o el “rearme (reset)” de D7 y el apagado por medio de la circuitería de U2-B, S2, Q6 y la circuitería de Q7. Cuando S2 está en la posición “Apagado (OFF)”, D7 se apagará y no seguirá el nivel RF en conjunción con D8.

Normalmente la salida Q del flip-flop U4-A y la entrada en U2-B es Baja. Ya que la otra entrada de U2-B es Alto, la salida de U2-B será Alta resultando una señal excitadora de apagado del par asociado de transistores con U2-B. Sólo cuando ambas entradas a U2-B son altas, la salida de U2-B será baja y el amplificador D7 encenderá cuando S2 está en la posición **AUTO**.

2c) Sensor de Temperatura/Función de Reinyección de Potencia.

La función para la detección de temperatura es manejada por dos sensores de temperatura de precisión montados en los radiadores de los amplificadores de RF, RF1 y RF2 (llamados también escalones 1 y 2). Los voltajes de referencia de los sensores son ajustados por R50 y R51, separados por los OPAM's U9-A y U9-B, y amplificados por un factor de 10 por los OPAM's U10-A y U10-B. El voltaje de referencia para U10-A y U10-B es provisto por U9-C. La referencia para U9-C se obtiene del diodo zener CR7 y se ajusta en 2.73V en TP3 con el potenciómetro “CAL” R49.

El divisor de voltaje R60, R61, R62, R63 y R64 provee el voltaje de referencia en las terminales de entrada positivas de los comparadores U11-A a D, U3-A y U3-B. Un voltaje proporcional a la temperatura del **Sensor 1** se alimenta desde la salida del OPAM U10-A a las entradas negativas de los comparadores U11-A, U11-C Y U3-A provee un voltaje proporcional a la temperatura a J3-7 para monitoreo externo. Un voltaje proporcional a la temperatura del **Sensor 2** se alimenta desde la salida del OPAM U10-B a las entradas negativas de los comparadores U11-B, U11-D y U3-B (ver figura 2.7.3).

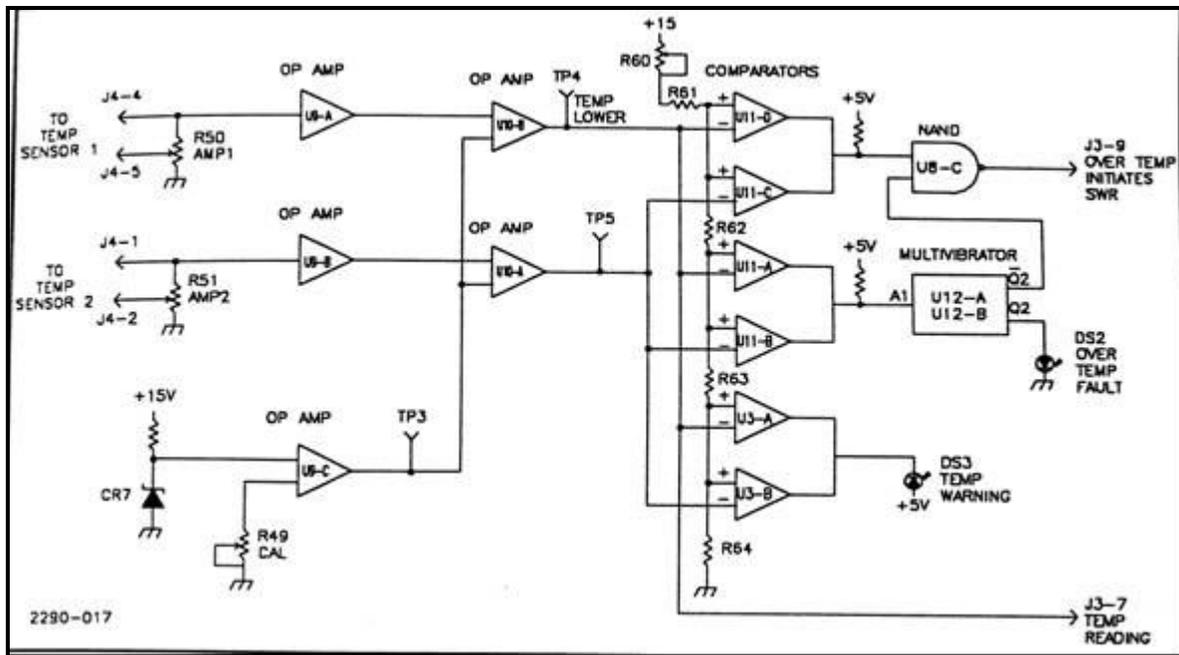


FIGURA 2.7.3 Diagrama a Bloques para la Reinyección de Potencia.

Cuando la temperatura del Sensor 1 comience a incrementarse, el voltaje en la entrada de las entradas negativas de U11-A, U11-D y U3-A empezará a aumentar y debido a la acción del divisor de voltaje de referencia, la salida de U3-A será Baja, el led DS3 se encenderá e indicará una advertencia de temperatura. Si la temperatura del sensor continúa elevándose, la salida de U11-A irá a Bajo causando que la entrada A1 del multivibrador U12-A sea negativa, la cual activará el multivibrador para bascular la salida Q2 (negada) y Q2 de U12-B en Alto y Bajo.

Cada vez que la salida Q2 es Alta, el led DS2 se encenderá indicando que la reducción de potencia está en proceso; en éste punto una entrada a la compuerta NAND U8-C es retenida en Alto por U11-D mientras la otra entrada bascula de Alto a Bajo. Cada vez que la entrada Q2 (negada) está en Bajo, la salida de U8-C estará en Alto, llegando a J3-9, donde es utilizado para bajar lentamente la potencia del transmisor hasta que la temperatura apropiada de operación se alcance; si, no obstante, la temperatura continua elevándose inclusive aunque la reinyección de potencia tome su lugar, la salida de U11-D estará en Bajo y proveerá una señal continua en Bajo (a menos que la temperatura sea bajada) a U8-C.

Esta acción ocasionará que la salida de U8-C esté en Alto en J3-9 y causará que la potencia en el transmisor se reduzca rápidamente, pero conforme la temperatura baje, la señal en J3-9 cambiará de un estado continuo Alto a un pulsante Alto-Bajo, a un estado continuo de nivel Bajo y si la temperatura continua bajando, DS3 se apagará.

En condiciones donde el flujo de aire a través del Transmisor es normal pero a causa de un incremento en la temperatura ambiente por encima de 50°C o que el Transmisor sea resintonizado, los Amplificadores RF pueden sobredisiparse. Mediante dos pruebas a los radiadores de los amplificadores, se mide la temperatura en ellos, mediante los circuitos de la Tarjeta A19 los cuales envían una señal de comando de potencia llamado *Disminuir* a la Tarjeta LED, si la temperatura sube por encima del umbral prefijado. La cantidad de la reducción de potencia se determinaría midiendo que tan caliente es el aire del ambiente o que tan severa es la sobredisipación. Conforme la potencia sea reducida, la temperatura del radiador disminuirá hasta que esté por debajo del umbral del circuito sensor, al mismo tiempo que el comando *Disminuir* es borrado.

TEMA 3.- INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO.

3.1 Introducción.

La instalación del Transmisor comprende varias etapas, desde su colocación en el edificio de transmisión hasta las diferentes conexiones que se deben realizar para el correcto funcionamiento del mismo, tales como: el Sistema de Aire, la Alimentación, el Control Remoto, la Antena, las Interfases, la Barra de Salida y la Barra de Tierra; los cuales serán detallados posteriormente.

Para poder realizar una instalación eficiente, se debe contar con una buena preparación y planeación del proyecto de instalación, donde se delimitará: el área que ocupará el Transmisor en el edificio de transmisión, el tipo de alimentación eléctrica que necesita, el equipo necesario para mover el Transmisor, la herramienta requerida y el equipo de trabajo para la instalación. Lo anterior, es recomendable hacerlo por escrito a manera de bitácora, para que de ésta manera se facilite todo el proceso de instalación y se lleve un orden preciso de la misma.

Habiendo instalado el Transmisor, se debe poner en marcha, es decir, se pone en funcionamiento para poder comenzar a transmitir, pero para llevar a cabo éste proceso se deben calibrar y revisar varios elementos del Transmisor, así como adaptar todos los módulos del Transmisor para las conexiones de los equipos tanto de medición como de control que se agreguen al equipo.

Los procesos para la puesta en marcha del Transmisor deben desarrollarse tal y como lo detalla el manual del mismo, puesto que existen elementos de alta sensibilidad que pueden dañarse por un mal manejo, por lo que, se puede decir, que la puesta en marcha consta a su vez de varias etapas de revisión y algunas de ellas con subetapas de revisión, canalizadas en conjunto a la revisión global del funcionamiento módulo por módulo del Transmisor, para de ésta forma obtener el mejor rendimiento posible del Transmisor.

3.2 Instalación.

El Transmisor se entrega montado en plataformas y para su manipulación debe hacerse uso de un equipo capaz de sostener un peso de 1,320 Kg tomando las medidas necesarias para prevenir accidentes del personal o algún daño al Transmisor.

Si el Transmisor se almacena, se debe hacer en un lugar cerrado, seco y limpio, junto con todas las unidades que lo componen dispuestas en cajas de cartón, teniendo un cuidado especial con las partes delicadas. Cuando se desempaca el Transmisor, se inspecciona a fondo por cualquier daño hecho en el embarque, así como también se revisa que todas las partes empacadas por separado estén completas.

El DX 50 está formado por el Gabinete del PA, compuesto por tres compartimientos que son: el Compartimiento de Control Izquierdo, el Compartimiento de Control Central y el Compartimiento de Control Excitador; el Gabinete de la Red de Salida y el Panel de Encendido por Pasos. Los Gabinetes, tanto del PA como de la Red de Salida están unidos directamente por pernos, por lo que no requieren de un posicionamiento ó nivelación (ver figura 3.2.1).

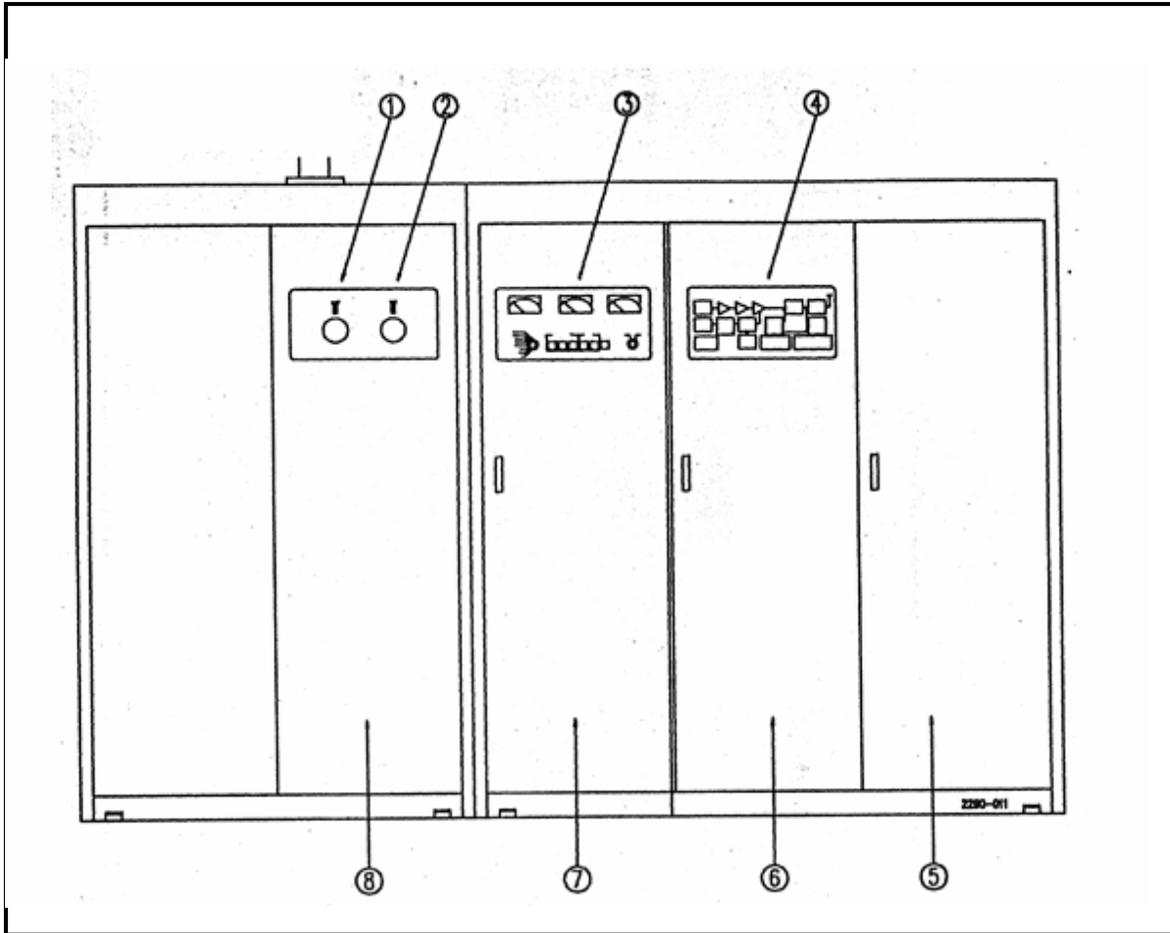


FIGURA 3.2.1 Composición del Transmisor de AM modelo Harris DX 50, donde las partes señaladas corresponden a los siguientes elementos: (1) Control de la Carga, que se utiliza para adaptar la carga a la impedancia del Transmisor de 50 ohms; (2) Control de Sintonía; (3) Panel de Medición / Tablero de Control; (4) Panel de Estado; (5) Compartimiento de Control Excitador; (6) Compartimiento de Control Central; (7) Compartimiento de Control Izquierdo; (8) Compartimiento de la Red de Salida.

