

T/621.3/T73

**APLICACIÓN DE LA ONDA PORTADORA EN
LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN**

**A mis padres, a Ursula Herrera
y a Julia Salomé; pilares de mi
desarrollo como persona,
profesional y padre.**

**Un especial agradecimiento a los Ings. Hugo Pimentel, Tommy Escate,
William Carranza, Sergio Rodríguez, Jürgen Distler, Gigian Herbertahuer y
Sócrates Hurtado; amigos y mentores en mi formación profesional.**

CONTENIDO

1. Resumen.
2. Introducción.
3. Historia.
4. Principios de funcionamiento.
5. Método convencional en Líneas de Transmisión.
 - 5.1 Descripción del Sistema.
 - 5.2 Trampa de Onda.
 - 5.2.1 Bobina Principal
 - 5.2.2 Equipo de frecuencia patrón o de sintonía.
 - 5.2.2.1 Ajuste de Frecuencia simple.
 - 5.2.2.2 Ajuste de Frecuencia doble.
 - 5.2.2.3 Ajuste por ancho de banda.
 - 5.2.2.4 Auto afinación de la trampa de onda.
 - 5.2.3 Equipo Protector.
 - 5.2.4 Definición de las condiciones de bloqueo.
 - 5.3. Capacitor de acoplamiento.
 - 5.4. Unidad de Acoplamiento.
 - 5.4.1 Estructura de la Unidad de acoplamiento.
 - 5.4.1.1 Seccionador de puesta a Tierra.
 - 5.4.1.2 Descargador Primario.
 - 5.4.1.3 Bobina de derivación y de sintonía.
 - 5.4.1.4 Condensador de corte.
 - 5.4.1.5 Transformador de Aislación.
 - 5.4.1.6 Descargador de Sobre tensión en Atmósfera.

5.5 Cable Coaxial.

6. Criterios de Diseño para un Enlace de Onda Portadora en Línea de Transmisión.

6.1 Características del Sistema Eléctrico.

6.1.1 Trazo de la Línea.

6.1.2 Tipos de Estructuras.

6.1.3 Transposiciones.

6.1.4 Conductores de Fase y cables de Guarda.

6.1.5 Flecha de la Línea.

6.1.6 Resistividad del Terreno.

6.1.7 Impedancia de la Línea de Alta Tensión.

6.1.8 Niveles de Tensión.

6.2 Entorno Físico.

6.2.1 Temperatura.

6.2.2 Humedad.

6.2.3 Precipitaciones, Niebla y Polución.

6.2.4 Altitud.

6.2.5 Sismicidad.

6.2.6 Nieve.

6.3 Parámetros de Diseño.

6.3.1 Información a Transmitir.

6.3.2 Tipo de Canales.

6.4 Criterios de Diseño.

6.5 Dimensionamiento.

6.5.1 Estudio de Propagación.

6.5.1.1 Análisis Modal.

6.5.1.2 Atenuación del Enlace (At.).

6.5.1.3 Ruido Corona.

6.5.1.4 Ruido Impulsivo.

6.5.2 Relación Señal a Ruido (S/N)

6.5.3 Enlaces en cascada.

6.5.4 Ubicación de los Canales de Onda Portadora en
Espectro de Radio Frecuencia.

6.5.5 Relación Señal a Interferencia.

7. Aplicaciones en Líneas de Transmisión.

7.1 Redes telefónicas.

7.2 Telecontrol.

7.3 Transmisión de Datos.

7.4 Señales de Protección.

8. Aplicación de la Onda Portadora en Líneas de distribución.

8.1 Unidad Básica.

8.2 Unidad de Acoplamiento.

8.2.1 Unidad de Acoplamiento capacitivo.

8.2.2 Unidad de Acoplamiento Inductivo.

8.3 Aplicaciones.

8.3.1 Análisis de Atenuación de la señal.

8.4 Comparación Técnico-económica con otros medios de
comunicación.

9. Conclusiones y Recomendaciones

10. Bibliografía.

11. Anexos.

I. RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo, es mostrar las ventajas que se tendría con la utilización de la onda portadora en empresas de Distribución Eléctrica, así como las bondades técnico-económicas de la misma; por otra parte también se quiere mostrar lo que es la Onda Portadora en su ámbito común, como son las Empresas de Transmisión Eléctrica.

Este sistema de comunicación, cuyo canal de transmisión son las líneas eléctricas; en los últimos años ha venido sufriendo una serie de cambios que la han convertido en un medio de comunicación (aún en esta época) muy atractivo, siendo una aplicación conocida pero poco usada, el uso de ella en redes de distribución eléctrica.

La aplicación en este campo, no ha sido desarrollada hasta el momento en el Perú, pues es utilizada solamente en redes de Transmisión eléctrica por empresas de este rubro y últimamente por empresas mineras. Si las empresas distribuidoras de energía la utilizaran, conseguirían ventajas en el aspecto económico y sobre todo se conseguiría seguridad en el manejo de la información al contar con un medio de comunicación propio -un medio natural- como se mencionará más adelante; en donde no solamente el tema principal es hablar de llevar voz por la red eléctrica sino también datos, videos y tele protección.

II. INTRODUCCIÓN

Hasta solamente unos años, la gente creyó, que la fibra óptica por su versatilidad haría maravillas en las redes eléctricas y que esta tecnología permitiría una nueva gama de servicios generando una rentabilidad indeterminable en el campo de las telecomunicaciones. Como consecuencia de ello la tecnología de la onda portadora estuvo a punto de retirarse del mercado.

Aún así, solo en una parte moderada de las redes digitales de banda ancha, dentro de sus utilidades en los sistemas eléctricos se consiguió el aprovechamiento deseado. En la actualidad mientras las inversiones en redes digitales de banda ancha han vuelto a sus niveles pre-máximos, las inversiones globales en la tecnología del PLC (Power Line Carrier o Onda portadora) son mucho más altas a lo proyectado.

Actualmente se diseñan equipos con los últimos estándares tecnológicos (Siemens, ABB, Dimatic, Alcatel, etc.) y que proporcionan las normas de comunicación más altas para la protección de los sistemas eléctricos y que pueden ser integrados a otros sistemas de comunicación como fibra óptica o satélites.

Estas ventajas combinada con los costos bajos y la alta fiabilidad con que son reconocidos los sistemas de PLC, han conducido a un renacimiento notable de los mismos, que perfectamente se adecuan a los sistemas actuales de comunicación y pudiendo acomodarse a los del futuro, la onda portadora resulta hoy por hoy más atractiva que nunca.

III. HISTORIA

El uso de la red eléctrica como canal de comunicación de datos no es una novedad. La idea de comunicarse a través de la red eléctrica, surgió ya hacia 1920, año del que datan al menos dos patentes relacionadas con las comunicaciones Power Line (como se conocen mundialmente las comunicaciones por la red eléctrica). Hacia 1922, empezó a operar el primer sistema de frecuencia portadora (CFS) en las líneas de alta tensión, en el rango de frecuencias que va de 15 hasta 500kHz. Entonces, e incluso hasta la actualidad, la principal utilidad de estos sistemas era la de mantener la operatividad de las redes de suministro de potencia. Hacia 1930, los sistemas de onda portadora (RCS) ya eran operativos tanto para medio como para bajo voltaje. Hoy en día, la oferta comercial de dispositivos que utilicen este medio de transmisión sigue siendo escasa, a pesar de todos los adelantos tecnológicos hechos por contados fabricantes.

Por aquella época, no era mucho el ancho de banda disponible (pocos bits por segundo), pero esta tecnología permitió que las compañías de energía eléctrica pudieran balancear las cargas en los circuitos, entre otras tareas y tiempo más adelante, el envío de datos de sus contadores, considerándola de este modo como un medio natural para la administración de sus redes eléctricas.

IV. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Se tiene entendido que hacer comunicaciones, es mover información de un lugar a otro. Cuando transmisor y receptor están relativamente lejos uno del otro y además queremos mover altos volúmenes de información en un periodo corto de tiempo, entonces será necesario emplear una forma de comunicación máquina-máquina.

Tomemos como ejemplo comparativo los sistemas de televisión, que usan la separación de radio frecuencias para cada canal, así pueden transportar decenas o cientos de señales distintas en el mismo cable coaxial. Para cada emisora se asigna una cierta cantidad de ciclos por segundo, lo que permite a las cajas decodificadoras separar cada canal para mostrarlo en la pantalla de la televisión.

El servicio *PLC (Power Line Carrier)* funciona de manera similar. Las líneas de alta tensión son excelentes para transportar señales de radiofrecuencia, dado que el conductor es bastante amplio y existen pocas interferencias a raíz de la cantidad de energía que se transporta. Por ejemplo, una señal de 10 watts de potencia (la sexta parte de lo que consume un foco promedio, o bien la centésima parte de la energía empleada por un horno de microondas) puede viajar por un cable de alta tensión hasta 500 kilómetros sin necesidad de algún aparato que repita o amplifique la señal.

El método más adecuado para este tipo de comunicación es generar una señal electrónicamente ya que esta puede ser transmitida y detectada y por el hecho de que ella puede ser almacenada temporal o permanentemente.

El concepto básico de la teoría de comunicaciones es que una señal tiene al menos dos estados diferentes que pueden ser detectados. Los dos estados representan un cero o un uno, encendido o apagado, etc. Tan pronto como los dos estados puedan ser detectados, la capacidad de mover información existe. Las combinaciones específicas de estados (las cuales son conocidas como códigos) pueden representar cualquier carácter alfabético o numérico, y podrán ser transmitido en forma pura de información desde las máquinas para interactuar con, o en forma representativa (el código) que permita el reconocimiento de la información por los humanos.

La forma elemental para la generación de una señal electrónicamente sobre una línea de comunicación de grado de voz es conocida como onda senoidal, la cual también puede ser representada como un onda de tipo cuadrada, tal como se muestra en la fig.1.

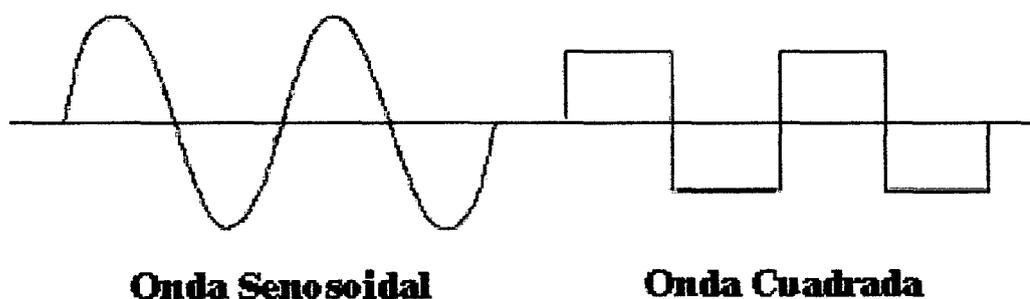


Fig.1

Una onda senoidal puede representarse matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$S(t) = A \text{ sen}(\omega t + \alpha) \dots\dots\dots \text{form.1}$$

donde:

A = Amplitud.

ω = Frecuencia angular.

t = Tiempo.

α = Ángulo de fase.

La onda senoidal a una particular frecuencia (el número completo de ciclos por unidad de tiempo) es aquella que empieza en un nivel cero, y alcanza gradualmente un nivel máximo y va decreciendo hasta llegar al nivel mínimo y continua así hasta completar el ciclo completo. A mayor número de ciclos por unidad de tiempo, mas alta será la frecuencia. La onda cuadrada sigue el mismo proceso que la onda senoidal, excepto que alcanza el máximo nivel (y el mínimo) en forma instantánea y permanece por un instante de tiempo, después cambia al mínimo nivel y permanece por un instante de tiempo hasta completar el ciclo completo. Este nivel máximo y mínimo representa un cero y uno (0 y 1) respectivamente.

Existen tres formas en la cual la señal senoidal puede ser cambiada para que la información pueda ser correlacionada, cuando esta no es posible de transmitir empleando directamente este tipo de ondas, debido a que las señales se atenúan muy fácilmente a ciertos rangos de frecuencia, estas son:

- variando la amplitud o magnitud de la señal.
- variando la frecuencia o el número de ciclos completos por unidad de tiempo.
- variando la fase, o la posición relativa en que la señal cruza el nivel cero.

Un ejemplo de esos cambios es mostrado en la fig. 2.

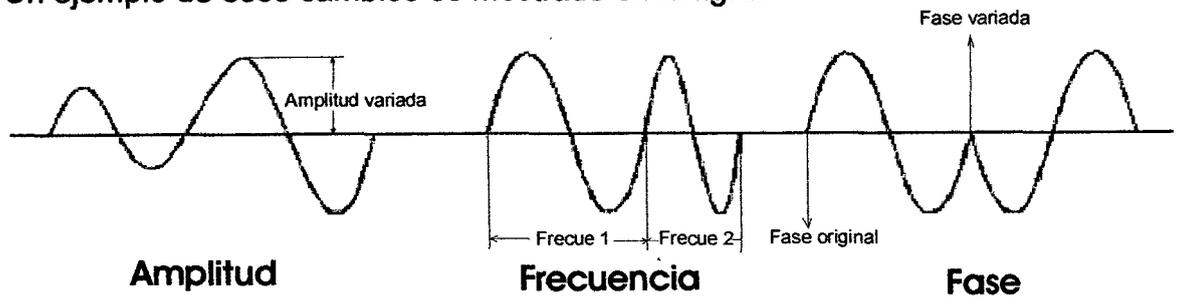


Fig. 2

La manipulación de esos cambios (de las ondas senoidales), es un proceso conocido como modulación / demodulación. La *modulación* es la capacidad inherente de tomar la información digital (ondas cuadradas) y modificar las frecuencias específicas de la señal portadora para que la información pueda ser transmitida de un punto a otro sin ningún problema. La *demodulación* es el proceso de regresar la información a su forma original. El análisis de estas ondas se efectúan con las series de Fourier.

Comentemos ahora los factores fundamentales que controlan el índice y la calidad de la transmisión de información, que son el *ancho de banda* que para cada canal, viene a ser el rango de frecuencias que este puede transmitir con razonable fidelidad una señal cuyas componentes de frecuencia ocupan un rango por ejemplo de 0 hasta un máximo de 5000 Hz. (5 kH), entonces el ancho de banda del canal será de 5 kH.

Para comprender el papel de cada canal, se considera la posibilidad de aumentar la velocidad de transmisión de la información mediante la *compresión* en el tiempo de la señal. Si una señal se comprime en el tiempo mediante un factor de dos, se podrá transmitir en la mitad de tiempo y la velocidad de transmisión se duplica. Sin embargo, esta compresión hace que las frecuencias

de la señal se dupliquen, teniendo que duplicarse también el ancho de banda de cada canal para evitar las distorsiones de la señal. De esta forma el índice de transmisión de información es directamente proporcional a cada canal. En resumen, si un canal de ancho de banda B puede transmitir N pulsos por segundo, entonces, para transmitir KN pulsos por segundo se necesita un canal de ancho de banda KB .

La *potencia* de la señal, desempeña un papel dual en la transmisión de información; primero esta relacionado con la calidad de la transmisión. Al incrementarse la potencia de la señal, se reduce el efecto ruido de canal, y la información se recibe con mayor exactitud, o con menos incertidumbre. Una mayor relación de señal a ruido (S/N) permite también la transmisión a través de una distancia mayor. En cualquier caso, una cierta S/N mínima es necesaria para la comunicación. Por último la potencia es intercambiable con el ancho de banda; así, es posible reducir el ancho de banda si se quiere aumentar la potencia o se puede reducir la potencia si se quiere aumentar el ancho de banda, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Finalmente, la potencia con que trabaja el punto transmisor no será igual a la que recibirá el receptor, esta pérdida se llama *atenuación* (A_t) y es posible determinarla en función de potencias (Watts), impedancias (ohms) , tensiones (volts.) o de los parámetros propios de la línea, tales como inductancias (L), capacitancias (C), admitancias (Y) o conductancias (G); ya sea esta de transmisión de energía o información.

Como se mencionó en el párrafo anterior, todos los sistemas reales tienen pérdidas y estas se dan por:

- Efecto Joule en los conductores y
- Pérdidas dieléctricas.

Podemos elaborar un modelo circuital incluyendo estas pérdidas, mediante una resistencia en serie, que modela las pérdidas por efecto Joule debidas a la circulación de corrientes en los conductores de la línea y una conductancia en paralelo, que modela las pérdidas dieléctricas mediante una conductividad equivalente del material (fig.3).

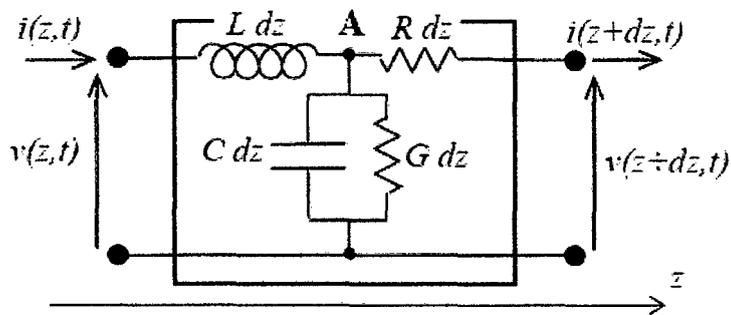


fig. 3

Para obtener las ecuaciones correspondientes para este modelo de línea con pérdidas, aplicamos la primera ley de Kirchoff en el nodo A:

$$i(z + dz) - i(z) = -G dz v(z) - C dz \frac{\partial v}{\partial t} \Big|_z \Rightarrow \frac{\partial i}{\partial z} \Big|_z = -G v(z) - C \frac{\partial v}{\partial t} \Big|_z$$

Recorriendo ahora la malla que recorre el circuito por la segunda ley de Kirchoff:

$$v(z + dz) - v(z) = -R dz i(z) - L dz \frac{\partial i}{\partial t} \Big|_z \Rightarrow \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_z = -R i(z) - L \frac{\partial i}{\partial t} \Big|_z$$

Obtenemos ecuaciones diferenciales acopladas, las cuales desacoplamos con derivadas cruzadas para obtener:

$$\left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_z = -R i(z) - L \left. \frac{\partial i}{\partial t} \right|_z \Rightarrow \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = -R \frac{\partial i}{\partial z} - L \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial z} = RGv + RC \frac{\partial v}{\partial t} - L \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial z}$$

$$\left. \frac{\partial i}{\partial z} \right|_z = -Gv(z) - C \left. \frac{\partial v}{\partial t} \right|_z \Rightarrow \frac{\partial^2 i}{\partial z \partial t} = -G \frac{\partial v}{\partial t} - C \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

De donde:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = RGv + (RC + LG) \frac{\partial v}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial z^2} = RG i + (RC + LG) \frac{\partial i}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}$$

Estas son ecuaciones diferenciales de tipo ondulatorio modificado. Quedan ecuaciones de onda de D'Alembert si consideramos pérdidas nulas ($R = G = 0$).

No existe solución general de estas ecuaciones como si, para un caso ideal. Sin embargo cualquier forma de onda físicamente realizable puede expresarse mediante una integral de Fourier (esto surge de que el cuadrado de cualquier onda de tensión y/o corriente, integrado en el tiempo es proporcional a la energía de la onda, que es acotada) y la resolución es simple para variaciones armónicas:

$$v(z, t) = v_s(z) e^{i \omega t} \quad i(z, t) = i_s(z) e^{i \omega t}$$

en notación fasorial. Con esta elección la ecuación diferencial para la tensión queda:

$$\frac{d^2 v_s}{dz^2} = [RG + i\omega(RC + LG) - \omega^2 LC] v_s \Rightarrow \frac{d^2 v_s}{dz^2} + \gamma^2 v_s = 0$$

con:

$$\gamma = \beta - i\alpha = \sqrt{\omega^2 LC - RG - i\omega(RC + LG)} = \sqrt{-(R + i\omega L)(G + i\omega C)} \dots\dots$$

..... **form. 2**

y se obtiene una ecuación similar para la corriente. Estas ecuaciones son llamadas ecuaciones de Helmholtz, donde el número de onda $\gamma = \beta - i\alpha$ es complejo, indicando una propagación con atenuación, causada por las pérdidas. Las ondas de tensión y corriente con número de onda complejo quedan:

$$v(z, t) = v_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)} \quad i(z, t) = i_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)}$$

donde se ve que las amplitudes decrecen a medida que la onda se propaga por la atenuación producida por las pérdidas. En la fig.4 se observan dos ondas armónicas de igual frecuencia, una en una línea ideal y la otra en una línea real con $\alpha = \beta/5$. La velocidad de propagación de las ondas es la velocidad de propagación de los planos de fase constante o velocidad de fase:

$$\omega t - \beta z = cte. \Rightarrow v_f = \omega / \beta$$

En general, la relación entre ω y β es no lineal por la presencia de la raíz cuadrada en la expresión de γ . Esto lleva a que la velocidad de las ondas dependa de la frecuencia, fenómeno conocido como dispersión de un paquete de ondas porque algunas componentes de Fourier viajan más rápido que otras.

Como:

$$\gamma = \sqrt{-(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \omega \sqrt{LC} \sqrt{(1 - iR/\omega L)(1 - iG/\omega C)}$$

Si:

$$R/\omega L = G/\omega C \Rightarrow \gamma = \beta - i\alpha = \omega\sqrt{LC}(1 - iR/\omega L) \dots\dots\dots\text{form. 3}$$

y se ve que en este caso la relación entre ω y β es lineal por lo que no hay dispersión.

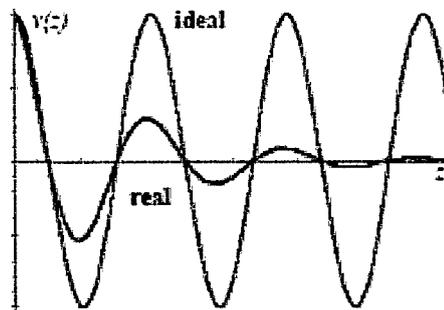


fig. 4

Las líneas que cumplen esta condición son entonces no dispersivas o no distorsivas.

Si definimos:

$$Z = R + i\omega L \quad (\text{impedancia serie por unidad de longitud})$$

$$Y = G + i\omega C \quad (\text{admitancia paralelo por unidad de longitud})$$

Tenemos:

$$\gamma = \sqrt{-ZY}$$

Si vinculamos nuevamente las ondas de tensión y de corriente mediante las ecuaciones deducidas, podemos obtener la expresión de la impedancia característica de una línea con pérdidas:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} = Z_0' + iZ_0''$$

..... form. 4

La impedancia característica compleja indica que hay un desfase temporal entre la onda de tensión y la onda de corriente para el mismo z en la línea.

En los casos prácticos, las líneas se usan para transmitir energía por medio de ondas guiadas. Por lo tanto es esencial minimizar las pérdidas de propagación; aquí entramos a hablar de líneas de bajas pérdidas cuando:

$$R \ll \omega L \quad G \ll \omega C$$

lo que equivale a decir que la potencia de pérdidas es mucho menor que la potencia media almacenada en el campo electromagnético (que se propagará como una onda) en la línea.