Dependiendo de la altura de las puertas en el lugar donde se ubicará el Transmisor, los gabinetes quizá tengan que removerse de las tarimas sobre las que están; también la barra y cubierta que están sobre el Gabinete del PA, tendrían que quitarse y volverse a colocar después, si el problema de altura no se resolviera.

Por lo anterior se deben considerar las dimensiones del Transmisor que son: 3.048m de largo, 1.981m de altura y 83.82cm de ancho, con lo cual se contemplará mejor el espacio que ocupará el Transmisor.

En caso de separar los gabinetes, se coloca primero el Gabinete del PA y después se coloca el Gabinete de la Red de Salida junto a éste, teniendo cuidado con el ventilador expuesto en el Gabinete de la Red de Salida. Se debe revisar que ninguno de los cables de interconexión esté expuesto mientras se posicionan los gabinetes. Al final se deben nivelar los gabinetes antes de unirlos nuevamente con los pernos. Si el Transmisor se va a colocar junto a una pared con abertura, se deben tomar en cuenta las aspas del ventilador del Gabinete de la Red de Salida y cualquier nivelación requerida.

3.2.1 Transmisión.

Para llevar a cabo la transmisión de la señal de AM, primero debe tratarse la señal de audio a ser transmitida, lo cual se hace desde el edificio de transmisión, en una cabina de transmisión, en donde se encuentra una consola de audio, la cual se encarga de procesar la señal de audio y adecuarla antes de ser enviada al Transmisor ubicado en la Planta Transmisora. El proceso que se lleva a cabo se representa en la figura 3.2.1.1:

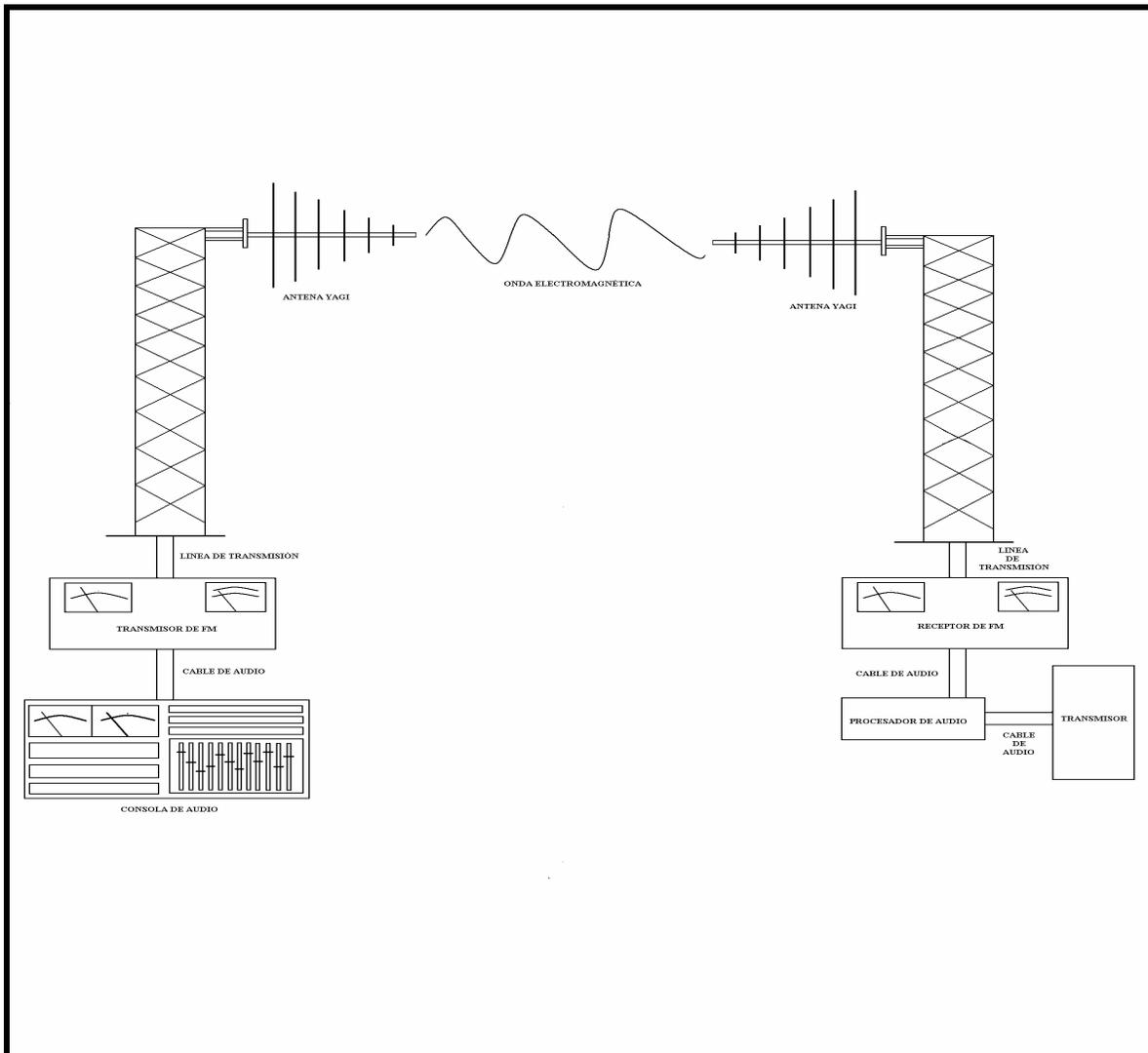


FIGURA 3.2.1.1 Elementos que conforman la transmisión de la señal desde el Edificio de Transmisión hasta la Planta Transmisora.

De acuerdo a la figura anterior, dentro del proceso se manejan los siguientes elementos:

1. La señal de audio es procesada en la cabina de transmisión mediante una consola de audio, donde se envía la señal con un nivel de audio adecuado hacia el Transmisor de Enlace. Antes de llegar al Transmisor de Enlace, la señal de audio pasa por una línea de transmisión, que en éste caso es un cable de audio de dos conductores, blindado, y con impedancia de 600 ohms.
2. El Transmisor de Enlace, es un transmisor tipo STL-20M (mono), que maneja un rango de frecuencia entre 200 – 240 MHz y 20 W de potencia; maneja una impedancia de entrada de 600 ohms y una de salida de 50 ohms. Se alimenta con 110 Vac – 60 Hz y es el encargado de enviar la señal hacia la Planta Transmisora, modulando la señal de audio en frecuencia (FM); a continuación la señal pasa por una línea de transmisión, la cual, es una línea coaxial de 1/2" – 50 ohms con dieléctrico de aire, que maneja una frecuencia máxima de 10.9 GHz, porcentaje de velocidad de 91.4 %, potencia pico de 21 KW y atenuación de .222 dB/100 m.
3. El último elemento de transmisión, es la Antena, la cual es de tipo Yagi de 6 elementos con polarización vertical ubicada en una torre de 86 m y que tiene una ganancia de 10 dB e impedancia de entrada de 50 ohms.

Después de que la Antena de Enlace irradia la señal del Edificio de Transmisión, ésta llega a la Antena Receptora de Enlace, la cual tiene las mismas características de la de Transmisión, pero instalada en una torre de 26 m. La línea coaxial entre ésta antena y el receptor tiene las mismas características mencionadas en la que está del lado de transmisión y la línea que va del receptor a un procesador de audio y de éste al Transmisor principal es del mismo tipo que el cable de audio que va de la consola al Transmisor de Enlace.

4. El Receptor de Enlace, es un receptor STL modelo SR-20M, que maneja un rango de frecuencia de 215 – 265 MHz , tiene una impedancia de entrada de 50 ohms, un nivel de salida de -10 a +11 dBm y una impedancia de salida balanceada de 600 ohms.

5. El Receptor de Enlace se conecta a un Procesador de Audio, el cual adecua los niveles de la señal de audio a unos del tipo correcto antes de ingresar al Transmisor. Las características que maneja son: configuración para canal izquierdo y derecho, impedancia de salida de 600 ohms con conector supresor de Interferencia Electromagnética, con siglas en inglés “EMI (Electromagnetic Interference)” en la salida. La salida del Procesador de Audio, se conecta al Transmisor principal, en el conector que indica una impedancia de 600 ohms (tal como se describe en el Capítulo 2 de éste trabajo).

3.2.2 Sistema de Aire.

El aire para el enfriamiento del Transmisor entra por la parte trasera del Gabinete de la Red de Salida, proveniente del exterior y se extrae por medio de un ducto de escape ubicado en la parte superior del Gabinete del PA. El volumen de aire que maneja el Transmisor en cada uno de los compartimientos es el siguiente:

- En el Gabinete del PA se maneja un volumen total de 3.04 m³.
- En el Gabinete de la Red de Salida se maneja un volumen total de 2.02 m³.
- En el Panel de Encendido por Pasos se maneja un volumen total de 0.28 m³.

Además de lo antes expuesto, también cabe destacar el flujo del aire de convección forzado a través del Transmisor, el cual corresponde a 4000 CFM o (ft³ / min) con respecto a la frecuencia de alimentación AC de 60 Hz.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores de la disipación térmica total del Transmisor bajo diferentes condiciones y niveles de potencia (ver tabla 3.2.2.1).

DISIPACIÓN TÉRMICA TOTAL		
POTENCIA DE SALIDA	CON EFICIENCIA TOTAL DE 83% Y MODULACIÓN DE ONDA SENOIDAL DEL 100%	CON UN FACTOR DE MODULACIÓN DE 1.25
55 KW	16,900 W	14,100 W
60 KW	18,450 W	
* La radiación de calor del gabinete es de 10% o menos de la disipación total.		
* La temperatura del aire de entrada no debe exceder 50°C al nivel del mar. Reducir 2°C por cada 304.8 m de elevación.		

TABLA 3.2.2.1 En la tabla pueden observarse los valores de la Disipación Térmica así como algunas consideraciones sobre radiación y temperatura del aire de entrada al equipo.

El ducto de escape que se utiliza tiene una presión estática neutral ó ligeramente negativa al igual que la entrada de aire en la parte trasera del Transmisor aunque ésta puede ser ligeramente positiva. La medida del borde frontal del Transmisor a la abertura de extracción es de únicamente 5.84 mm, la cual es una consideración importante si hay una pared al frente del Transmisor (ver figura 3.2.2.1).