Podemos aproximar en este caso las expresiones de γ y Z_0 :

$$\gamma = \beta - i\alpha = \sqrt{-ZY} = \sqrt{-(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \sqrt{\omega^2 LC \left(1 - i\frac{R}{\omega L}\right) \left(1 - i\frac{G}{\omega C}\right)}$$

de donde:

$$\beta \approx \omega\sqrt{LC} \quad \alpha \approx \frac{\beta}{2} \left(\frac{R}{\omega L} + \frac{G}{\omega C} \right) \ll \beta$$

..... form. 5

En esta aproximación la velocidad de las ondas será:

$$v_f = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

y es la misma para cualquier frecuencia, de modo que para bajas pérdidas no hay dispersión.

Debido a la velocidad finita de propagación, existe un retardo de las señales al atravesar una línea. Este retardo de propagación se mide en s por m de línea y es la inversa de la velocidad en la línea:

$$\tau_P = 1/v_f = \sqrt{LC}$$

La impedancia característica es , con similares aproximaciones:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C} \frac{1 - iR/\omega L}{1 - iG/\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{\left(1 - i\frac{R}{\omega L}\right)\left(1 + i\frac{G}{\omega C}\right)}$$

que aproximadamente es:

$$\sqrt{\frac{L}{C}} \left[1 + \frac{i}{2} \left(\frac{G}{\omega C} - \frac{R}{\omega L} \right) \right] \dots\dots\dots \text{form. 6}$$

de donde:

$$Z_0 = Z'_0 + iZ''_0$$

con:

$$Z'_0 \equiv \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Resultando:

$$Z_0'' \approx \frac{Z_0'}{2} \left(\frac{G}{\omega C} - \frac{R}{\omega L} \right) \ll Z_0' \quad \dots\dots\dots \text{form. 7}$$

Reacuérdesse que β tiene por unidades *rad/m*, mientras que la unidad de α son *neper/m* o *dB/m*. Suele usarse la unidad de dB/m, donde: $\alpha(\text{dB/m}) = 20 \log_{10}(e) \alpha(\text{neper/m}) \approx 8.686 \alpha(\text{neper/m})$ y donde un dB ≈ 0.115 Néper.

Las unidades para la atenuación, pueden ser relacionadas en forma práctica, en función de potencias de la forma siguiente:

$$A_t = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s}{P_e} = \text{Néper} \quad \dots\dots\dots \text{form.8}$$

donde P_s y P_e es la potencia de salida y entrada respectivamente.

El *Bel (B)*, es en honor a Alexander Graham Bell quien fue el pionero en trabajar con el sonido y originada en 1910, en los laboratorios de AT&T y fue originalmente definido para términos de potencia sonora pero para nuestro caso, lo usamos para comparar niveles de potencia eléctrica, indicando los valores positivos de B el incremento de la potencia mientras que los negativos indican el decrecimiento. Se obtiene de la siguiente relación:

$$B = \log \frac{P_s}{P_e} = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Entrada}} \quad \dots\dots\dots \text{form.9}$$

Pero desde que el B es grande, fue introducido el *deci-Bel* o dB (la décima parte del Bel):

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_s}{P_e} \quad \dots\dots\dots \text{form.10}$$



Todos los equipos de comunicación tienen cierto valor de *potencia de transmisión (Tx)*; esta potencia es calculada como la cantidad de energía entregada a través de un definido ancho de banda y es usualmente medido en alguna de estas dos unidades:

- W.- nivel de potencia linear, expresado en Vatios (Watts).
- dBm.- nivel de potencia relativo, referenciado a 1 miliwatt.

Se utilizan para expresarlas las siguientes relaciones:

$$\text{dBm} = 10 \log \frac{\text{Potencia en Watts}}{0.001 \text{ W}} \dots\dots\dots \text{form.11}$$

$$\text{W} = 0.001 \times 10 \frac{\text{Potencia en dBm}}{10 \text{ dBm}} \dots\dots\dots \text{form.12}$$

Por ejemplo, un Tx tiene una potencia de +25 dBm, significa que transmite con 0.3 W o 316 mW. Si la potencia de Tx es de +26 dBm, significa que transmite con 0.4 W o 410 mW.

La relación de dos niveles de potencia (entrada y salida de un amplificador, por ejemplo); o una longitud de línea de transmisión es expresada logarítmicamente según la formula 4, pero se pueden conseguir iguales resultados en función de los voltajes cuando estos son medidos en partes del sistema donde la relación V/i (impedancia de transmisión) es la misma, así tenemos:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{V_s^2}{V_e^2} = 20 \log \frac{V_s}{V_e} \dots\dots\dots \text{form.13}$$

O en función de las corrientes:

$$\mathbf{dB = 10 \log \frac{I_s^2}{I_e^2} = 20 \log \frac{I_s}{I_e} \dots\dots\dots \text{form.14}}$$

Donde el subíndice “s” y “e” representan la salida y entrada respectivamente.

Que quede claro que el dB es una relación de dos cantidades, no un valor absoluto (para intensidades de sonido medidas en el aire, una intensidad de potencia de 10^{-12} W/m², que es el nivel de referencia. Esto no es lo mismo que un mW, y de hecho ellos se refieren a diferentes cantidades físicas).

V . METODO CONVENCIONAL EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

5.1 Descripción del Sistema:

Para la transmisión de frecuencias portadoras por líneas de alta tensión en el rango de frecuencia de 28 kHz a 500 kHz (rango que es utilizado por los equipos actuales de onda portadora) y con ajustes en un ancho de banda de 2, 2.5, 3.75, 4, 5, 7.5 o 8 kHz en donde son encausados los servicios a ser transmitidos; las corrientes de alta frecuencia de los equipos de transmisión tienen que aplicarse a las líneas o derivarse de ellas en puntos adecuados. Al hacerlo, ni el personal de servicio, ni los equipos conectados deberán peligrar debido a la alta tensión.

Capacitares y bobinas son utilizados para inyectar y extraer señales de la línea; la inyección de la frecuencia puede efectuarse entre fase – tierra, fase – fase o entre sistemas, dependiendo de la configuración de la línea, de la resistividad del terreno o del sistema de puesta a tierra (se tocará estos puntos en detalle en los incisos siguientes).

La velocidad de transmisión de los PLC actuales a través de las líneas de tensión es de 64 kbps, fraccionándose la información en bloques para luego utilizarse la modulación tipo QAM (Quadrature Amplitude Modulation) que es una técnica de modulación digital en la que la información va ser modulada tanto en amplitud y fase para dar lugar a la salida analógica, utilizándose como interfase digital la X.21 que permite la transmisión transparente de información

a 64 kbps en canales de 8 kHz (como ya se mencionó en un inicio). En conclusión, un enlace de Onda Portadora esta conformado por los elementos citados a continuación y graficados en la fig.5.

- El equipo de onda portadora o PLC (Power Line Carrier) propiamente dicho y cuyo diagrama de bloques mostramos en la fig. 6.
- La unidad de acoplamiento.
- El transformador de acople capacitivo.
- La bobina de bloqueo o trampa de onda.
- El cable de alta frecuencia o cable coaxial.

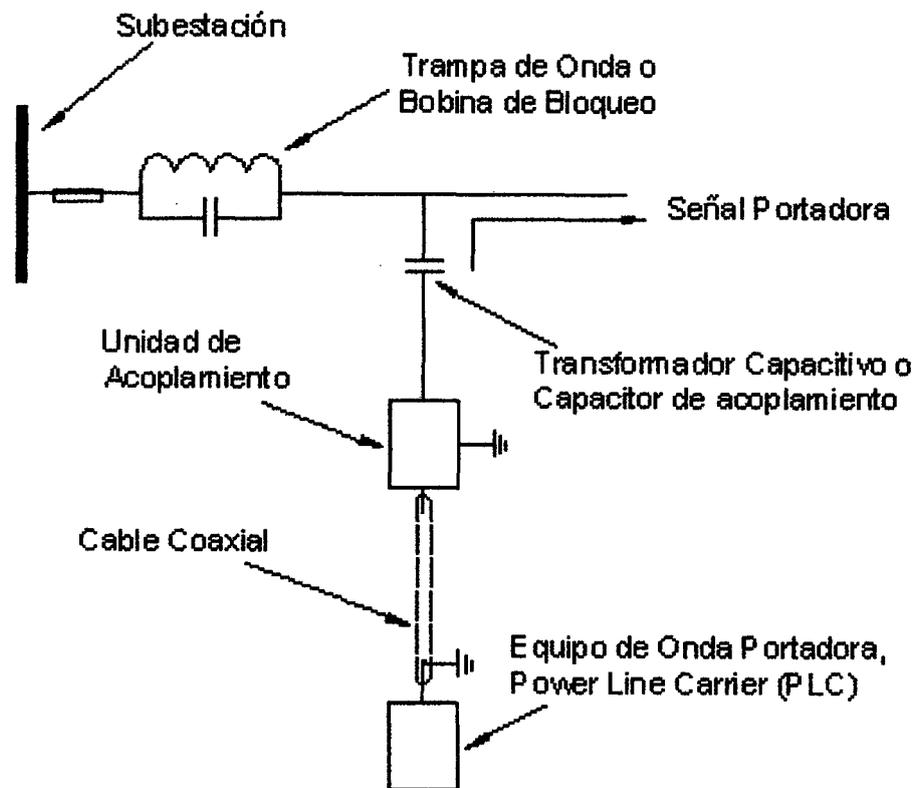


fig. 5

Existiendo del lado del receptor -al otro lado de la línea de alta tensión- exactamente lo mismo.

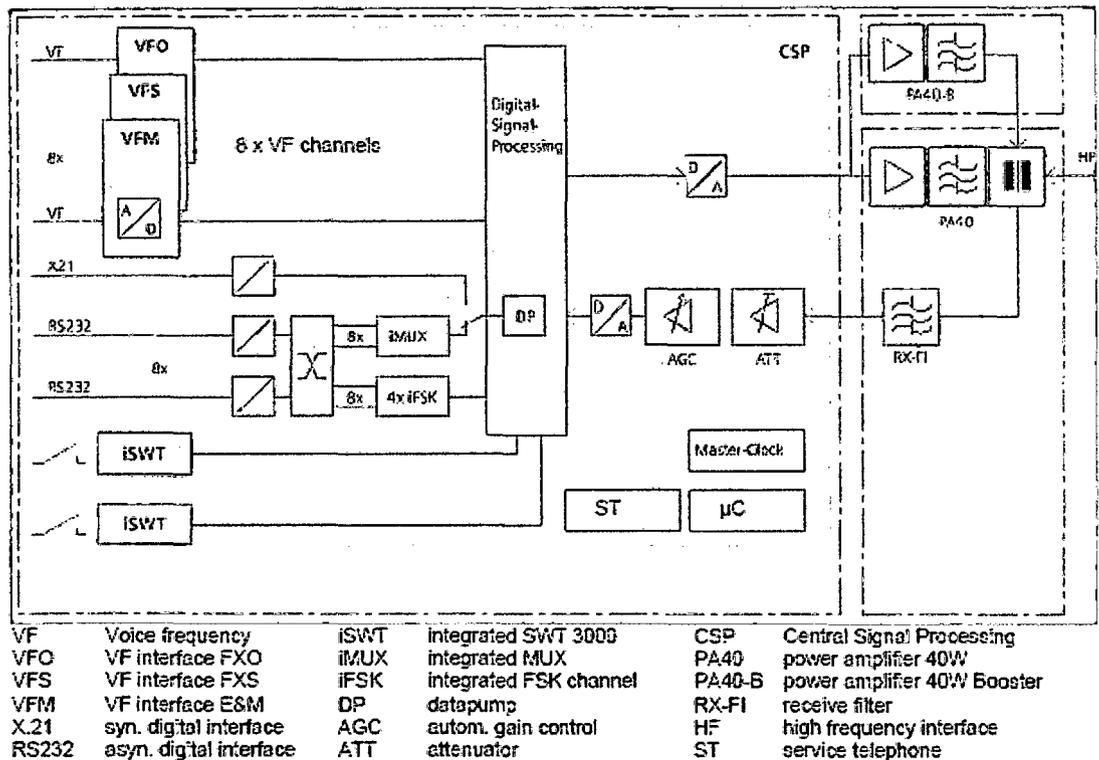


fig. 6

5.2 Trampa de Onda:

También llamada bobina de bloqueo, es un tipo de bobina de potencia con un núcleo de aire seco, destinado a ser instalado en serie a una línea de alta tensión (fig. 7). Su impedancia debe ser despreciable a la frecuencia de la red, de manera de no perturbar la transmisión de energía, pero debe ser selectivamente elevada en cualquier banda de frecuencia utilizable para la transmisión por onda portadora.

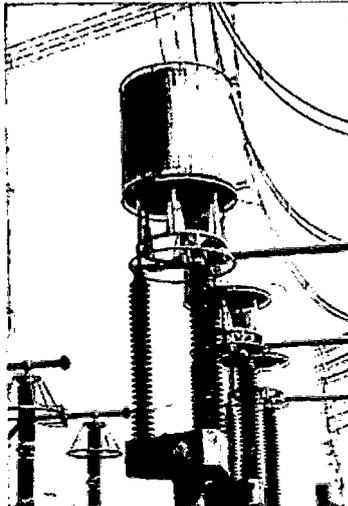


fig. 7

El equipo consiste (según ANSI C93.3 e IEC 353) de un inductor o bobina principal, el equipo de frecuencia patrón (o de sintonización) y un dispositivo de protección; cuyo circuito y representación esquemática se muestran en la fig.8, formando de esta manera un *filtro pasa bajo*.

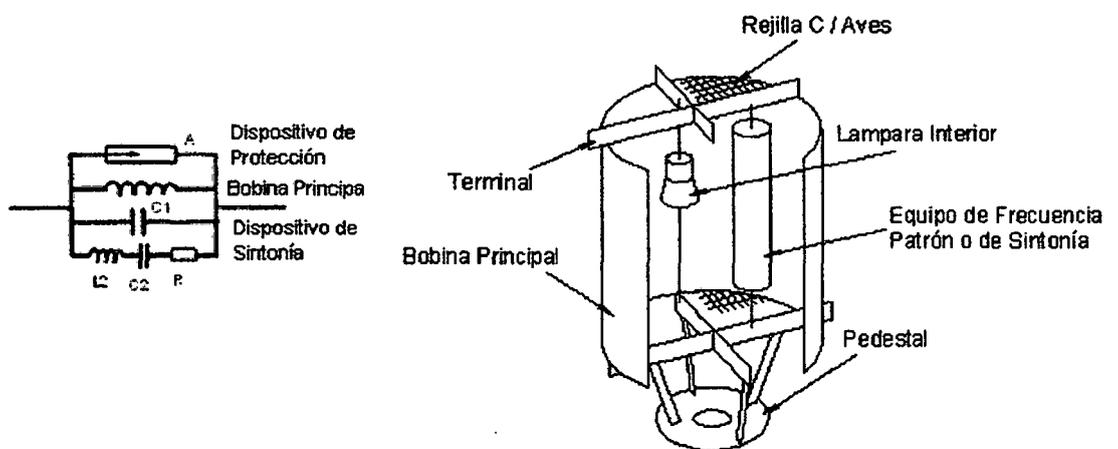


fig. 8

En conclusión las trampas de onda impiden el flujo de señales de frecuencias portadoras en una dirección no deseada o a la instalación de alta tensión y cuyos valores recomendados y mínimamente especificados son los siguientes:

- **Valores de Inductancia de la Bobina Principal**

0.2 – 0.25 – 0.4 – 0.5 – 1.0 – 2.0 mHr.

Los valores preferidos están subrayados.

El valor se selecciona de acuerdo con el tipo de trampa usada, la corriente nominal y de corto tiempo y la impedancia característica de la línea (ver anexo 1).

- **Corriente Continua Nominal**

100 – 200 – 400 – 630 – 800 - 1000 - 1250 - 1600 - 2000 – 4000 A

Los valores preferidos están subrayados.

- **Corriente de Corto Tiempo**

2,5 - 5 - 10 - 16 - 20 - 25 – 31.5 - 40 - 50 - 63 kA eficaz

Los valores preferidos están subrayados.

- **Coordinación de Corrientes Continuas Nominales y Corrientes de Corto Tiempo.**

Para esta coordinación existen dos (2) series con respecto a la capacidad de corto del sistema, tal como se ilustra en el anexo 1.

Serie 1: para requerimientos normales

Serie 2: para requerimientos fuertes (únicamente para inductancias hasta 1,0 mH).

5.2.1 Bobina Principal:

La bobina principal de una trampa de onda, se encuentra en el mercado en dos diseños:

- Diseño encapsulado, que utiliza alambres o cables de aluminio y
- Diseño de estilo abierto (fig. 9), cuyo conductor lo conforma barras planas de aluminio.

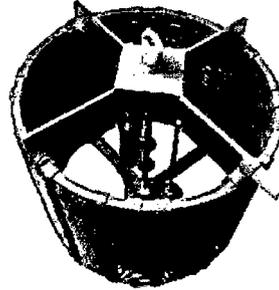


fig. 9

Ambas tecnologías obedecen a los sistemas de tensión y requisitos de los PLC's y su valor inductivo es siempre mayor al especificado, siendo el diseño encapsulado el de mayor aceptación.

5.2.2 Equipo de Frecuencia Patrón o de Sintonía:

Es el equipo sintonizador que conectado a través del bobinado principal, forman el circuito de bloqueo, el cual proporciona una alta impedancia muy por encima del rango de frecuencia especificado para el PLC.

Este accesorio (también llamado dispositivo de sintonización) consiste de condensadores, inductores y resistencias todos con valores de tensión bajos en relación al bobinado principal y dependiendo ellos del tipo de sintonización.

Para un buen bloqueo de frecuencias, debe de especificarse que el potencial exista en la resistencia de bloqueo mínima, para que el componente reactivo de la impedancia de la trampa de onda resuene

con la impedancia de la Sub estación, pudiéndose extenderse los anchos de banda aumentando la inductancia del bobinado principal.

Existen los siguientes tipos de ajustes para conseguir la sintonización donde usamos las siguientes variables:

- Z : Impedancia de Bloqueo
- R : Componente Resistiva
- f : Frecuencia portadora
- f_m : Frecuencia Resonante (Geometric Mean Frequency GMF)
- $f_1 f_2$: Frecuencias Límites de la Impedancia de Bloqueo
- $f_1 f_2$: Frecuencias Límites de la Impedancia Resistiva de Bloqueo.

5.2.2.1 Ajuste de Frecuencia Simple:

Si se requiere bandas de bloqueo reducidas , estas requerirían un ajuste de frecuencia simple , siendo esta la forma más económica de conseguir los ajustes requeridos. La fig. 10 muestra un esquema típico y característico de bloqueo; dentro de esta banda estrecha sin embargo, la alta impedancia de bloqueo puede proporcionar un excelente aislamiento a la señal del PLC.

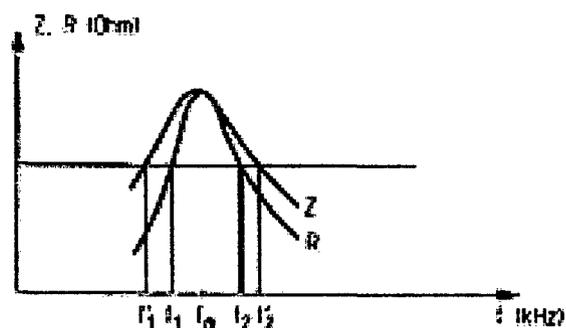


fig. 10

5.2.2.2 Ajuste de Frecuencia Doble:

El ajuste de frecuencia doble arregla dos bloques de bandas de frecuencia relativamente estrechas. Por otra parte la característica de bloqueo es similar a la de ajuste de frecuencia simple.

Para un correcto funcionamiento con un apropiado aislamiento de los ajustes de banda, se utiliza una separación de frecuencia mínima que debe mantenerse entre los ajustes de frecuencia máximos. Esto es de 25 kHz o 25% de la cresta de la frecuencia de ajuste o afinación (fig.11).

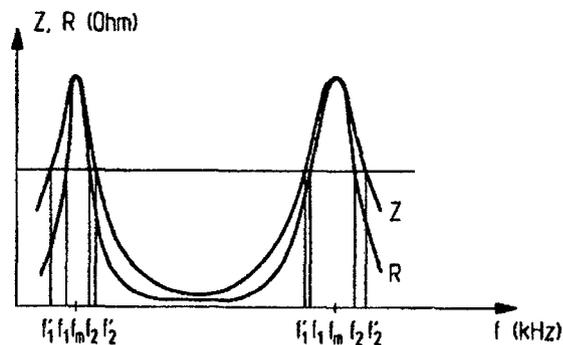


fig. 11

5.2.2.3 Ajuste por Ancho de Banda:

El ajuste por ancho de banda (fig. 12), es el tipo de ajuste más común y eficiente, cuya característica es usar la inductancia del bobinado principal. Estos ajustes son convenientes para las aplicaciones de multi-canales, desde que la impedancia - relativamente constante- se obtiene encima de un rango amplio de frecuencia. Este tipo de ajuste mantiene la flexibilidad del ancho de banda para futuros cambios y expansiones de frecuencias del PLC.

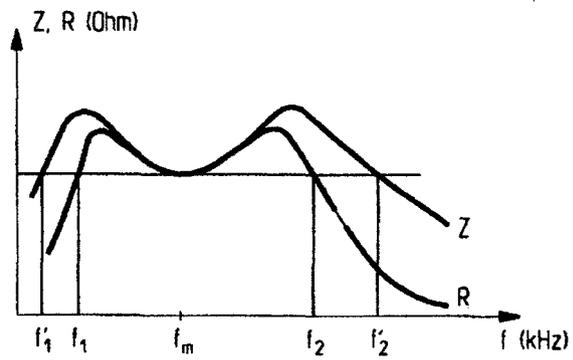


fig. 12

5.2.2.4 Auto Afinación de la Trampa de Onda:

La auto afinación de las trampas de onda no requiere del uso de equipos de ajuste (sintonización). Las características de bloqueo se muestran en la fig. 13 y se logra utilizando simplemente la misma capacitancia del bobinado principal. La inductancia en una auto afinación de una trampa de línea es más alta que la de cualquier ajuste de frecuencia en la trampa.

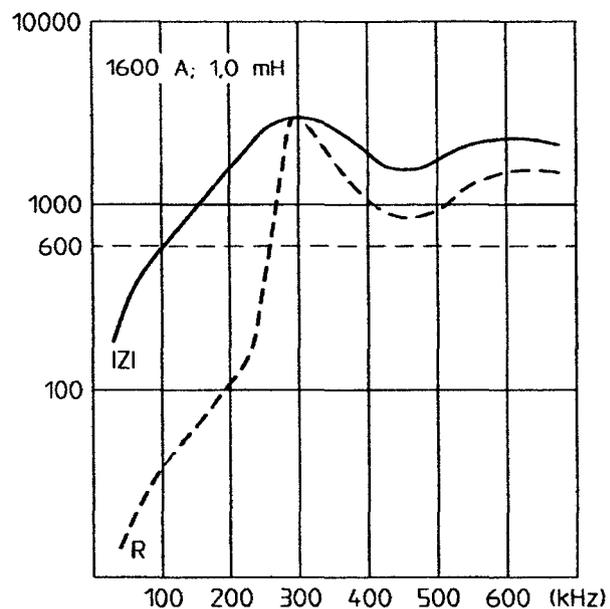


fig. 13

5.2.3 Equipo Protector:

El equipo protector tiene por función detener cualquier sobre tensión, estando conectado en paralelo con la bobina principal y el equipo de frecuencia patrón; protegiéndolos de cualquier sobre voltaje transitorio y nivelándolos a los correspondientes voltajes de distribución a su correspondiente clase de aislamiento.