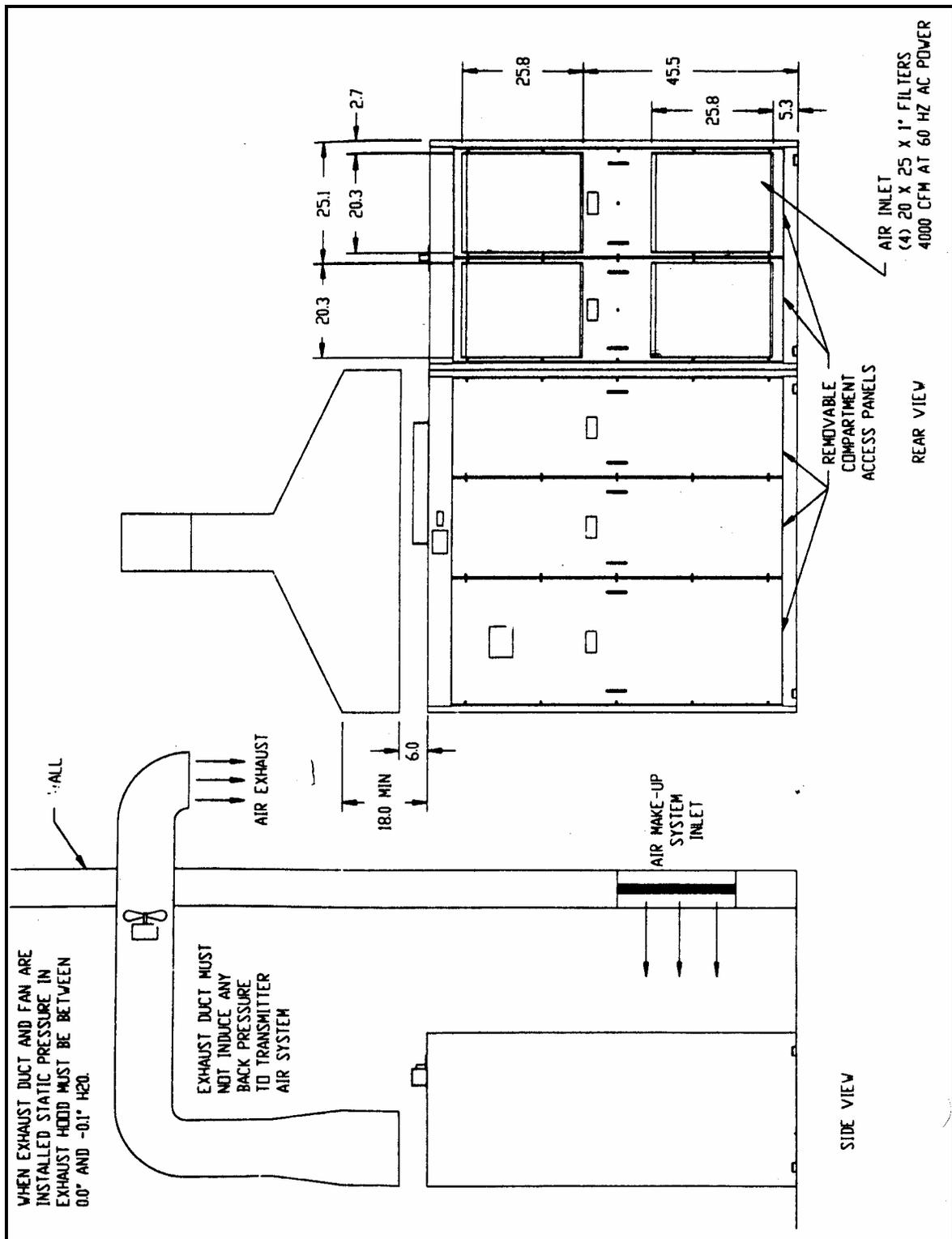


FIGURA 3.2.2.1 En ésta figura se muestra la forma de instalación del ducto de escape de aire, donde se pueden observar los datos con respecto al flujo de aire, dimensiones del ducto y ubicación del Transmisor con respecto a la entrada principal de aire en la pared de la Planta Transmisora (Air Make – Up Sistem Inlet).

3.2.3 Alimentación.

Hay dos alimentaciones de AC que necesita el Transmisor: una trifásica de 105 KVA con entrada balanceada para T1, el cual es el transformador de alimentación del PA, y una monofásica de 1 KVA para T2, el cual es el transformador para la alimentación de bajo voltaje; por lo anterior, se contrata un servicio trifásico, utilizando una subestación que se alimenta con 13 KV y entrega un voltaje de 380V, manejando una potencia aparente de 150 KVA.

Dado que la subestación maneja una conexión Delta – Estrella, esto permite que para obtener los voltajes que necesita el Transmisor, se utilicen cuatro hilos de la conexión estrella, de donde se utilizará una fase y el hilo de neutro para la alimentación monofásica y así mismo, tres hilos para la alimentación trifásica. De ésta manera el voltaje para T1, será un voltaje trifásico de 380 V a 3 hilos y frecuencia de 60 Hz y el voltaje de entrada a T2, será un voltaje monofásico de 220V y frecuencia de 60 Hz. Para ambos casos, el transmisor admite una variación de la alimentación de $\pm 5\%$. Adicionalmente y debido a que es vital que el Transmisor se mantenga trabajando sin interrupciones, se utiliza una Planta de Emergencia tipo diesel de 135 KW (169 KVA) / 60 Hz, que alimentará al Transmisor y a toda la Planta si hubiese una falla en el suministro.

El Panel de Encendido por Pasos es aquel que se encarga de distribuir la alimentación tanto trifásica como monofásica y llevar a cabo precisamente, el Encendido por Pasos. El Panel está diseñado para montarse en la pared y se debe colocar tan cerca como sea posible del Gabinete del PA, su colocación debe hacerse verticalmente y puede sujetarse a una estructura especial.

La interconexión eléctrica entre el Panel de Encendido por Pasos y el Gabinete del PA, debe hacerse utilizando tubo conduit hacia la parte alta del Transmisor, utilizando tres tendidas: una para la alimentación trifásica de 105 KVA, una para la alimentación monofásica de 1 KVA y una para los cables de control del Encendido por Pasos (ver figura 3.2.3.1).

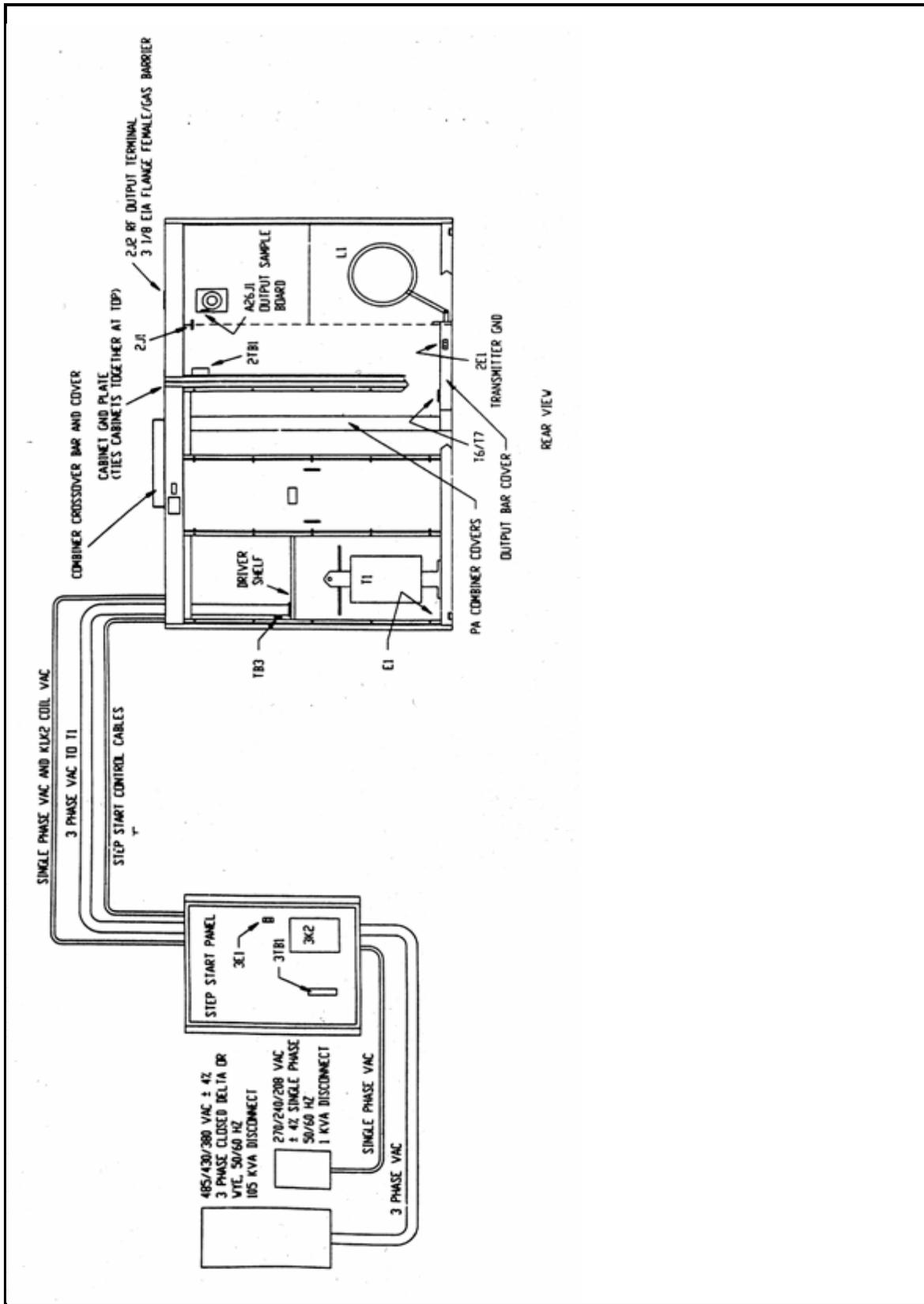


FIGURA 3.2.3.1 Estructura del conexionado entre el Panel de Encendido por Pasos y el Transmisor.

Como se puede observar en la figura anterior, el Panel de Encendido por Pasos cuenta con dos desconexiones principales, una de ellas para la alimentación trifásica (3 Phase Disconnect) y otra para la monofásica (Single Phase Disconnect); el interruptor de desconexión de la alimentación trifásica, es un interruptor en caja moldeada con las siguientes características:

- Alta capacidad de interrupción.
- Marco “F” (250A).
- 3 Polos.
- Tensión de operación de 600 Vca.
- Capacidad de 200A.
- Unidad de disparo termo magnética.

El interruptor de desconexión de la alimentación monofásica, también es un interruptor en caja moldeada, que posee las siguientes características:

- Capacidad de interrupción normal.
- Marco “E” (160A).
- 2 Polos.
- Tensión de operación de 240Vca.
- Capacidad de 100A.
- Unidad de disparo termo magnética.

Para la alimentación trifásica se pueden utilizar, de acuerdo a las tablas de CONDUMEX, conductores calibre 3/0 con capacidad de corriente de 165A tipo THWN para temperatura máxima de 60°C y para la alimentación monofásica, se pueden utilizar conductores calibre 14 con capacidad de corriente de 15A para la misma temperatura y del mismo tipo de los conductores para la alimentación trifásica. El tubo conduit a utilizarse, de acuerdo a tablas de CONDUMEX, es de 38mm (1 1/2") de diámetro para la alimentación trifásica y de 13mm (1/2") de diámetro para la alimentación monofásica.

Las conexiones al transformador T1 son hechas en delta cerrada y se colocan en el tap correspondiente del mismo, dependiendo del voltaje de línea (en éste caso de 380 V), que de acuerdo al manual, cada fase se conecta al tap de 380 y cada fase de los ventiladores va al tap de 485 (ver figura 3.2.3.2). Las conexiones para el transformador de bajo voltaje (T2) son hechas en base a la serigrafía en la puerta del Compartimiento de Control Izquierdo y la información en el transformador.

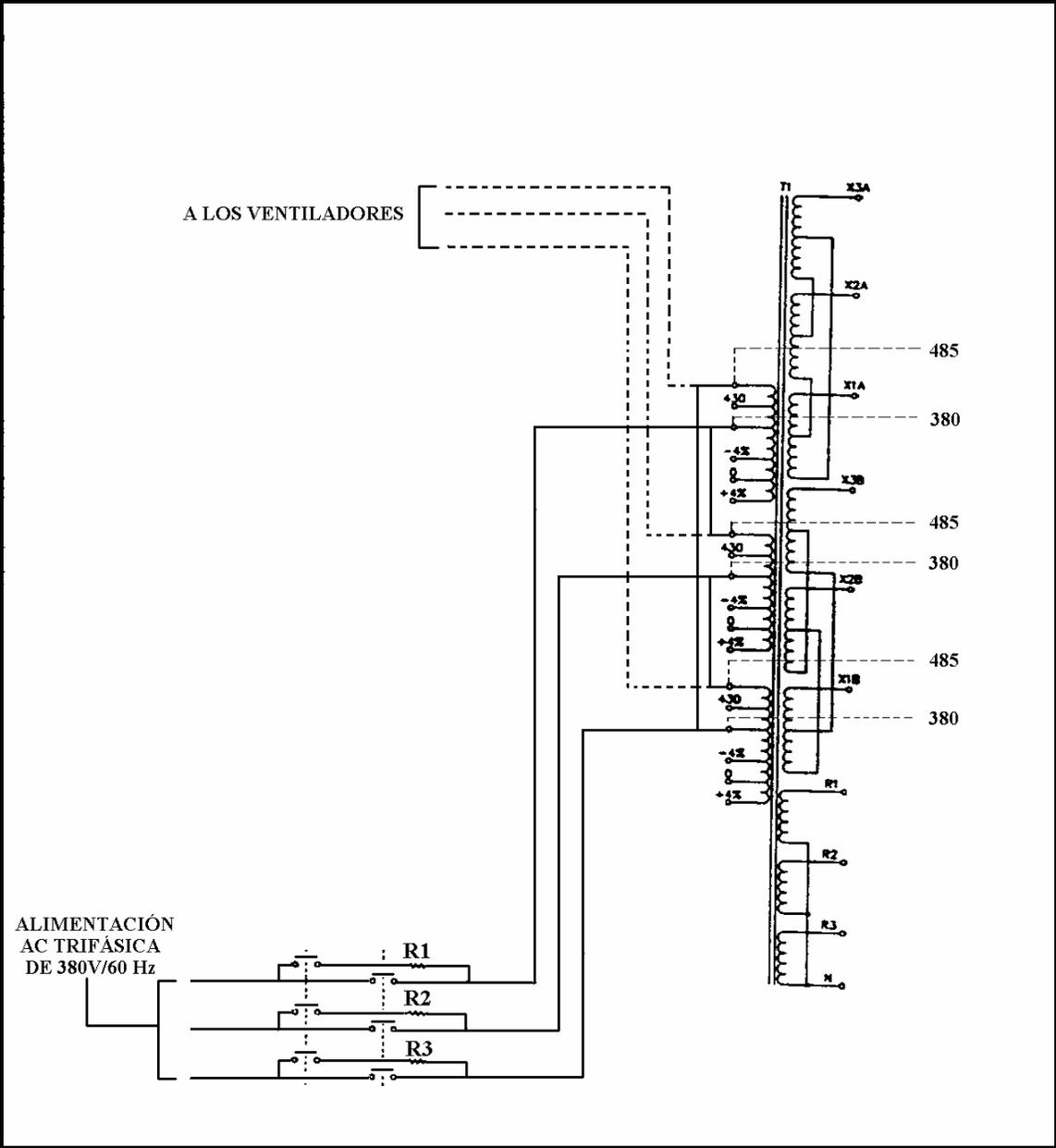


FIGURA 3.2.3.2 Conexión de la alimentación al transformador T1.