5.2.4 Definición de las Condiciones de Bloqueo:

Los requerimientos de bloqueo de las trampas de onda, dependen de la impedancia característica de la línea de transmisión (**ver anexo 2**), donde será utilizada la onda portadora y estos pueden ser especificados de acuerdo a los siguientes términos:

- **Impedancia de Bloqueo (Z_b):** Z_b es la impedancia completa de la trampa de onda, dentro del rango de frecuencia especificado para el PLC.
- **Resistencia de Bloqueo (R_b):** R_b es el valor de la componente resistiva de la impedancia de bloqueo, dentro del rango de frecuencia especificado para el PLC.
- **Perdidas en Derivación (A_t):** A_t , también conocido como "Perdidas de Inserción", vienen a ser una medida de las pérdidas de potencia, alimentadas por la frecuencia portadora debido a las señales de bloqueo de la trampa de onda. El valor de las pérdidas en derivación de una trampa de onda ideal, debe de ser muy bajo, casi cero.
- **Atenuación de Bloqueo (A_b):** A_b , es una medida relativa de las señales de transmisión de la frecuencia portadora, que entra a entrapar una sección del circuito en la red. El valor de A_b en una trampa de onda ideal debe de ser infinitamente alto.

- **Frecuencia Central (fc):** fc, es la frecuencia media de f1 y f2, frecuencias limitantes del ancho de banda bloqueado.

$$f_c = \sqrt{f_1 \times f_2} \dots\dots\dots \text{form.15}$$

El cálculo de las Pérdidas en Derivación (At) y la Atenuación de Bloqueo (Ab), se calcula de la siguiente manera, donde:

Z1 = Impedancia característica de la línea.

Zs = Impedancia de la Sub estación y es asumida con 0 ohms.

$$A_t \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{Z_1}{2Z_b} \right) \dots\dots\dots \text{form.16}$$

$$A_b \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{Z_b}{Z_1} \right) \dots\dots\dots \text{form.17}$$

5.3 Capacitor de Acoplamiento:

Dimensionados para la tensión nominal y suficientemente resistentes contra altas tensiones, tiene por función acoplar las altas frecuencia del sistema de onda portadora a la línea de alta tensión, actuando de esta manera como soporte de comunicaciones; la fig. 14 muestra su comportamiento como tal además de su circuito eléctrico.

Los transformadores de tensión capacitivos pueden cumplir las funciones de transformador de tensión y de capacitor de acoplamiento para las altas frecuencias que sostienen la comunicación ya que estos transformadores presentan una baja impedancia a la frecuencia portadora y una alta impedancia a la frecuencia industrial, comportándose así como un *filtro pasa alto*. Los

valores típicos de capacitancias son de 1250 a 20000 pF para niveles de tensión de línea de 69 kV a 735 kV. (Anexo3). El valor de la capacitancia es importante para la coordinación apropiada de los componentes de acople de la onda portadora que están listados en el Anexo 4. Se deben de presentar para la selección los siguientes valores:

- Tensión admisible con onda de impulso de 1,2 / 50 microsegundos.
- Capacidad nominal.
- Tensión resistida a 50 / 60 Hz, durante un minuto (seco)
- Pérdida de inserción máxima.

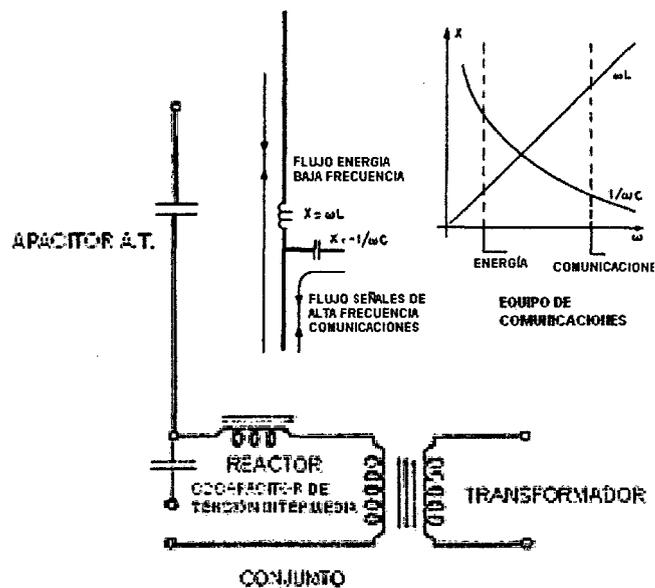


fig. 14

Un capacitor de acoplamiento debe de reunir las siguientes características:

- Estabilidad de la capacitancia en un largo periodo de tiempo.
- Dilatación del aceite lubricante para un limpiado del revestimiento de acero. Al soltar el fluido aislante, que corre bajo la porcelana, si se produce una mancha de aceite ello es una clara indicación visual de algún problema.

- Las porcelanas de alta tensión deben de tener capacidad anti sísmica y dar la facilidad de montar las trampas de onda sobre ellas (fig. 15). Este tipo de montaje, reduce el espacio requerido en la mayoría de subestaciones, mientras se facilita la conexión eléctrica entre las trampas de onda y los CVT. La conexión mecánica entre las dos unidades también sirve como conexión eléctrica.

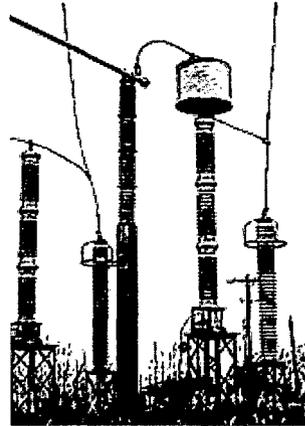


fig. 15

5.4 Unidad de Acoplamiento:

Elemento del enlace por onda portadora que conforma un circuito pasa alto (fig. 16), que permite a partir de una frecuencia mínima f_u , determinada por el tamaño de los condensadores de acoplamiento, transmitir hasta 500 kHz en la banda de frecuencias portadoras previstas para el PLC.

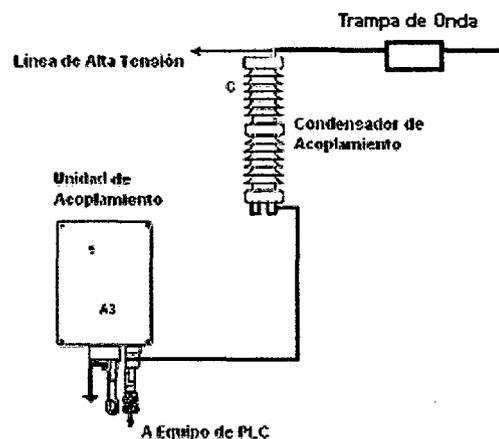


fig. 16

Debe presentar minimamente los siguientes valores:

- Pérdidas de inserción máximas.
- Banda de frecuencia o rango.
- Atenuación de retorno mínima.

En este accesorio se encuentra el filtro de acoplamiento, el sistema de protección de acoplamiento, el seccionador de tierra y el transformador de aislamiento (fig. 17), elementos con los cuales se pueden abarcar todos los casos de acoplamiento, que deben de hacerse teniendo en cuenta el grado de seguridad con que se prevé transmitir la información; estando directamente ligado a:

- La importancia de la línea que se quiere proteger.
- La importancia del sistema eléctrico al cual pertenece.

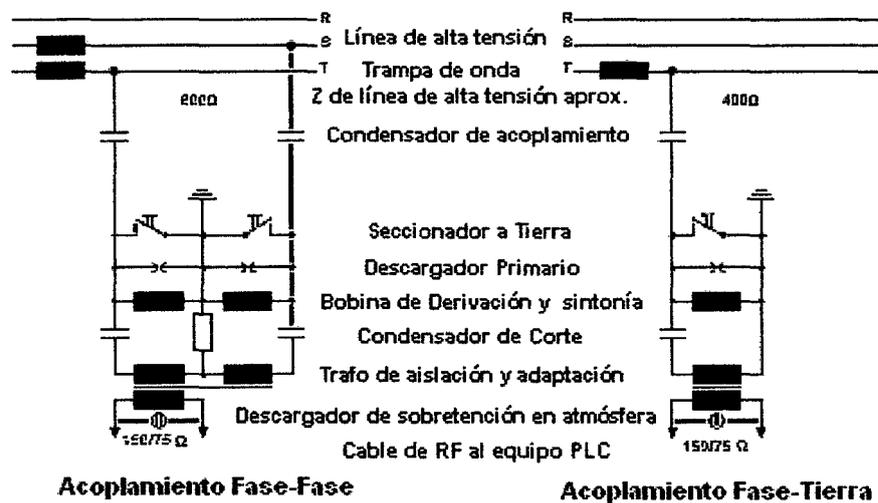


fig.17

Se consideran las siguientes configuraciones de acoplamientos:

- **Fase - Tierra;** este tipo de acoplamiento podrá ser utilizado en líneas de menor relevancia ya que se caracteriza por el menor costo. Las

condiciones de instalación son más simples y más rápidas. Presenta como principal inconveniente que en caso de falla de uno de los elementos de la cadena de RF en las estaciones extremas de la línea, se pierde totalmente el medio de comunicación (fig 18).

Presenta una atenuación mayor que la de un acoplamiento fase a fase. Debe de ser analizada cuidadosamente la condición con una falla de puesta a tierra, debido a que la transmisión de los modos de propagación, no es exclusiva de la fase que se ha puesto a tierra. En general, se prefiere utilizar este tipo de acoplamiento donde la línea puede permanecer relativamente estable aun sin transmitirse un disparo de teleprotección. Respecto del tema interferencia, esta forma de acoplamiento es más afectada que el caso de un acoplamiento fase a fase.

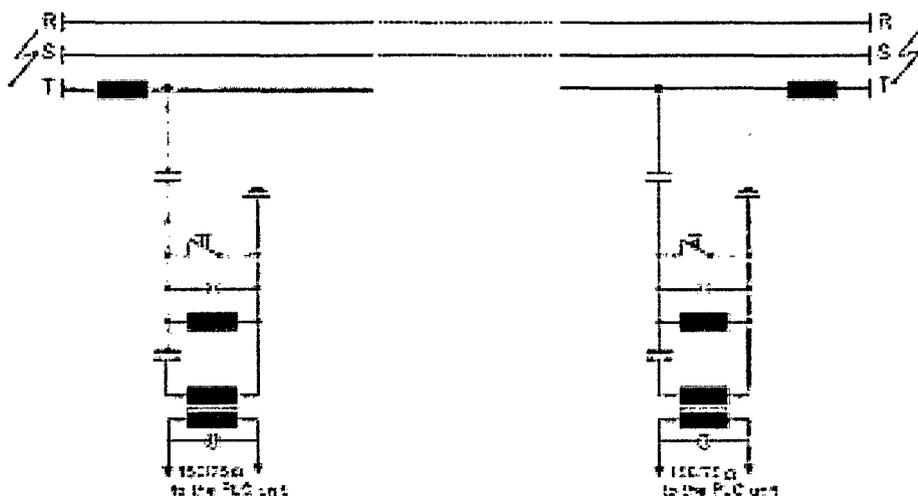


fig. 18

- **Fase - Fase;** este tipo de acoplamiento es utilizado en líneas de gran importancia, donde el efecto de su costo no será determinante en su elección (fig.19).