3.2.4 Control Remoto.

La interfase para el control remoto, es compatible con casi todos los sistemas de control remoto, incluyendo los sistemas basados en microprocesadores.

Para éste caso en particular, se utiliza un Sistema de Control Remoto BURK modelo ARC-16, el cual es un sistema con control autónomo, que se puede configurar como sistema de tiempo completo, de acceso telefónico a redes (dial-up) o multi-site (en éste caso el equipo está configurado en dial-up).

El equipo incluye una interfase de voz mejorada, lo cual permite el control y monitoreo por marcación de la Planta Transmisora, es decir, cuando se activa una alarma del Transmisor, el equipo informa sobre ésta al número/os telefónico que previamente se ha programado con el software incluido en el equipo, y de ésta manera es posible corregirla mediante la digitación de un código, también previamente programado en el equipo. Además del monitoreo de fallas, se puede consultar al equipo sobre el estado del Transmisor mediante el código apropiado y así mismo operarlo.

Las conexiones que se hacen entre el equipo y la interfase de control remoto se pueden observar en la tabla 3.2.4.1, así como todas las funciones que ejecuta:

CONEXIÓN	FUNCIÓN
<p>CONTROLES:</p> <p>1.- TB1-22, TB1-24 2.- TB1-26, TB1-28 3.- TB1-30, TB1-32 4.- TB1-25, TB1-27 5.- TB1-29, TB1-31 6.- TB1-33, TB1-35 7.- TB1-38, TB1-40</p>	<p>Control ALTA potencia Control MEDIA potencia Control BAJA potencia Control DISMINUIR Control AUMENTAR Control APAGADO RESET DE SOBRECARGA</p>
<p>PARÁMETROS MEDIDOS:</p> <p>1.- TB1-3 2.- TB1-4 3.- TB1-5 4.- TB1-6</p>	<p>POTENCIA DIRECTA POTENCIA REFLEJADA CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN</p>
<p>INDICACIONES DE ESTADO:</p> <p>1.- TB1-15 2.- TB1-16 3.- TB1-17 4.- TB1-18 5.- TB1-20</p>	<p>Indicación DISMINUIR Indicación ALTA POTENCIA Indicación AUMENTAR Indicación MEDIA POTENCIA Indicación BAJA POTENCIA</p> <p style="text-align: right;"><i>Continúa...</i></p>

<p>INDICACIONES DE FALLA Y SOBRECARGA:</p> <p>1.- TB2-9</p> <p>2.- TB2-24</p> <p>3.- TB2-25</p> <p>4.- TB2-33</p>	<p>VSWR en la CARGA</p> <p>Sobrecarga del VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN.</p> <p>Sobrecarga de la CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN</p> <p>FALLA Tipo 3</p>
<p>CONEXIÓN</p>	<p>FUNCIÓN</p>
<p>INDICACIONES DE ESTADO</p> <p>10.- TB2-22</p> <p>11.- TB2-26</p> <p>12.- TB2-27</p> <p>13.- TB2-28</p> <p>14.- TB2-29</p> <p>15.- TB2-30</p> <p>16.- TB1-21, 23</p>	<p>Indicación SEGURO EXTERNO ABIERTO</p> <p>Falla de SUB-EXCITACIÓN</p> <p>Falla de SOBRE-EXCITACIÓN</p> <p>SOBRECARGA DE AIRE</p> <p>FALLA DE ALIMENTACIÓN DE ALTO VOLTAJE</p> <p>ACTUALMENTE BAJO CONTROL LOCAL</p> <p>PA APAGADO</p>

TABLA 3.2.4.1 Funciones de Estado y Control que manipula el Sistema de Control Remoto.

3.2.5 Antena.

La Antena de Transmisión forma parte de todo un sistema denominado **Sistema de Antena**. Este Sistema esta formado por los siguientes elementos (ver figura 3.2.5.1):

- La Antena
- La Casilla de Acoplamiento
- La Línea de Transmisión

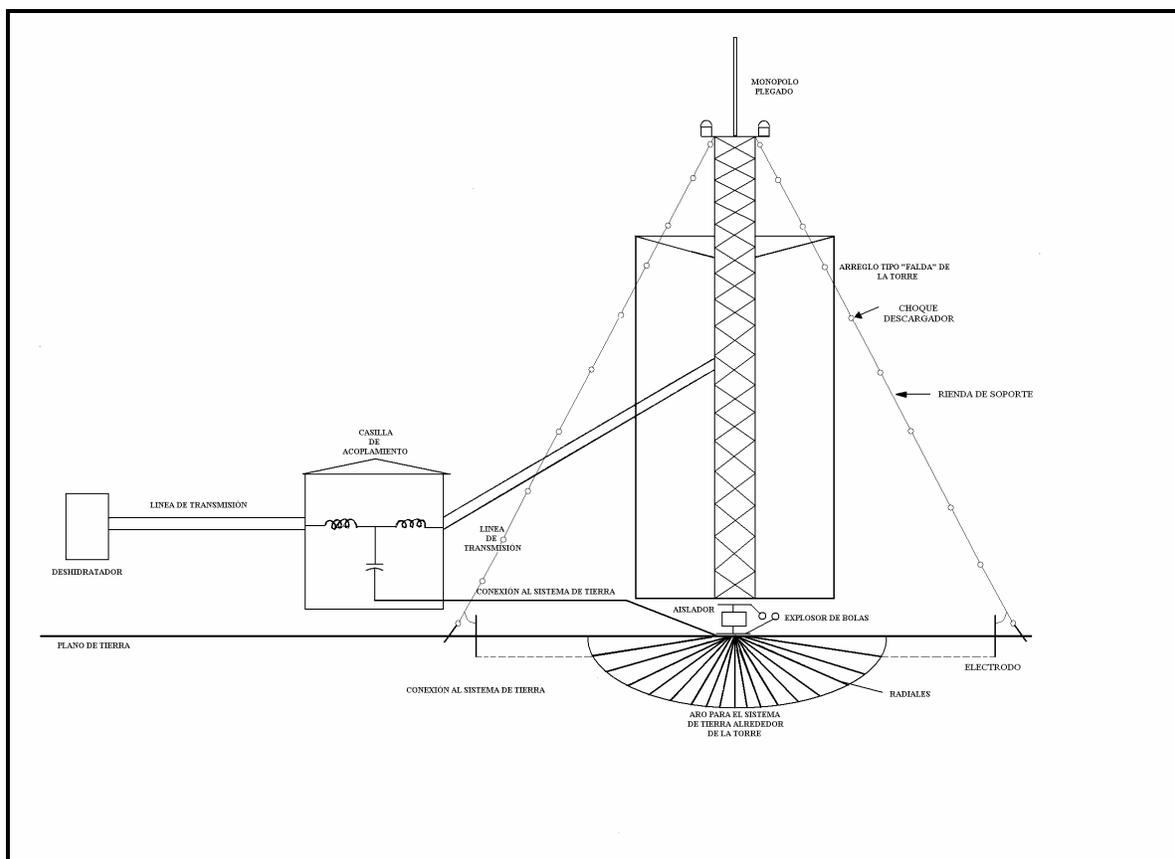


FIGURA 3.2.5.1 Sistema de Antena en donde se puede observar también el sistema de radiales de la antena.

En la Planta Transmisora que nos ocupa, la Antena Radiadora es de tipo Monopolo Plegado, omnidireccional (es decir, que irradia la misma energía en todas direcciones) colocada a una altura de 87m ($1/4 \lambda$), que de acuerdo a la NOM-01-SCT1-93 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con título “Especificaciones y Requerimientos para la Instalación y Operación de Estaciones de Radiodifusión Sonora Moduladas en Amplitud”, en su Capítulo 7 referente al “Sistema Radiador”, párrafo 7.1, la posición de la antena debe ser vertical, es decir, la antena esta configurada en polarización vertical.

Así mismo, en base a la misma Norma en su Capítulo 7, párrafo 7.5 “Sistema de Radiales”, se debe construir un plano de radiales debidamente aterrizados constituido por un mínimo de 90, para lo cual, en éste caso en particular, se ha construido un plano de 120 radiales con longitud de 80m. Los radiales funcionan como un plano de tierra artificial, ya que el terreno donde se ubica la Planta Transmisora es de alta resistencia y un plano de tierra convencional es insuficiente, es por ello, que se hace un arreglo entre los radiales y el plano de tierra convencional. La importancia de los radiales, es que mejoran el sistema de tierra de la antena y así mismo facilitan la radiación de las ondas, puesto que si no hubiese un sistema de tierra de baja impedancia, la mitad de la potencia radiada sería absorbida por la tierra en vez de reflejarse.

El arreglo que se menciona es hecho alrededor de la torre de la siguiente forma: se hace un aro de unos 2 a 3m de diámetro, de alambre de cobre de 1” de diámetro o planchuela 1.5” * 1/4” y en ella se soldan todos los radiales con soldadura auto detersiva. A éste aro se le deberán soldar unos 8 flejes de cobre de 10 cms de ancho por 1mm de espesor, equidistantes, los que se unirán finalmente en la base de la torre soldados con la misma aleación. Desde el mismo aro se conectan 3 o 4 jabalinas de 3 m para poner el sistema a tierra de pararrayos (en éste caso se utiliza un explosor de bolas o “Spark Gap Ball” conectado en la base).

Para el excelente funcionamiento de éste tipo de antena, se ha hecho un arreglo que consiste en colocar alrededor de la torre, cable desnudo de aluminio calibre 0, sujetos en la parte superior por un soporte hecho de fibra de vidrio, y cuyos extremos se unen en la base de la antena. A éste arreglo se le denomina **Falda (Skirt)**, cuya altura máxima ideal es de 69.6m y permite optimizar el ancho de banda, con lo cual se reducen costos al evitar construir una torre de un ancho considerable.

Otro elemento importante en el Sistema de Antena es la Casilla de Acoplamiento, la cual tiene como función acoplar perfectamente la línea de transmisión y la antena, puesto que poseen diferentes impedancias, es por eso que se utiliza una casilla en configuración “T”, que es la más utilizada, compuesta por dos inductores y un capacitor y que permite acoplar una baja impedancia con otra mayor ($50\Omega_{LT} / 70\Omega_{ANT}$).

3.2.6 Interfases.

Las conexiones de interfase que posee el Transmisor son: la interfase de la Entrada de Audio, la Salida de RF, el Sistema de Control Remoto y para los Monitores de Frecuencia y Modulación.

La interfase de la Entrada de Audio es la que se utiliza para conectar el Procesador de Audio, tal como se describió en el subtema “Transmisión”; la interfase de la Salida RF, es aquella donde se conecta la línea de transmisión, la cual es una línea coaxial con dieléctrico de aire de 3”, impedancia de 50 Ω , porcentaje de velocidad de 93.3%, potencia promedio de 640 KW y atenuación de 0.0291 dB/100 m. El conector de Salida RF del Transmisor es un conector EIA de pestaña con barrera de gas hembra, el cual cuenta con un empaque tipo anillo para el acople perfecto entre la salida del Transmisor y la línea.

El Sistema de Control Remoto es tratado en el Subtema 3.2.4, por lo que restaría explicar la interfase para el Monitor de Modulación y de Frecuencia. En éste caso se utiliza un Monitor de Modulación en AM, modelo 923A de TFT_{INC}, el cual es un demodulador de precisión en banda ancha el cual permite mediciones sumamente exactas de prueba y funcionamiento para un transmisor de AM y para monitorear el nivel de modulación en una señal fuera del aire cuando se usa en conjunción con el pre-selector opcional de RF de AM (ver figura 3.2.6.1).

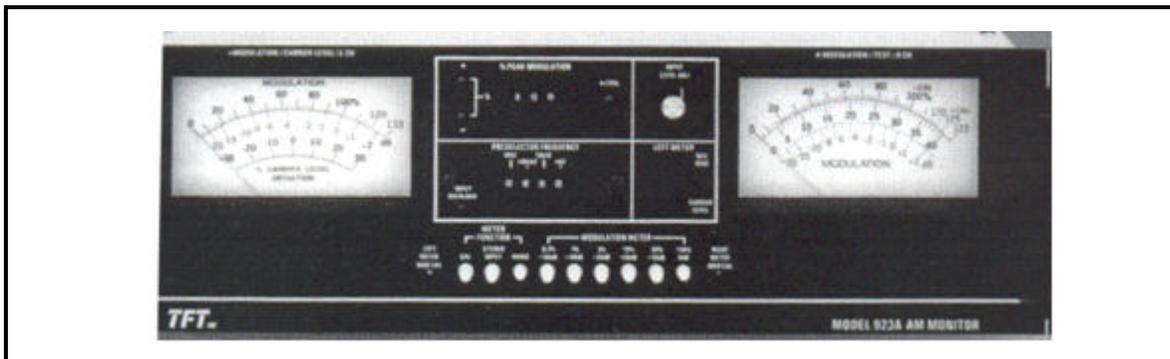


FIGURA 3.2.6.1 Vista frontal del Monitor de Modulación.

Tiene dos medidores a lo largo del panel frontal para desplegar la modulación positiva y negativa simultáneamente; el medidor derecho puede activarse para medir la respuesta de frecuencia. Su rango de frecuencia es de 500 KHz a 40 MHz, la entrada de RF nivel alto es de 1V a 5Vrms y su impedancia de entrada es de 50 Ω . El Monitor de Modulación se conecta al Transmisor mediante un cable coaxial de 50 Ω , a la Tarjeta del Monitor de Salida, que se encuentra en el Compartimiento de Control Central.

3.2.7 Barra de Salida.

Después de que se unen mediante pernos los gabinetes, tanto del PA como de la Red de Salida, se sujeta una correa de cobre de 2” para la interconexión a 2E1. Posteriormente se desliza la Barra de Salida y Cubierta del Combinador, a través de la abertura por donde se alimenta, cuidando de que ningún material quede dentro de la cubierta (refiérase a la figura 3.2.3.1).

Habiendo instalado el ensamble de la cubierta, se instala el ensamble de la Muestra RF (T6/T7) en la parte superior de la cubierta, tomando como referencia el dibujo serigrafiado en la parte trasera del panel. La tarjeta de la Muestra RF tendrá un orificio guía, el cual, alineará con un pin u orificio en la placa de la cubierta.

3.2.8 Placa de Tierra.

La Placa de Tierra se ubica en la parte superior del gabinete del PA (refiérase a la figura 3.2.3.1) y también forma parte de la unión de los gabinetes del PA y de la Red de Salida, los cuales están aterrizados en adición, a la tierra del Panel de Encendido por Pasos.

El Transmisor se debe aterrizar al Sistema de Tierra de la Estación con cinta de cobre de al menos 2" de ancho y 0.020" de espesor y trayectoria de baja impedancia, conectándola a 2E1 en el Gabinete de la Red de Salida.

El Sistema de Tierra de la Planta Transmisora utiliza un sistema en delta utilizando electrodos copperwell de 3m unidos con alambre desnudo de cobre de 4" y separados 6m entre ellos. Debido a que el terreno posee una alta resistividad, se utiliza un relleno llamado bentonita (una sustancia química conductora aceptada por la NOM-001-1999 referente a "Instalaciones Eléctricas" en el párrafo 250-83c). La forma en que se colocan los electrodos se aprecia en la figura 3.2.8.1.

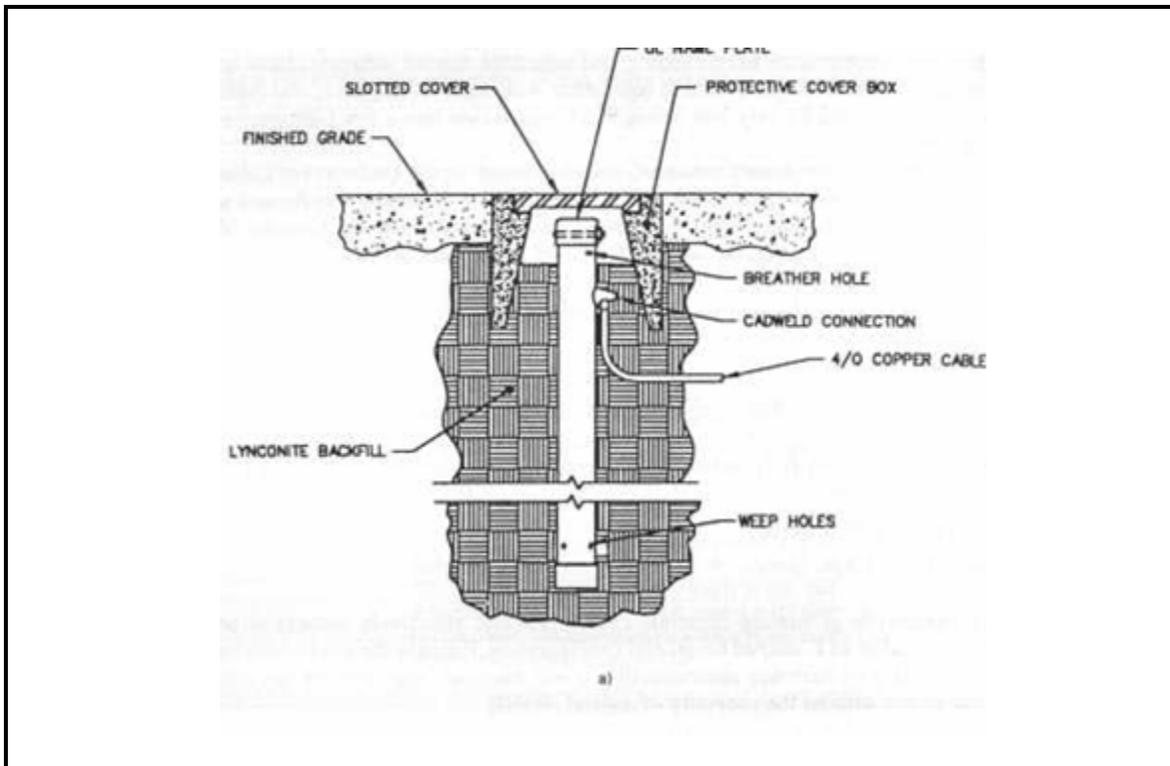


FIGURA 3.2.8.1 Forma en la que se coloca el Sistema de Tierra.

Como se menciona anteriormente, el sistema de tierra que utiliza la Planta Transmisora es en forma de delta, pero es mejor utilizar el método de tierra perimetral, donde un conductor rodea la base de la Planta Transmisora y se une a los electrodos ubicados a intervalos iguales (4 electrodos de 3m o más, separados al menos cada 6m).

Todas las conexiones a tierra del sistema deben tener un punto único de conexión, el cual a su vez se conectará al sistema fuera del edificio y para dichas conexiones es recomendable utilizar cinta de cobre de 4" o cable trenzado de varios hilos calibre 2, haciendo conexiones rectas y cortas (ver figura 3.2.8.2).

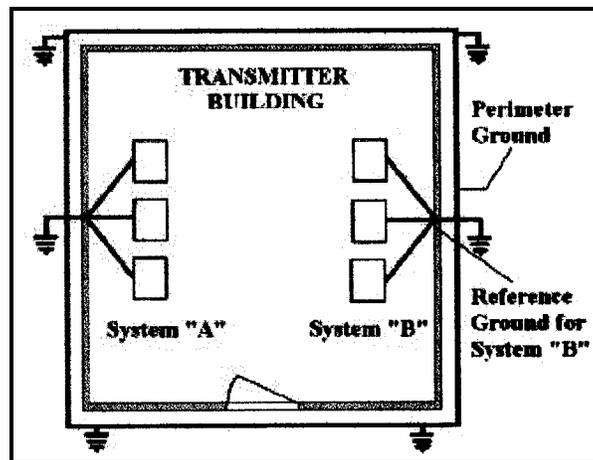


FIGURA 3.2.8.2 Forma que tiene el Método de Conexión Perimetral, en donde además se observa la conexión cuando hay sistemas diferentes en un solo edificio.

3.3 Puesta en Marcha.

El Transmisor para encenderse sólo requiere de la pulsación de alguno de los botones que se encuentran en el nivel de potencia, pero antes de esto y cuando se enciende por primera vez se tiene que llevar a cabo un procedimiento que consiste en realizar ciertas revisiones ó ajustes en la siguiente secuencia:

1. Revisión de la alimentación de bajo voltaje.
2. Prueba de sobrecarga y subexcitación.
3. Revisión de la alimentación de alto voltaje.
4. Rotación correcta del ventilador.
5. Operación correcta del Excitador.
6. Revisión del Amplificador de Potencia (PA).
7. Adaptación del Transmisor a la carga.
8. Operación correcta a varios niveles de potencia.
9. Fijar los niveles del Monitor de RF.
10. Batería de Respaldo para la Tarjeta de Control.
11. Poner en bitácora las lecturas normales del medidor.
12. Revisión de la modulación y nivel fijado.
13. Revisión de adaptación final entre la línea de transmisión y la antena.

Cada uno de los pasos anteriores se siguen en secuencia, es decir, que no se puede omitir ninguno de ellos antes de realizar el siguiente; al haber realizado dicha secuencia, entonces sí se puede proceder al encendido del Transmisor.

3.3.1 Datos del Fabricante.

Es un documento en el cual se especifican datos tales como: lecturas de medidores, datos medidos durante el funcionamiento, la frecuencia de partes determinadas y los ajustes hechos para el Transmisor.

Este documento es muy útil durante la instalación y el procedimiento de encendido inicial, ya que dados los Datos del Fabricante, se tiene una guía para observar si el Transmisor tiene alguna falla en su funcionamiento y de ésta manera corregirla antes de que se ponga en funcionamiento.

Presenta el siguiente formato:

**INFORME DE LA PRUEBA FINAL
PARA
EL TRANSMISOR HARRIS DE MEDIA ONDA
MODELO DX 50**

Vendido a: XEUN – AM (RADIO UNAM)

Nombre del Cliente: GRAC INTL INC.

Embarque a:

Ubicación: MÉXICO

Número de Cliente: 4494644

Número del Producto: 994-9150-001

Impedancias (Ohms):

Salida RF: 50

Entrada de Audio: 600

Frecuencia (KHz): 860

Salida de Potencia (watts): **Alta** 50,000 **Media** 25,000 **Baja** 10,000

Línea: 380 Volts 3 Fases 60 Hertz

Número de Orden: FEQ08024001

Número de Serie: MPS106774-00001

La información anterior corresponde a la descripción general del Transmisor y la particular, corresponde a las mediciones hechas al Transmisor en plena carga con parámetros específicos en determinados casos, como se observará a continuación, tanto en los puntos que se citan como en las tablas 3.3.1.1 a 3.3.1.5:

- ***Entrada de Audio (para una modulación al 100%).***

10 dbm (10 ±1 dbm a 1000 Hz)

- ***Respuesta de Onda Cuadrada (a 50 KW y modulación al 85/80%).***

400 Hz de Sobreimpulso .1% (0.5% máximo);

40 Hz de Inclinación .2% (2% máximo)

- ***Desplazamiento de Portadora (Referencia: Modulación al 100% con 1000 Hz).***

-.2% (1% máximo)

- ***Distorsión por Intermodulación (60 Hz/7 KHz a 50 KW y modulación al 95%).***

Razón 4:1 1.07% (1.3% máximo);

Razón 1:1 0.74% (0.8% máximo)

- **Prueba CCIF Dos Tonos (9 KHz/ 10 KHz a 50 KW y modulación al 95%).**

-47.73 db

- **Intermodulación Transitoria (2.96 KHz/8 KHz a 50 KW y modulación al 95%).**

0.35% (0.5% máximo)

- **Ruido de Portadora (Referencia: modulación al 100% con 1000 Hz).**

Alta Potencia -68.46 db (-65 db o mejor)

Media Potencia -68.27 db

Baja Potencia -66.02 db

MEDICIONES EXTERNAS		MEDICIONES DEL PANEL			
	PORTADORA	50,000 W *MOD 100%	25,000 W *MOD 100%	10,000 W *MOD 100%	0 W SIN MOD
VOLTS DEL PA	235	231	236	238	251
AMPS DEL PA	228	340	160	63	0
POTENCIA DIRECTA (W)	49,700	50,000	25,000	10,000	0
POTENCIA REFLEJADA (W)		0			
EFICIENCIA DEL PA (%)	93%	*1000 Hz			

TABLA 3.3.1.1 Valores para diferentes parámetros en los tres niveles de potencia del Transmisor, con una modulación al 100% hecha con 1000 Hz.