Su instalación es más compleja, pero presenta la gran ventaja que en caso de falla en alguno de los elementos de la cadena de RF, así como en presencia de falla por puesta a tierra de una fase, solamente se incrementa la atenuación y consecuentemente empeora la relación señal a ruido (S/N) pero sin pérdida del medio de comunicación.

Presenta una atenuación baja y es menos afectada por interferencias, todo lo cual la hace que posea mayor seguridad y sea recomendable su uso en la mayoría de las instalaciones.

La disposición de montaje más conveniente resulta la de dos unidades (filtros) de acoplamiento independientes en configuración fase a tierra. Esta solución presenta ventajas con respecto a ubicar el transformador en el exterior ya que mantiene la impedancia de los circuitos hasta llegar a los equipos de OP.

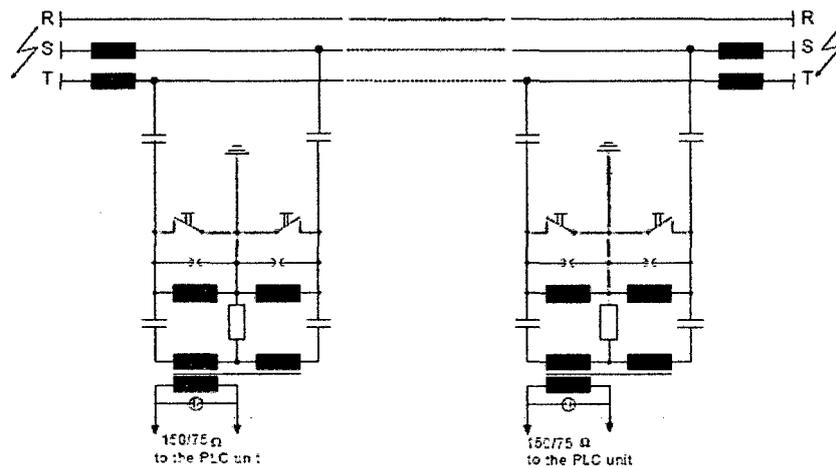


fig. 19

- **Entre sistemas;** este tipo de acoplamiento podrá ser utilizado en el caso de una doble terna (fig. 20). Deberá adoptarse una de estas dos variantes:
 - a Un acoplamiento fase a tierra en cada una de las dos líneas, pero balanceados entre ellos como si fuera un acoplamiento fase a fase.
 - b Un acoplamiento fase a fase en cada una de las dos líneas, pero balanceado entre ellos como si fuera un doble bifásico.

La elección de una u otra configuración dependerá de la necesaria seguridad en la transmisión de la información de esas líneas. La principal ventaja de este tipo de acoplamiento, radica en que si se transmite la información de ambas líneas por el sistema de OP así

configurado, se tendrá permanente comunicación aunque una de las dos líneas se encontrara fuera de servicio (redundancia de envíos).

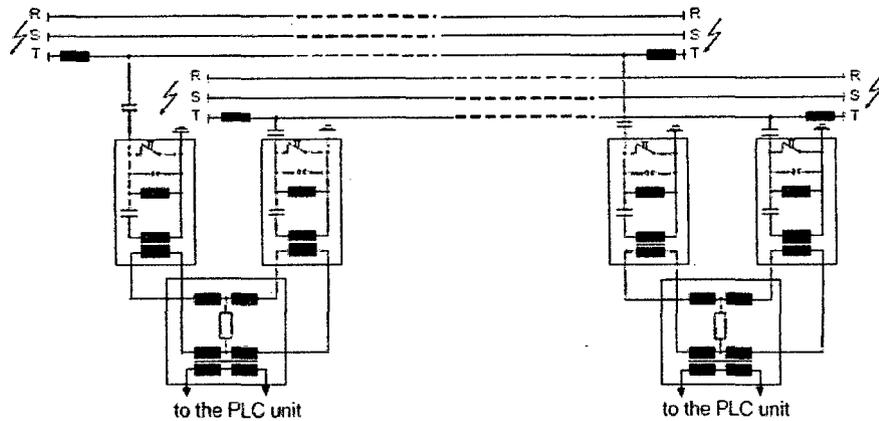


fig. 20

Por razones económicas se emplea con frecuencia el acoplamiento fase a tierra, el cual en general es también técnicamente suficiente, siempre que no se trate de líneas de altísima tensión con nivel alto de perturbación de señal o de grandes distancias. En la mayor parte de las tareas de teleprotección de la línea es sin embargo necesario el empleo de acoplamiento entre dos fases o entre sistemas sin dar importancia al alto costo, que estos representarían.

5.4.1 Estructura de Unidad de Acoplamiento:

Con excepción de los seccionadores de tierra todos los elementos de la unidad de acoplamiento van instalados en una caja de fundición a presión, prensada en aluminio, resistente al agua de mar, recubierta con una superficie de laca especial para intemperie.

5.4.1.1 Seccionador de Puesta a Tierra:

Uno o dos seccionadores de puesta a tierra para 250 A. Con ojete para accionarlos (fig. 21) con una varilla de conexión a fin de lograr una segura puesta a tierra del condensador de acoplamiento. La

parte de la cuchilla del seccionador de puesta a tierra va combinada con un borne doble macizo, para la línea de acoplamiento. Mediante esta se puede sujetar la línea de acoplamiento hasta a 10 mm. De diámetro o 70 mm² de sección.

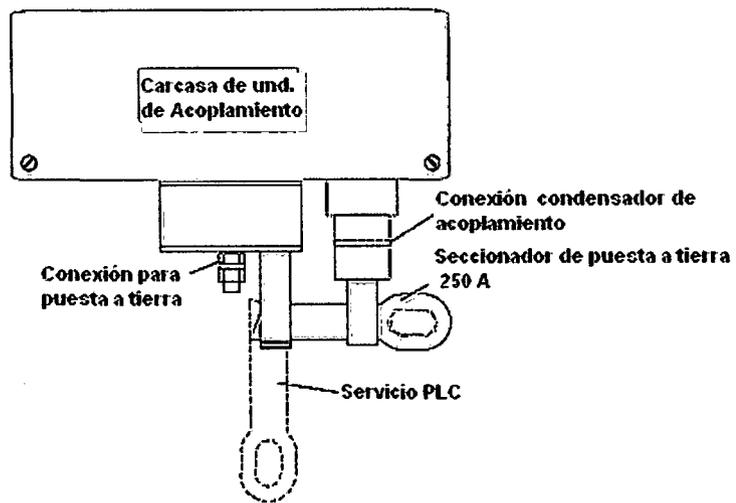


fig. 21

5.4.1.2 Descargador Primario:

El descargador primario protege los aparatos de una conexión de onda portadora contra sobre tensiones que pueden presentarse por defectos en el condensador de acoplamiento o que son debidas a las sobre tensiones que pueden pasar por dicho condensador (al hacer maniobras o debido a los rayos por ejemplo).

Su tensión de c.a. de reacción es de aproximadamente 2 kV. a 60 Hz. la capacidad de descarga llega hasta a 8 kA en 0.2 s. quedando conectado entonces el chipómetro mediante los electrodos fundidos y llevando a un contacto a tierra seguro. De esta manera todos los

elementos componentes de la unidad de acoplamiento y de la onda portadora quedan protegidos contra tensiones extremas peligrosas.

5.4.1.3 Bobina de Derivación y de Sintonía:

La bobina de derivación y sintonía cumple con dos importantes funciones. Deriva por una parte la corriente reactiva capacitiva del condensador de acoplamiento en forma segura a tierra y por otra parte ofrece inductancias variables de sintonización para la adaptación de la impedancia del acoplamiento a la línea de alta tensión.

La baja impedancia a los 60 Hz. del devanado permite una carga permanente alta de 1.5 A. y una carga durante un tiempo breve de 50 A. por 0.2 s.

5.4.1.4 Condensador de Corte:

Teniendo en cuenta que la corriente reactiva de 60 Hz. puede ocasionar una caída de tensión sobre la impedancia de la bobina de derivación de unos volts, se hacen necesarios los condensadores de corte, para así evitar una excitación alta inadmisibles a la frecuencia de red del transformador de aislamiento. En su mayoría están dimensionados con 0.1 μF (o bien 1.0 μF en caso del condensador de acoplamiento de cable) de manera tal que no tienen una influencia importante sobre la respuesta de frecuencia de los filtros de acoplamiento dentro del rango de transmisión.

5.4.1.5 Transformador de Aislación:

El transformador de aislación es el elemento más importante de la unidad de acoplamiento. Presenta una aislación confiable (10kv aproximadamente) entre el lado de alta tensión y el lado de los equipos de onda portadora del filtro de acoplamiento y origina la adaptación deseada de la impedancia entre la línea de alta tensión y el cable de RF. Mediante una técnica especial de fundición no se corre peligro alguno en la parte secundaria, aunque en el lado primario se produjera una falla mecánica debido a las influencias de alta tensión.

Al transformador de aislación se le exige cumplir con los siguientes requisitos:

- Adaptación de las impedancias del lado de alta tensión y del lado de los equipos.
- Separación galvánica.

Las conexiones primarias del transformador de aislación están ubicadas en la parte de alta tensión y las conexiones secundarias en el lado de transmisión de la unidad de acoplamiento. Así entre las conexiones y el potencial de tierra las distancias mínimas para la corriente de fuga son de 50 mm. Las conexiones entre sí tienen una distancia para la corriente de fuga de 30 mm.

5.4.1.6 Descargador de Sobre tensión en Atmósfera:

Tensiones de perturbación a las que el descargador primario no reacciona, son puestas en cortocircuito por los descargadores de sobre tensión en atmósfera de gas. Estas tensiones perturbadoras

pueden presentarse no solo en el lado de alta tensión como impulsos abruptos de tensión sino también desde un cable de RF influido por alta tensión. La tensión continua nominal de reacción de cada descargador de sobre tensión en atmósfera de gas es de 230 V.

Los descargadores de sobre tensión en atmósfera de gas están dimensionados de manera que por una lado limitan las sobre tensiones peligrosas y por otro lado se evita el efluio de ellos debido a tensiones de RF.

5.5 Cable Coaxial:

Consiste en un cable conductor interno (cilíndrico) separado de otro cable conductor externo por anillos aislantes o por un aislante macizo . Todo esto se recubre por otra capa aislante que es la funda del cable .

Permite la conexión del terminal de comunicaciones (localizado normalmente en una edificación) y los elementos de acople (ubicados externamente en la subestación). Sus características principales son 75Ω / 150Ω , adicionalmente deberá tener buena robustez mecánica para soportar las difíciles condiciones ambientales de operación.

Este tipo de cable , se puede utilizar a largas distancias, con velocidades de transmisión altas , menos interferencias y permite conectar varias estaciones, pero recordar que aunque las señales tienen un espectro de frecuencias infinito existe una banda de frecuencias de la señal (ancho de banda de la señal) que son las que corresponden a la mayor parte de la energía de la señal. Por lo tanto, por un mismo cable se pueden combinar señales de vídeo, voz y datos.

Se suele utilizar para televisión , telefonía a larga distancia , redes de área local, conexión de periféricos a corta distancia , para nuestro caso es el canal por donde se transmiten las señales analógicas y digitales . Debe de presentar mínimamente las siguientes características:

- Impedancia característica.
- Armadura.
- Rango de frecuencia de operación.
- Atenuación máxima dentro del rango de frecuencias.
- Banda de frecuencia a transmitir.
- Impedancia característica de la salida de RF.
- Atenuación de retorno dentro del rango de frecuencia.
- Banda lateral transmitida.
- Carga de información.
- Impedancia de salida de voz y datos.