- *Bus de la Fuente de Alimentación de la Tarjeta de Fusibles a Tierra.*

500 ohms

- *47 Escalones (Módulos Amplificadores) encendidos para una potencia de 50 KW.*

MEDICIONES AL REGULADOR DC CON UN MULTIMETRO DIGITAL Y PORTADORA DE 50 KW			
ALIMENTACIONES B+			
REG A1	VALOR MEDIDO	REG B1	VALOR MEDIDO
ENTRADA +5V	4.83 Vdc	ENTRADA +8V	7.29 Vdc
ENTRADA +8V	7.38 Vdc	SALIDA B+	5.70 Vdc
SALIDA B+	5.76 Vdc	ENTRADA +5V	4.74 Vdc
		SALIDA +5V	5.07 Vdc
ALIMENTACIONES B-			
REG A2	VALOR MEDIDO	REG B2	VALOR MEDIDO
REFERENCIA B-	2.38 Vdc	SALIDA B-	-4.64 Vdc
SALIDA B-	-4.92 Vdc	SALIDA -5V	-4.98 Vdc
ENTRADA -8V	-7.90 Vdc	ENTRADA -8V	-7.88 Vdc
EXCITACIÓN B-	-1.73 Vdc		

TABLA 3.3.1.2 Valores medidos del Regulador DC para los dos tipos de alimentación que maneja, mediante sus cuatro reguladores (A1, B1, A2 y B2).

MULTIMETRO RF		
PARÁMETRO	PORTADORA 50,000 W	50,000 W 95% 1 KHz
PRE-EXCITADOR Idc (0-10)	1.3	1.3
PRE-EXCITADOR +Vdc (0-100)	58	58
CONTROL +Vdc (0-10)	4.0	4.0
EXCITADOR +Vdc (0-300)	122	122
EXCITADOR Idc (0-30)	13.6	13.7
SECCIÓN 8A DEL EXCITADOR +Vdc (0-300)	50	45
SECCIÓN 8B DEL EXCITADOR +Vdc (0-300)	0	0

TABLA 3.3.1.3 Mediciones hechas con el Multímetro RF del Transmisor ubicado en la parte interna de la puerta frontal del Compartimiento de Control Excitador.

MULTIMETRO		
PARÁMETRO	PORTADORA 50,000 W	50,000 W 95% 1 KHz
-8 Vdc	-7.6	-7.7
+8 Vdc	7.1	7.1
-22 Vdc	-21.3	-21.4
+22 Vdc	20.7	20.8
SEÑAL RF RELATIVA	58	58
DETECTOR DE NULIDAD (ANTENA)	0	0
DETECTOR DE NULIDAD (FILTRO)	0	0
ALIMENTACIÓN DEL PA +Vdc	232	231

TABLA 3.3.1.4 Mediciones hechas mediante el multímetro del Panel de Medición/Tablero de Control ubicado en el Compartimiento de Control Izquierdo.

AJUSTES DE SOBRECARGA			
FUNCIÓN	CONTROL	UBICACIÓN	VOLTS
VSWR	A27R15	A27TP9	2.86
PASO BANDA	A27R9	A27TP10	1.07
CORRIENTE PROMEDIO	A32R102	A32TP8	3.68
SOBRE-EXCITACIÓN	A32R88	A32TP5	4.71
CORRIENTE PICO	A32R98	A32TP7	10.65
SUB-EXCITACIÓN	A32R92	A32TP6	3.04

TABLA 3.3.1.5 Medidas hechas en los puntos descritos ubicados tanto en la Tarjeta del Monitor de Salida, como en la Tarjeta LED.

3.3.2 Revisión de la Alimentación.

Antes del encendido inicial, se deben verificar los siguientes puntos:

1. Debe revisarse que la correa de tierra esté apropiadamente conectada entre el Transmisor y el sistema de tierra de la Estación Transmisora.
2. El cableado para la alimentación AC debe estar perfectamente conectado con uniones fuertes.
3. La salida RF del Transmisor debe tener conectada la carga adecuada, es decir, que la carga sea capaz de manejar la potencia de salida evaluada; esta puede ser, un sistema de antena ó una carga falsa.
4. Los seguros de bloqueo, para los compartimientos, deben estar en perfecto estado.
5. La entrada de audio debe estar conectada correctamente.
6. El equipo de monitoreo adecuadamente conectado.
7. Tener conocimiento sobre la operación del Transmisor, en base al estudio del Manual Técnico.

La revisión de la alimentación es hecha en dos partes: una prueba es para la alimentación monofásica y otra para la alimentación trifásica.

La prueba para la **Alimentación Monofásica**, tiene como objeto, revisar que el transformador de bajo voltaje, T2, energice la circuitería de control y los medidores de bajo voltaje.

Antes de realizar la prueba, se desconecta la alimentación, para poder retirar los paneles traseros del Transmisor, y se sigue la siguiente secuencia de pasos:

- a) Se retiran los paneles de acceso trasero del Compartimiento de Control Izquierdo y se localizan las dos Tarjetas de Fusibles, de donde se retirará un fusible ubicado en el transformador T1 (Alto Voltaje) y se dejará sólo el fusible por medio del cual se suministran 115Vdc a los excitadores de RF, lo cual minimizará la irrupción de corriente en caso de un problema en la Secuencia de Encendido por Pasos ó Control.

Antes de recolocar los paneles traseros, se debe verificar que nada esté cortocircuitado fuera de la fuente. Con un multímetro se mide la resistencia de la fuente de 230 Vdc entre la barra de cobre en las Tarjetas de Fusibles y tierra. Con la punta positiva en la fuente, la resistencia debe ser de aproximadamente $100 \Omega \pm 10\%$, la cual es la resistencia del circuito de descarga del PA; lo anterior es realizado ya que los compartimentos interiores, detrás de las puertas frontales, tienen seguros de bloqueo que cortocircuitan la fuente cuando alguno está abierto.

- b) Se reinstalan los paneles traseros y se aplica la alimentación monofásica al Transmisor, más no la trifásica.
- c) Se mueve el interruptor S11 de la Fuente de Alimentación de Bajo Voltaje, ubicado en el Compartimiento de Control Central, a la posición “ON”.
- d) Todos los indicadores del Panel de Estados, ubicado en la parte frontal del Transmisor, deben estar encendidos en rojo o verde (excepto para el led Remoto, el cual no se iluminará, cuando esté en la posición “Local”). Los indicadores son leds bicolor (excepto los leds indicadores denominados “Remoto” y “Local”, que son sencillos).

- e) Se conmuta el multímetro del Panel Frontal a la posición -8 Vdc. La lectura del voltaje debe estar dentro del 5% del valor grabado en la hoja de datos de la Prueba de Fábrica. Después se cambia el multímetro a las posiciones +8, -22 y +22 Vdc y se revisan las lecturas contra los datos de la Prueba de Fábrica. Ver figura 3.3.2.1.

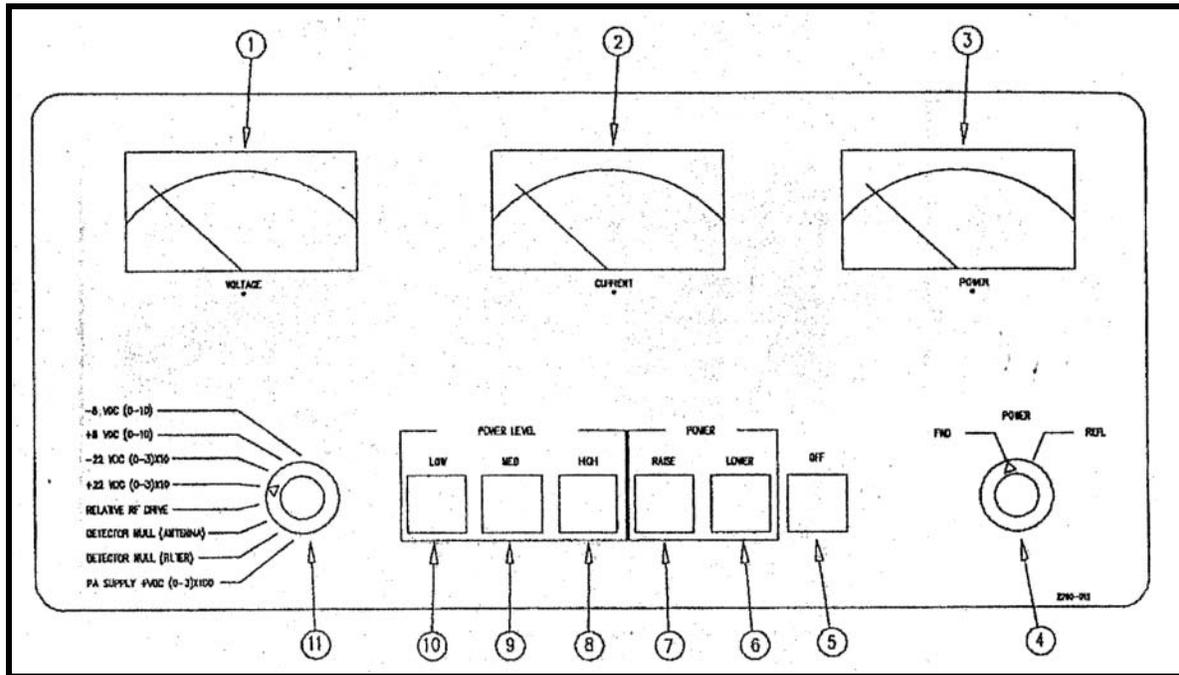


FIGURA 3.3.2.1 Panel de Medición/Tablero de Control, donde se aprecian las siguientes partes: (1) Multímetro de voltaje, (2) Medidor de la corriente de alimentación, (3) Medidor de Potencia, (4) Selector de potencia, (5) Botón “Apagado”, (6) Botón “Disminuir”, (7) Botón “Aumentar”, (8) Botón “Alta”, (9) Botón “Media”, (10) Botón “Baja”, (11) Switch del Multímetro.

Si las lecturas no están dentro del 5% de las lecturas de la Prueba de Fábrica, se quita la energía AC desde la desconexión principal y se revisan las conexiones del transformador de bajo voltaje, T2.

- f) Ahora se abre el Compartimiento de Control Excitador (por la puerta frontal) y se localiza el Multímetro de RF.

- g) Se rota el interruptor a la posición “CONTROL +VDC” y se compara la lectura contra los datos de la Prueba de Fábrica. Este es un voltaje de referencia para la circuitería de detección de la señal RF en la Tarjeta del Regulador de Alimentación Excitador.

Por otra parte, en lo que respecta a la prueba de la **Fuente de Alimentación del PA o Trifásica**, tiene como objeto, revisar que el transformador T1, proporcione los voltajes para obtener 230, 115 y 60 Vdc; también determinará que la Secuencia de Encendido por Pasos esté operando adecuadamente. Los pasos a seguir para la prueba son:

- a) Aplicar tanto la alimentación monofásica como la trifásica al Transmisor.
- b) El interruptor etiquetado como **Apagado del PA, S5**, localizado en la Tarjeta de Control, debe estar en la posición “Apagado (OFF)”.
- c) Se rota el selector del multímetro del Panel Frontal a la posición “PA SUPPLY +VDC”.
- d) Se pulsa el botón de Baja Potencia (POWER LEVEL/LOW) y se observa lo siguiente:
 1. Se completa la Secuencia de Encendido por Pasos, el voltaje de alimentación del PA, sube a 230 Vdc, $\pm 5\%$, ó...
 2. La Secuencia de Encendido por Pasos se cae debido a una Falla de Subexcitación, ó...
 3. La Secuencia de Encendido por Pasos cae debido a una Falla de Sobrevoltaje y/o Sobre-excitación.

- e) Si el paso 1, fue observado, se procede a la revisión de la Rotación del Ventilador.
- f) Si el paso 2, fue observado, se desactiva temporalmente, el circuito de sobrecarga y subexcitación, colocando un cable con puntas caimán en la Tarjeta LED, entre el punto de prueba TP6 y tierra, y se repite la prueba.
- g) Si el paso 3 fue observado, se recolocan las tomas en T1, para disminuir el voltaje de alimentación y luego se repite la prueba.
- h) Se pulsa el botón de Apagado (OFF) y se observa la indicación del multímetro que está en la posición “PA SUPPLY +VDC”. El voltaje debe caer a cero muy rápidamente. Si el voltaje disminuye lentamente, se analiza el circuito de descarga del PA.
- i) Se repite el procedimiento para verificar que la Secuencia de Encendido por Pasos está funcionando adecuadamente. El sonido de los relés K1 y K2 es proporcional a su tamaño.

3.3.3 Sobrecarga.

Al realizar la prueba para sobrecarga, es posible observar también si hay problemas de subexcitación. La prueba simula una condición de Falla de Subexcitación, poniendo a funcionar el Transmisor con la alimentación trifásica desactivada. El objetivo es asegurar que la circuitería de detección de la señal RF es funcional. El nivel de excitación adecuado, es crítico para prevenir fallas en alguno de los amplificadores de RF, RF1 hasta RF128, en la sección del PA. Hay otras condiciones de falla que se detectan con el circuito de sobrecarga y subexcitación que no son fallas RF relacionadas, por ejemplo, un cortocircuito a través de la fuente de alimentación del PA durante la Secuencia de Encendido por Pasos.

La secuencia de los pasos a seguir es la siguiente:

- a) La alimentación monofásica activa y la trifásica desactivada.
- b) Se pulsa el botón “LOW”, ubicado en el Panel de Medición/Tablero de Control y se observa lo siguiente:
 1. El contactor del Encendido por Pasos, K1, debe energizarse, rápidamente cae a cero volts, se energiza y después vuelve a caer el voltaje por segunda vez.
 2. El led asignado a una Falla de Subexcitación cambiará a amarillo en la primera caída de voltaje, a rojo en la segunda y así permanece hasta que se reinicia el display.
 3. K2 en el Panel de Encendido por Pasos no debe estar energizado.
 4. Todos estos eventos deben ocurrir dentro de un lapso de 2 segundos.

3.3.4 Ventilación.

Debido a que el Sistema de Ventilación depende en gran medida de los ventiladores del Transmisor, se hace una revisión en la rotación de los mismos, para observar si están girando en la dirección correcta y si no es así, se intercambian los cables de conexión en los motores de los mismos, de tal forma que se obtenga la rotación adecuada. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Tanto la alimentación monofásica como la trifásica deben estar activas, el interruptor denominado S11, encendido, el interruptor S5 (Apagado del PA) ubicado en la Tarjeta de Control, debe estar en la posición Apagado (OFF) y los fusibles para la protección de los 230 Vdc que llegan al Combinador Principal, fuera.
- b) Se pulsa el botón “LOW” para activar la alimentación del PA y se sostiene un pedazo de papel contra uno de los filtros en el Gabinete de la Red de Salida; una rotación correcta del ventilador, meterá aire y el papel se mantendrá en su lugar.
- c) Si hay un flujo incorrecto de aire, el Transmisor puede apagarse nuevamente después de 20 segundos y el indicador de Bloqueo de Aire (Air Interlock) se iluminará rojo.
- d) Se pulsa el botón “Apagado (OFF)”.
- e) Se quita el filtro de aire superior izquierdo, en la parte trasera del Gabinete de la Red de Salida y se observa la rotación de los ventiladores. Los cuatro ventiladores deben rotar en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- f) Si la rotación es correcta, se reinstala el filtro de aire.
- g) Si la rotación es incorrecta:

1. Se retiran los paneles traseros de acceso izquierdos del Compartimiento de la Red de Salida.
 2. Se desconectan e intercambian dos cables de los tres que se conectan a los ventiladores, ya que intercambiando dos cables de tres, a un motor trifásico, revertirá su dirección de rotación.
 3. Se reinstala el panel de acceso en el Compartimiento de la Red de Salida y se replica la alimentación monofásica y trifásica al Transmisor.
- h)** Se debe verificar que todos los paneles traseros estén en su lugar. Se enciende el Transmisor presionando el botón de baja potencia “LOW”.
- i)** Cuando el Transmisor esté encendido, la luz del indicador “Bloqueo de Aire (Air Interlock)” se apagará, entonces, éste encenderá nuevamente después de 20 segundos, como sigue:
1. Verde: La presión de aire está bien.
 2. Rojo: Falla de presión de aire. La falla también inhabilitará el alto voltaje.

Una falla de presión de aire, indica insuficiencia de aire. Las causas probables incluyen: un panel trasero no instalado ó sujetado en todos los puntos, conexiones incorrectas en las derivaciones del primario de T1 hacia los ventiladores ó un ajuste incorrecto del interruptor de flujo de aire, S7, en la Tarjeta del Sensor de Temperatura/Codificador Excitador.

3.3.5 Radiofrecuencia.

Para la concesión de las frecuencias de operación, que en éste caso es la de 860 kHz y la de enlace de 230 MHz, se realiza el trámite correspondiente en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la Dirección General de Sistemas de Radio y Televisión, donde de acuerdo al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias se verifica si se puede hacer uso de la frecuencia solicitada, de ser así, se deben llevar a cabo las especificaciones que marca la NOM-01-SCT1-93 titulada “Especificaciones y Requerimientos para la Instalación y Operación de Estaciones de Radiodifusión Sonora Moduladas en Amplitud”, de las cuales se mencionan algunas:

- De acuerdo al Capítulo 5, párrafo 5.1.1, el tipo de emisión utilizado es A3E, que corresponde a una modulación en amplitud, doble banda lateral, con un solo canal de información analógica de radiodifusión sonora.
- El porcentaje de modulación no debe exceder el 100% en picos negativos y del 125% en picos positivos (párrafo 5.1.4).
- En la parte de la NOM-01-SCT1-93 referente a “Terminología”, Radio UNAM es una estación Clase A, y en base al párrafo 5.1.5, su potencia de operación no debe exceder los 100 KW de día y los 50 KW de noche, cuya potencia mínima debe ser de 10 KW (de hecho la potencia utilizada de día es de 45 KW y de noche es de 10 KW). Con respecto a la tolerancia de potencia, no debe ser superior al 10% o inferior al 15% de la autorizada.

Además de los puntos antes mencionados, hay otros más que corresponden al ancho de banda entre canales (10 kHz), así como lo correspondiente al sistema radiador o antena y otros datos técnicos necesarios para el trámite de concesión de la frecuencia, sin olvidar los lineamientos de seguridad que debe haber en la Estación y en la Planta Transmisora.

3.3.6 Ruido.

Existen tres condiciones necesarias para que se presente el ruido que perturba una señal electromagnética: debe tener una energía perceptible no deseada, ser de naturaleza electromagnética y estar presente en la banda útil; de ésta forma se pueden describir los siguientes tipos de ruido que pueden afectar la señal:

Por Interferencia.

La interferencia por ruido en el Transmisor ocurre porque éste irradia energía en su frecuencia de operación, así como frecuencias por encima y por debajo de la frecuencia asignada. La energía que es radiada por encima y por debajo de la frecuencia asignada es conocida como energía de ruido de banda lateral y se extiende por varios MHz en cada lado de la frecuencia de operación. Este ruido indeseable puede caer dentro del paso banda de un receptor cercano, incluso si la frecuencia de operación del receptor es de más de varios MHz.

Por Radiofrecuencia (RFI -Radio Frequency Interference-).

La RFI, también conocida como Interferencia Electromagnética (EMI-Electromagnetic Interference-), es cualquier perturbación ó radiación electromagnética, la cual es emitida desde un circuito eléctrico o componente electrónico que interrumpe o interfiere con la operación de otros componentes electrónicos o circuitos eléctricos. El RFI o EMI, puede introducirse intencionalmente a causa de una guerra electrónica o no intencionalmente, a causa de un dispositivo o sistema.

Por la atmósfera.

El ruido atmosférico es causado por perturbaciones que ocurren naturalmente en la atmósfera de la tierra, tales como las descargas producidas por un relámpago. Su contenido de frecuencia es extendido por todo el espectro radioeléctrico, pero su intensidad es

inversamente relacionada a la frecuencia, por lo que es más problemático en bajas frecuencias. Su amplitud es máxima cuando la tormenta está cerca del receptor pero el efecto aditivo de las perturbaciones distantes, es también un factor.

3.3.7 Amplificación.

Para revisar que la amplificación que produce el Transmisor esté funcionando adecuadamente, es necesario verificar cuatro puntos:

1. La Operación del Excitador de RF
2. La Función Aumentar/Disminuir
3. El Encendido del Amplificador de Potencia o PA
4. El Ajuste de la Relación Voltaje/Corriente

Cada uno de los puntos anteriores tiene una secuencia de pasos a seguir para su revisión, como se verá en los siguientes párrafos.

1.- Revisión de la Operación del Excitador de RF.

- a) Se aplica la alimentación monofásica y trifásica, accionando el interruptor de Bajo Voltaje, S11 a la posición de encendido (On), y se mueve a la posición Apagado (Off) el interruptor S5, denominado Interruptor de Apagado del PA, ubicado en la Tarjeta de Control.
- b) Se pulsa el botón de Baja Potencia (LOW) y se mueve el selector del multímetro del panel frontal a la posición “Señal RF Relativa (Relative RF Drive)”, comparando la lectura con los Datos del Fabricante.
- c) Se comparan las lecturas del Multímetro de RF con las lecturas de la Prueba de Fábrica, tomando en cuenta que las lecturas de voltaje de D8A y D8B pueden diferir de los Datos del Fabricante, dependiendo del voltaje de alimentación del PA.

2.- Función Aumentar/Disminuir.

El intervalo de tiempo normal para llevar el nivel de potencia desde 0 a 60 KW es de aproximadamente 50 segundos. Por ejemplo, se puede disminuir el nivel de potencia a cero en las tres posiciones, Baja (LOW), Media (MED) y Alta (HIGH) potencia, pulsando el botón “Disminuir (LOWER)” por 10 segundos en cada posición, mientras simultáneamente se pulsa S4 en la Tarjeta de Control (S4 acelera el comando Aumentar/Disminuir por más de 5:1); lo anterior para comprobar el tiempo de operación mencionado.

3.- Revisión del Encendido del Amplificador de Potencia (PA).

- a) Se quitan los paneles traseros del compartimiento donde se ubica el Amplificador de Potencia y se reemplaza el fusible denominado F20 en T1 y todos los fusibles quitados de las Tarjetas de Fusibles.
- b) Se reinstalan los paneles traseros y se aplica la alimentación monofásica y trifásica al Transmisor. El interruptor de Bajo Voltaje, S11, debe estar en la posición “Encendido (On)” y el interruptor Apagado del PA, S5, en la posición “Apagado (Off)”.
- c) Se pulsa el botón “Baja (LOW)” potencia y debe observarse que la alimentación de 230 Vdc suba. Se comparan todas las lecturas del medidor con los datos de la Prueba de Fábrica y después se cambia el interruptor S5, a la posición de “Encendido (On)”.
- d) Se cambia la posición del selector del Multímetro de la posición PA +VDC a la posición “Detector de Nulidad de la Antena (DETECTOR NULL ANTENNA). El selector del medidor de potencia, debe estar en la posición FWD (mide la potencia directa).

e) Se aumenta la potencia RF de salida presionando el botón “Aumentar (RAISE)”, observando lo siguiente:

1. La potencia y la corriente deben aumentar.
2. La indicación del Detector de Nulidad de la Antena, puede comenzar a aumentar dependiendo del grado de desadaptación entre la carga de la Estación y la Carga de la Prueba de Fábrica, especialmente si el Transmisor está conectado a la Antena; esto puede ocasionar disparos de VSWR de la Antena (ANT VSWR) y evitar la operación a potencia completa hasta que éste circuito sea ajustado.
3. Si ocurre un disparo de VSWR de la Antena, se tendrá que ajustar el Detector del Angulo de Fase para el VSWR de la Antena en la Tarjeta del Monitor de Salida. También el Detector del Angulo de Fase para el VSWR del Filtro Paso Banda, puede requerir algún ajuste, pero debe ser hecho después de que los controles “Sintonía (TUNE)” y “Carga (LOADING)” sean ajustados para la relación correcta de corriente/voltaje del PA.

En resumen, se debe ajustar tanto el capacitor C15 como la bobina L4 en la Tarjeta del Monitor de Salida para una lectura mínima en el Multímetro en la posición DETECTOR NULL (ANTENNA) y para una lectura mínima en la posición DETECTOR NULL (FILTER), se debe ajustar el capacitor C29 y alguna de las bobinas conmutada por S6 del grupo de L12-L15 en la Tarjeta del Monitor de Salida.

4.- Ajuste de la Relación Voltaje/Corriente.

- a) Con una salida de potencia de 50 KW, la corriente de alimentación debe estar entre 210 Amps y 245 Amps, dependiendo del voltaje de línea. Los ajustes para la relación correcta de corriente/voltaje son hechos con la ayuda de los Datos del Fabricante utilizando los siguientes datos:

- Salida de Potencia (Medidor)
 - Voltaje del PA
 - Corriente del PA
 - Eficiencia del PA
 - Número de Escalones Encendidos
- b)** El control Aumentar, determina el número de escalones (Módulos del PA) encendidos. Cuando un Módulo PA está encendido, un led verde en el módulo se ilumina; con un voltaje PA de 235 Vdc, habría 47 módulos del PA encendidos, para una salida de 50 KW.
- c)** El control “Carga (LOADING)” ajusta la salida de potencia y corriente de alimentación del PA. Con un voltaje del PA de 235 Vdc, la corriente de alimentación debe estar entre 220 y 230 Amps.
- d)** El control “Sintonía (TUNE)” es ajustado para una salida de potencia pico. Este control es amplio, especialmente en el extremo inferior de la banda de onda media.

3.3.8 Modulación.

Verificar la modulación del Transmisor también implica ajustar el nivel de la muestra RF para los tres niveles de potencia que maneja el Transmisor, mediante algunos elementos de la Tarjeta del Monitor de Salida. El procedimiento para estos ajustes es el siguiente:

- a) Se fija la salida de baja potencia del Transmisor a la potencia más baja que será requerida para la operación normal.
- b) Se mide el nivel de voltaje RF en el monitor. Si el nivel debe ser incrementado ó disminuido, para encontrar los requisitos de voltaje de entrada del Monitor de Modulación, se ajusta el tap o derivación en la bobina denominada 2L7.
- c) Se quita el panel trasero del Compartimiento de la Red de Salida.
- d) Para disminuir el voltaje de la muestra del Monitor de Modulación, se mueve el tap más cercano al extremo aterrizado de la bobina 2L7 y para incrementarlo, se mueve el tap en dirección opuesta del extremo aterrizado de la bobina. El tap se mueve 1/4 de vuelta en la dirección deseada.
- e) Se reinstala el panel trasero del Compartimiento de la Red de Salida y se reaplica la alimentación AC desde el interruptor principal. Ahora se pulsa el botón de Baja (LOW) potencia.
- f) Se mide el voltaje de la muestra y se ajusta la bobina 2L7 hasta que se obtenga el voltaje de la muestra, deseado para el nivel de baja potencia.