VI. CRITERIOS DE DISEÑO PARA UN ENLACE DE ONDA PORTADORA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

El ingeniero encargado del diseño del enlace de onda portadora debe tener en cuenta las siguientes condiciones y parámetros que pasamos a describir, para un exitoso sistema de comunicación de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada empresa o subestación de transmisión.

6.1 Características del Sistema Eléctrico:

Dado que el sistema de onda portadora depende fuertemente de las características eléctricas de la línea de transmisión y de sus parámetros, para el inicio del diseño se deberán disponer de los datos que se detallan a continuación:

6.1.1 Trazo de la Línea

Deberá disponerse de una planimetría de la línea en la que se definan:

- Recorrido de la línea.
- Secciones que la componen y longitud de cada una.
- Derivaciones o conexiones en Te (si las hubiera).
- Cambios de configuración.

Deberá contarse con los esquemas que definan:

- Posición relativa de las fases.
- Cantidad de transposiciones con la distancia entre ellas.
- Esquema de transposición.

Deberá tenerse en cuenta la proximidad de otras líneas de transmisión, en particular en las situaciones siguientes:

- Caso de dos líneas planas horizontales próximas (doble terna).
- Caso de dos líneas que ingresen en forma paralela a una estación transformadora.
- Caso de dos líneas verticales en igual postería.

En el **Anexo 5** se indica la forma de relevar en forma sistemática la información de la línea para el diseño de comunicaciones.

6.1.2 Tipo de Estructuras:

Deberá disponerse del esquema geométrico de cada tipo de estructura soporte de la línea, donde se detalle:

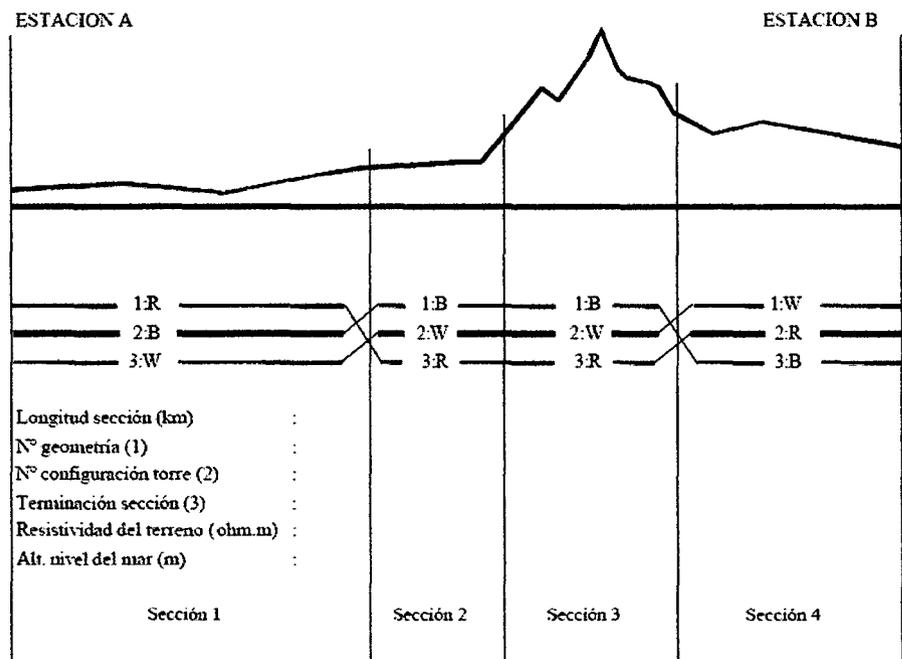
- Disposición de conductores de fase y cables de guarda.
- Distancia entre conductores.
- Altura sobre el terreno de los conductores de fase y de los cables de guarda.
- Características de cadenas de aisladores.
- Angulo de declinación máximo de la cadena.

Para los sistemas de 220 kV es usada la disposición coplanar tipo horizontal, designada como H11 (**ver Anexo 6**) de la publicación IEC 60663; en tanto que para doble terna coplanar horizontal corresponde a la denominación H22 de la misma figura. Se incluyen también algunas disposiciones utilizadas en tensiones menores.

6.1.3 Transposiciones:

En el caso que la transposición no sea de ciclo completo, la disposición de llegada de fases a la estación transformadora diferirá de aquella disposición de la salida de la estación correspondiente, por lo que deberá establecerse claramente las fases elegidas para el acoplamiento.

La Figura 22 es indicativa de la sistematización de la información completa para ser usada en el diseño.



- (1) Nº de Geometría según Anexo 5
- (2) Configuración según anexo 6
- (3) Se indica si se mantiene o cambia la geometría de la línea al final de la sección.

fig. 22

6.1.4 Conductores de fase y Cable de Guarda:

Se deberá tener en cuenta el esquema de transposiciones de la línea para la compensación de la impedancia a lo largo del recorrido.

Las hipótesis del Análisis Modal se basan en que todas las impedancias de fases y modos de propagación son iguales. En ese caso las transposiciones serían transparentes a las frecuencias de OP, pero en la realidad, las transposiciones actúan como convertidores de modos de propagación.

Además, ligado al esquema de transposiciones, está el acoplamiento elegido; ambos efectos (transposición y acoplamiento) deberán ser analizados en conjunto. En el Anexo 7 se indican orientativamente distintas formas de transposición y la atenuación introducida para distintas fases acopladas.

Debe de tomarse muy en cuenta y detalladamente el cálculo de compensación de impedancias y cantidad de transposiciones a implementar. Asimismo, indicar la forma de efectuar los cruzamientos de conductores para lograr el objetivo.

Típicamente la forma de transponer será de uno o dos ciclos completos, resumido en alguno de los dos casos siguientes:

Transposición $1/6, 1/3, 1/3, 1/6$.

Transposición $1/12, 1/6, 1/6, 1/6, 1/6, 1/6, 1/12$.

Deberá indicarse la distancia real entre torres de transposición, ya que como resultado de ello podrán diferir los valores obtenidos por el cálculo de las fracciones.

Deberá disponerse de todos los datos de los conductores de fase y conformación del haz:

- Materiales y conformación.
- Sección, diámetro, formación, cantidad y tipo de alambres, parcial y total.
- Formación y dimensiones del haz (bundle).
- Espaciadores, características y distanciamiento.

De los hilos de guarda:

- Material y conformación.
- Sección, diámetro, formación y cantidad de alambres.
- Amortiguadores stockbridges.
- En caso de disponerse de sistemas de comunicaciones redundantes con transmisión digital por OPGW, deberá detallarse la configuración y características de este último.

En el **Anexo 1** y el **Anexo 8** se detallan los datos para cada uno de estos casos.

6.1.5 Flecha de la Línea:

Del cálculo mecánico de la línea se deberá obtener la flecha en condiciones de temperatura máxima, que es la utilizada para la determinación de las alturas libres sobre el terreno y consecuentemente la definición de altura de los soportes. Igualmente para los hilos de guardia.

Cuando la línea posea diferentes tramos, donde la distancia de los conductores de cada fase con respecto al suelo varíe en forma

importante, es conveniente utilizar un valor promedio de la relación (d/h), determinado como sigue:

$$\left(\frac{d}{h} \right)_{\text{prom}} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i \cdot l_i}{h_i \cdot L_T} \dots\dots\dots \text{form.18}$$

donde: d_i = Distancia entre conductores de fase.

h_i = Altura del conductor respecto del suelo.

l_i = Longitud de la sección en consideración.

L_T = Longitud total de la línea completa.

6.1.6 Resistividad del Terreno:

Un factor que incide predominante para el diseño del Sistema de OP es la resistividad del terreno a lo largo de la línea, dado la circulación de corrientes eléctricas a través de la capacidad distribuida entre conductores de fase y el terreno.

Deberá disponerse de los valores de resistividad tomados a lo largo del trazo de la línea, con mediciones a dos y tres metros de profundidad, efectuadas preferentemente debajo del eje de la misma. En caso de no contarse con dichos valores, podrán calcularse valores equivalentes por extrapolación, los que deberán tomarse con margen de seguridad.

Desde el momento en que el valor de resistividad del terreno a utilizar en el cálculo será un promedio de las resistividades medidas, es importante tomar la mayor cantidad de muestras y valores posibles. La no-homogeneidad del terreno puede aproximarse de la siguiente forma:

$$\bar{\rho} = \prod_{i=1}^n (\rho_i) \cdot \exp \cdot (l_i / L_T) \dots\dots\dots \text{form.19}$$

Cuando una línea posea n secciones con diferentes resistividades en cada una de ellas. el valor medio de resistividad será:

$$\bar{\rho} = \rho_1 \cdot \exp.(l_1/L_T) \cdot \rho_2 \cdot \exp.(l_2/L_T) \dots\dots\dots \rho_n \cdot \exp.(l_n/L_T) \dots\dots\dots \text{form.20}$$

En caso de transposiciones con resistividades no homogéneas, deberá calcularse la atenuación de la línea para cada sección de transposición (con su Ro promedio), no siendo aceptable realizar el cálculo para la totalidad de la línea.

6.1.7 Impedancia de la Línea de A.T.:

Se deberá determinar la impedancia que presentará la línea, a partir del circuito equivalente PI de una línea trifásica de longitud media (**Anexo 9**). En la practica, en especial para líneas trifásicas, el cálculo mas relevante requiere de la aplicación del análisis nodal.

Los parámetros distribuidos que deberán obtenerse del diseñador de la línea serán minimamente:

- r** resistencia del conductor (Ω/Km)
- X_L** Reactancia (Ω/Km)
- L_T** Longitud total de la línea (Km)
- C_b** Capacidad (mF/Km)

Si se supone la línea sin perdidas, resulta la impedancia característica:

$$\left\{ Z_0 = \sqrt{L / C} \right\} \dots\dots\dots \text{form.21}$$

Los valores típicos de impedancia de línea se encuentran entre 200 y 400 ohms. Cuanto más preciso sea el cálculo de Z_0 , ello permitirá una mejor elección de la R_{\min} de la trampa de onda (que deberá tener un valor de $1,41Z_0$ para lograr una pérdida de inserción de derivación del acoplamiento máxima de 2,6dB (IEC 663), así como la mejor adaptación de los filtros de acoplamiento.

Típicamente se utiliza:

$$R_{\min} \approx 600 \Omega \text{ para } Z_0 \approx 425 \Omega$$

$$R_{\min} \approx 400 \Omega \text{ para } Z_0 \approx 300 \Omega$$

6.1.8 Niveles de Tensión:

Las características eléctricas estarán fijadas por el sistema al que se vincule la línea en proyecto.

Los principales parámetros a considerar para el diseño del sistema de comunicaciones son:

- Tensión nominal (kV).
- Tensión máxima (kV).
- Corriente nominal de la línea (Amp).
- Corriente de cortocircuito de corta duración (kA durante 1 seg.).
- BIL de los equipos eléctricos de bahía (kV).

Los valores anteriores serán utilizados para la especificación y determinación de características de los equipos eléctricos. Los dos primeros serán utilizados para el cálculo del ruido corona y otros.

6.2 Entorno Físico:

El entorno físico se referirán a las características y condiciones ambientales, a lo largo de la línea para el equipamiento de Onda portadora, cuyo equipamiento debe de estar diseñado para soportar climas extremos.

6.2.1 Temperatura:

Para el diseño del sistema se deberán tener en cuenta tres valores:

- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Temperatura media anual.

Los valores deben relevarse de los registros meteorológicos de los últimos 10 años para análisis de repetibilidad y constancia. Para el caso de no disponerse registros, es recomendable la utilización de condiciones extremas.