Una vez obtenido el nivel deseado para la muestra de baja potencia, se continúa con los siguientes pasos:

- a) Se gira por completo el reóstato denominado R31 para el ajuste de la muestra de media potencia del Monitor de Modulación, en la Tarjeta del Monitor de Salida, en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- b) Se enciende el Transmisor en media potencia, o, si el Transmisor ya está encendido, se presiona el botón “Media (MED)” potencia, utilizando los botones “Aumentar (RAISE)” o “Disminuir (LOWER)”, para fijar el nivel de la potencia de salida.
- c) Se ajusta el reóstato R31 (se puede ajustar mientras el Transmisor está funcionando) en la Tarjeta del Monitor de Salida, hasta que el voltaje de la muestra en el Monitor de Modulación es el mismo que el que estaba en la posición de baja potencia.
- d) Se cambia el nivel de potencia del Transmisor a alta potencia con el botón “HIGH” en el panel frontal y se utilizan los botones “Aumentar (RAISE)” o “Disminuir (LOWER)” para fijar el nivel de potencia deseado.
- e) Se ajusta el reóstato R33 en la Tarjeta del Monitor de Salida hasta que el voltaje de la muestra del Monitor de Modulación, es el mismo, como el que estaba en los niveles de baja y media potencia.
- f) Se conmuta entre baja, media y alta potencia, para verificar que la muestra del Monitor de Modulación es la misma para los tres niveles de potencia. Si es necesario, se reajusta R31 ó R33.

Durante la revisión de la modulación, se monitorea la envolvente RF en un osciloscopio conectado en paralelo con el Monitor de Modulación. Para la revisión de una modulación adecuada a varios niveles de potencia, se utiliza el siguiente procedimiento:

- a) Se conecta un generador de audio a la entrada de audio.

- b)** Se enciende el Transmisor a baja potencia y se aplica una onda senoidal de audio, nivel bajo a 1 KHz y se aumenta la salida del generador hasta que el nivel de modulación sea de aproximadamente el 50%.

- c)** Se observa la señal RF modulada en el osciloscopio. La envolvente de modulación debe ser una senoidal alisada, sin escalones, cortes u otra distorsión (si se observa una envolvente distorsionada, se revisa el generador de audio con el osciloscopio para descartar un problema de distorsión).

- d)** Se cambia a media y luego a alta potencia; el Transmisor mantendrá el mismo nivel de modulación. De nuevo, se observa la señal RF modulada en el osciloscopio, donde la envolvente de modulación todavía debe ser una onda senoidal alisada.

- e)** Se aumenta la modulación a 95% de modulación pico negativa y se observa la forma de onda nuevamente en todos los niveles de potencia.

- f)** Se revisan todas las lecturas del medidor contra las hojas de datos de la Prueba de Fábrica, para las lecturas del medidor con modulación. Las lecturas del medidor deben ser cercanas a las lecturas de fábrica. Las lecturas de corriente del medidor en el panel frontal, dependen de la salida de potencia y el nivel de modulación, ya que el medidor lee la corriente promedio que regresa a la Fuente de Alimentación de Alto Voltaje. A causa de que el voltaje del PA se fija, la corriente del PA depende de la potencia de salida del Transmisor, la cual varía con la modulación.

3.3.9 *Audio.*

La sensibilidad de la Entrada de Audio del Transmisor se ajusta con el control “Ajuste de la Ganancia de Audio (Audio Gain Adj)”, en la Tarjeta de Entrada Analógica. Para éste ajuste se utilizan tres pasos:

1. Se determina el nivel de referencia de audio de la Estación para una modulación al 100%.
2. Se conmuta el Transmisor a media potencia y se fija el nivel de salida del generador de audio al valor de referencia de la Estación para una modulación del 100%.
3. En la Tarjeta de Entrada Analógica se localiza el reóstato R15, el cual es el control de ajuste de la ganancia de audio. Se ajusta el control para un nivel de modulación del 100%.

3.3.10 Ajuste del Estéreo AM.

El sistema estéreo no se utiliza en este caso en particular, ya que el equipo para realizar tal función es costoso y además otra de las razones de ésta situación, es que la mayoría de los receptores no tiene recepción estéreo para AM, por lo que resulta innecesario.

Al integrarse un Transmisor estéreo, se debe ajustar para minimizar la Modulación de Amplitud en Cuadratura (IQM), el incremento del ancho de banda RF y la reducción del ruido, como lo es el caso del Transmisor diseñado para minimizar estos aspectos. Para la interconexión estéreo se realiza lo siguiente:

- Se conecta la salida RF del excitador estéreo a través de un cable BNC al conector J2 en la Tarjeta del Oscilador. Después se mueve el jumper P3 a la posición 1-3, lo cual habilita la entrada externa.
- Si se utiliza AM estéreo, el control “Sintonía (TUNE)” se puede ajustar ligeramente de la potencia pico hacia la dirección inductiva (girando en sentido contrario a las manecillas del reloj) para minimizar el IPM. Este control no se debe ajustar más de 2000 W fuera de la potencia pico. La mejor eficiencia resulta en/o cerca de la potencia pico; el ajustar fuera de la potencia pico en la dirección capacitiva podría ocasionar sobrecalentamiento excesivo de los módulos amplificadores de RF.

Otros ajustes del Transmisor que tienen un efecto sobre la Modulación por Fase Incremental (IPM) son:

- El control “Ajuste del Excitador de RF con L2 (RF Driver Tune L2)”, es fijado normalmente por un DIP en el voltaje del Excitador D8A, en el Multímetro RF, cuando el Regulador Excitador está en la posición “Lazo Cerrado (Closed Loop)”. Normalmente el ajuste del Excitador es muy amplio y no causa problemas si se

ajusta en un rango razonable. El ajustar el control en el lado capacitivo de resonancia causará que los Excitadores operen menos eficientemente.

3.3.11 Batería de Respaldo.

Se utilizan tres baterías AA alcalinas como respaldo para la Tarjeta de Control en su operación sobre el modo de potencia y la memorización del nivel de potencia. Esta habilitará el Transmisor a regresar a operación en el correcto nivel de potencia después de una falla de energía AC, por más de 2 horas a 25°C. Un capacitor de 1 Faradio suministra el respaldo por fallas de energía para menos de 2 horas.

Las baterías se instalan después de que los circuitos de bajo voltaje han sido energizados para prevenir el drenado de las baterías por el capacitor de 1 Faradio. Las baterías pueden instalarse mientras el Transmisor está encendido. No se pueden utilizar pilas recargables, como pilas de NiCad, ya que el voltaje de estas pilas no es lo suficientemente alto para una operación fiable.

3.4 Grabación de las Lecturas.

La Grabación de las lecturas del medidor, debe ser hecha sólo con la señal portadora (sin modulación) y con modulación en uno o más niveles (al -95% debe ser el nivel uno). La forma que se presenta a continuación, es un bosquejo a seguir (tabla 3.4.1). Los datos deben ser tomados utilizando el sistema de antena principal y con una carga de prueba (se utiliza una carga de prueba con valor de $50 \Omega / 50 \text{ KW}$ que se enfría con ventilador).

DX-50 METER READING LOG												
FREQ. _____												
DATE _____												
	PA SUPPLY ON OR NO CARRIER			LOW	MED	HIGH	LOW	MED	HIGH	LOW	MED	HIGH
AUDIO MODULATING FREQUENCY	UNMODULATED CARRIER ONLY											
MODULATION %	0	0	0									
CARRIER POWER												
PA CURRENT												
FRONT PANEL MULTIMETER:												
-8V												
+8V												
-22V												
+22V												
RELATIVE RF DRIVE												
DET. NULL (ANTENNA)												
DET NULL (FILTER)												
PA SUPPLY +VDC												
RF MULTIMETER:												
PREDRIVER IDC												
PREDRIVER +VDC												
REGULATOR +15VDC												
DRIVER +VDC												
DRIVER IDC												
DRIVER SECT DBA +VDC												
DRIVER SECT DBB +VDC												
NUMBER OF STEPS												
	PA OFF					PA ON						
DC REGULATOR	A30J10 IN TEST POSITION					OKW		50KW 0% MODULATION		50KW 100% MODULATION		
B- at A30TP7												
B- at A30TB15												
ANALOG INPUT												
POWER CONTROL V	VOLTMETER				VOLTMETER			VOLTMETER			SCOPE	
DC + AUDIO TP7												

2290-014

888-2290-002

Rev. G1: Errata 8-92

WARNING: Disconnect primary power prior to servicing.

TABLA 3.4.1 Formato para la grabación de lecturas.

CONCLUSIONES.

- Un Transmisor de estado sólido como el descrito en éste trabajo tendrá un óptimo funcionamiento y un tiempo de vida útil, si se opera por debajo de su capacidad máxima de trabajo.
- La mejor antena para la transmisión de una señal de AM, es la de tipo monopolo plegado, debido a que tiene un patrón de radiación omnidireccional y es de bajo costo, al no tener que fabricar una torre de un ancho considerable (el cual está en función directa con el ancho de banda) y reduce la altura requerida tomando en cuenta que tenga un buen plano de tierra.
- La Planta Transmisora debe contar con dos planos de tierra, uno llamado Plano de Tierra de RF (compuesto por el sistema de radiales) y el Plano de Tierra que utiliza el Transmisor y el edificio de la Planta Transmisora, los cuales deben estar referidos a un punto en común llamado Panel de Referencia Único a Tierra.
- Un buen sistema de tierra permitirá tener una máxima protección tanto para el equipo como para la antena, con lo que se optimizará su funcionamiento y tiempo de vida útil, además, el tener un buen plano de tierra, permitirá la reflexión de la señal transmitida en su totalidad para de ésta forma evitar pérdidas, al no ser absorbida una parte por la tierra.
- En lo que concierne a los objetivos trazados, al término de éste trabajo se puede observar que se ha cumplido con ellos, dadas las explicaciones en los puntos más importantes del mismo, tales como la instalación y la puesta en marcha del Transmisor, así como también, éste trabajo deja un aporte de conocimientos, para servir como referencia a trabajos posteriores o como apoyo académico dada su estructura, lo que permite ejemplificar, una aplicación sobre la cual se pueden analizar diferentes conceptos de materias relacionadas a dicho tema.

BIBLIOGRAFIA.

A. EDMINISTER, Joseph, NAVI, Mahmood. *Circuitos Eléctricos*. 3a edición. España, McGraw – Hill / Interamericana de España, S.A.U., 1997.

E. FRENZEL, Louis. *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. México, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2003.

E. TIPPENS, Paul. *Física, Conceptos y Aplicaciones*. 3ª edición. México, McGraw – Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 1997.

GÓMEZ ROJAS, Juan Carlos, MÁRQUEZ HUITZIL, Jaime. *Geografía General*. México, Publicaciones Cultural, S.A. de C.V., 1993.

J. KING, G. *Radio*. España, Alhambra, 1981.

L. KRAUSS, Herbert, W. BOSTIAN, Charles, H. RAAB, Frederick. *Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicación*. Limusa, S.A. de C.V., 1992.

L. SCHILLING, Donald, BELOVE, Charles. *Circuitos Electrónicos, Discretos e Integrados*. 2ª edición. España, Marcombo, S.A., 1985.

RUIZ VASSALLO, Francisco. *Enciclopedia de la Radio, Televisión, HI – FI, Tomo Radio*. 3ª edición. Perú, Ediciones CEAC, S.A., 1990.

SÁNCHEZ LÓPEZ, Rafael. *Sistemas Electrónicos Digitales. Fundamentos para Procesamiento y Transmisión de datos*. México, Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V., 1993.

Enciclopedia Temática Océano. OCEANO Grupo Editorial, S.A., 1996, 8 Vols.

HARRIS ALIED. *Technical Manual (DX-50 Medium Wave Transmitter)*. Impreso en Abril de 1990 y Revisado en Agosto de 1992. Quincy Illinois, USA.

MESOGRAFIA.

Página Web: <http://www.wikipedia.com>

Página Web: <http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/propagación02.htm>

Página Web: <http://www.sapiensman.com> (Diccionario Técnico para Ingeniería Inglés/Español)

Página Web: <http://www.bdcast.com> (“Installation Methods for Protecting Solid State Broadcast Transmitters Against Damage from Lightning and AC Power Surges.pdf”)

Página Web: <http://www.adema.com> (“Instalación de una Planta Transmisora. Consideraciones útiles.pdf”)

Página Web: <http://www.cft.gob.mx> (“NOM-01-SCT1-93.pdf”)

Página Web: <http://www.schneider-electric.com.mx>

Página Web: <http://www.ANDREW.com>