6.2.2 Humedad:

Este valor refleja el tipo de clima de la zona (árida, tropical, fría). Es importante debido a que produce aumento del ruido corona generado en los equipos de maniobras en su respectiva bahía.

Los valores a indicar serán:

- Humedad relativa máxima.
- Humedad relativa mínima.
- Media mensual.

El uso de cierre acondicionado en el interior de salas de equipos reduce el efecto de humedad ambiente y sus consecuencias de condensación en placas y componentes.

6.2.3 Precipitaciones, Niebla y Polución:

Los valores requeridos son la precipitación media anual y las condiciones de niebla en caso de haberla. En particular deberán detectarse zonas de alta polución o zonas de niebla salina, para adecuar las condiciones de funcionamiento del Sistema de Onda Portadora.

6.2.4 Altitud:

Deberá indicarse la altura sobre el nivel del mar de cada uno de los emplazamientos donde se instalen equipos, dado que las prestaciones y el comportamiento de los sistemas es fuertemente desmejorado a medida que la altura crece. El equipamiento deberá ser especificado para tal condición. En casos de controversia o de estandarización, es recomendable utilizar las peores condiciones.

6.2.5 Sismicidad:

Deberá indicarse si los equipos de comunicaciones se instalaran en áreas sísmicas y su grado según CIRCOSOC, en un todo de acuerdo a lo que se indica en la Guía General de Diseño de Estaciones Transformadoras.

Los equipos deberán resistir los movimientos sísmicos sin daños permanentes ni transitorios. Para la especificación de los mismos, debe definirse el Espectro de Respuesta al Sismo (RRS) requerido, donde se indique la velocidad de movimiento, la aceleración y el desplazamiento, en función de la frecuencia sísmica esperada, de forma de definir la excitación a la cual deberá responder el diseño del equipo.

Deberá requerirse equipos cuyo Espectro de Respuesta (TRS) lo exceda holgadamente. En el **Anexo 10** se muestran orientativamente las características del RRS y la relación entre RRS y TRS.

6.2.6 Hielo / Nieve:

Deberá definirse con exactitud la presencia de nieve y/o hielo identificando los tramos de línea en que se producen.

Son causantes de la formación de hielo sobre los conductores de fase la nieve húmeda y el viento. Por lo cual, es necesario especificar condiciones de:

- Presencia de nieve húmeda.
- Viento en km/h.
- Temperatura en °C y humedad en %.

La temperatura de formación del manguito de hielo tiene gran incidencia en la atenuación de la línea, con peores condiciones hacia el rango de -1° C hasta -5° C.

En consecuencia se deberá establecer, para el máximo manguito previsto, los siguientes valores:

- Espesor del manguito (mm).
- Densidad del hielo (gr./cm³).
- Longitud del tramo de línea que se prevé la formación del manguito de hielo.

6.3 Parámetros de Diseño:

Los parámetros de diseño deben de ser tomados en función de la información que se requiere transmitir para la operación y control del sistema eléctrico. En consecuencia, deberá relevarse la cantidad de información a transmitir así como las características principales de la misma, de manera de optimizar el diseño de canales de Onda Portadora y de la red de comunicaciones en conjunto.

6.3.1 Información a Transmitir:

Se deben de tomar los siguientes parámetros:

- **Cuantificación de la información**, donde identificamos la cantidad de señales e información a transmitir.
- **Cualificación de la información**, definimos las características mínimas necesarias para un correcto envío de la información a transmitir.

6.3.2 Tipo de Canales:

El Sistema de Onda Portadora no está previsto para abastecer un gran número de canales, dado la limitación física que impone el espectro de radio frecuencia (RF). De allí que es necesario utilizar los siguientes criterios básicos, para optimizar el uso de canales:

- Transmitir las funciones imprescindibles (caso de teleprotección; vía principal para telecontrol; troncales básicas telefónicas; etc.).
- Compartir funciones dentro del mismo canal (se muestra un esquema en el **Anexo 11** al respecto).
- Extender el ancho útil del canal en lo máximo posible.

La información a transmitir por el Sistema de Onda Portadora, como ha sido cuantificada y calificada, debe ser precisada para cada diseño en particular y luego asignada en los canales respectivos.

Para ello debe detallarse:

- Teleprotección (disparos).
- Transmisión de datos a una velocidad específica.
- Teleprotección (guarda).
- Información de telefonía 4 kHz.
- Información de telefonía 2 kHz.

En todos los casos:

- Telefonía dentro de los 2 kHz y 4 kHz; se superpondrá con señales de teleprotección (disparos).
- Señales de tele protección (guarda); utilizarán la frecuencia de señalización del equipo de Onda Portadora.
- Telefonía dentro de 2 kHz; se complementara con señales de transmisión de datos en la porción supravocal.
- Transmisión de datos; compartirá el canal de 4 kHz adecuadamente.

La velocidad de transmisión de datos puede abarcar desde 50 Bd hasta los 2400 Bd (típicamente) y dentro de los canales extendidos y totalmente dedicados hasta los 9600 Bd.

6.4 Criterios de Diseño:

El primer paso del diseño radica en la descripción total y completa del Sistema de Onda Portadora con sus respectivas vinculaciones al resto de los usuarios al que servirá de transporte de información.

Esta descripción mínimamente debe contener:

- Memoria descriptiva general del sistema de Onda Portadora.
- Planos del sistema conformados por diagramas en bloques y circuitos parciales de los elementos constitutivos.

El grado de detalle queda sujeto al criterio del diseñador y a la complejidad del sistema. En los planos debe visualizarse cuales serán los sistemas y/o equipos ajenos al Sistema Onda Portadora, como ser:

- Centrales PAX, PABX.
- Remotas de telecontrol, centros de control.
- Elementos de enclavamiento.
- Teleprotección.
- Otros.

Es fundamental indicar las instalaciones y/o elementos que servirán como frontera del suministro, de forma tal que la visión sea integral del sistema pero con identificación de los límites de cada uno.

Un punto importante cuando se toman los criterios de diseño es la elección de la configuración de los acoplamientos, cuyos detalles se tocaron a fondo en el capítulo V, punto 5.4.

6.5 Dimensionamiento:

Deberán de tomarse muy en cuenta los siguientes puntos, que pasamos a describir:

6.5.1 Estudio de Propagación:

El proyecto de un sistema de comunicaciones deberá basarse en el estudio de los modos de propagación presentes en la línea, de manera de

conocer la relación entre la potencia emitida y la efectivamente recibida en el extremo receptor opuesto.

Sin el estudio de propagación no puede conocerse el desempeño del Sistema de Comunicaciones y consecuentemente no podrán determinarse los valores de la relación señal a ruido esperables.

En dicho estudio deberán desarrollarse:

6.5.1.1 Análisis Modal:

El cálculo modal deberá desarrollarse en base a:

- El modo de acoplamiento elegido.
- Las características de la línea.
- Las bandas de frecuencias posibles de utilizar (en caso de restricciones).

El procedimiento de cálculo analítico combinando los modos básicos de propagación a lo largo de la línea deberá realizarse con un programa de aplicación del propio usuario o a través de programas de los fabricantes de equipos debidamente homologados.

Del cálculo surgirá la atenuación esperada por los modos de propagación y con el agregado de la atenuación adicional que introducirán las no-homogeneidades de la línea, como:

- Transposiciones.
- Resistividad del terreno (diferencias en las secciones).
- Configuración de la línea (cambios en la geometría, alturas, etc.).
- Presencia de hielo/nieve.

- Conexiones en Te en la Línea.
- Fase puesta a tierra.
- Otras.

Estas no homogeneidades interactúan con los modos de propagación presentes en cada lugar y los modifican, produciendo atenuación adicional a las señales de onda portadora.

6.5.1.2 Atenuaciones de Enlace (At):

Deberá realizarse el cálculo de la atenuación de cada enlace de Onda Portadora, teniendo en cuenta:

- La atenuación de la línea en proyecto (aL).
- La atenuación adicional que introduzca una falla por fase puesta a tierra (aad).
- Las pérdidas en la cadena de acoplamiento de cada extremo de línea (pacop).
- Las pérdidas agregadas por condiciones especiales (pag).

La atenuación total del enlace debe considerarse desde la salida de radio frecuencia (RF) del transmisor A hasta la entrada de RF del receptor B en el extremo opuesto:

$$At(AB) = aL + aad + pacop A + pacop B + pag \dots \dots \dots \text{form.22}$$

6.5.1.3 Ruido Corona:

El ruido corona se genera en las descargas parciales existentes en los elementos constitutivos de la línea de alta tensión y se encuentra presente dentro del espectro de Radio Frecuencia de onda

portadora en forma inversamente proporcional a la frecuencia a transmitir.

Posee una distribución Gaussiana aproximada al ruido blanco y su análisis deberá referirse a un ancho de banda específico.

Depende fuertemente de los valores del gradiente de campo eléctrico y de las condiciones de la superficie de los conductores y elementos de amarres y sujeción. En general, el valor del campo se considera $\Delta V = 15$ a 17 kV/cm.

Las condiciones atmosféricas pueden aumentar los niveles de ruido corona en forma importante, por lo cual se deberán determinar los valores de ruido corona para las peores condiciones atmosféricas y ambientales como con presencia de hielo, lluvia, polución y salinidad.

Deberá tenerse en cuenta que en las líneas nuevas, la polución inicial en ellas introduce alto nivel de ruido corona, que luego de cierto período de envejecimiento, queda reducido a valores estables.

Usualmente los valores normalizados se indican en el punto de conexión del capacitor de acoplamiento a la línea. Las tablas y curvas generalmente se refieren al ruido corona medido en un $BW = 4$ kHz en tal punto.

Para ser utilizado en el cálculo de relación señal a ruido (S/N), dicho valor deberá ser corregido al ancho de banda de la señal a transmitir y afectado de la pérdida de acoplamiento hasta el borne de salida de radio frecuencia (RF) del equipo de Onda Portadora (O.P.).

6.5.1.4 Ruido Impulsivo:

A diferencia del ruido Gaussiano, producido permanentemente sobre la línea, el ruido impulsivo se produce cuando se accionan equipos eléctricos de la bahía de maniobras, así como cuando se producen descargas, como:

- Apertura o cierre de seccionadores.
- Descargas atmosféricas.
- Arcos por fallas de puesta a tierra

Este último es especialmente importante pues co-existe con el envío de las señales de teleprotección.

Se producen transitorios sobre la línea de altos valores de amplitud y cuyo tiempo de crecimiento es muy pequeño, todo lo cual lleva a impulsos de forma de onda delta de Dirac.

La señal de teleprotección deberá enviarse contemporáneamente, por lo que deberá determinarse cuánto se atenúa la señal útil bajo la condición de falla y cuánto será el ruido impulsivo de peor condición.

En general los valores de ruido impulsivo se especifican a la salida del filtro de acoplamiento, (posterior a la acción del descargador) y referidos a un $BW = 4 \text{ kHz}$.

Diferente situación se produce para aquellos ruidos impulsivos que puedan generar disparos intempestivos, siendo conveniente realizar mediciones sobre seccionadores existentes de iguales características a los que se van a instalar.

Las peores condiciones se refieren a seccionadores con ruido impulsivo de 500 a 1500 mseg y las descargas atmosféricas con hasta 1000 mseg de duración.

6.5.2 Relación Señal a Ruido (S/N):

Con los parámetros fundamentales obtenidos anteriormente, como son las pérdidas de acoplamientos, la atenuación del enlace, el valor de ruido corona y el valor de ruido impulsivo, el paso siguiente será realizar el cálculo de S/N para cada función dentro de cada canal de Onda Portadora.

En el **Anexo 12**, se indica la progresión del cálculo a realizar, en función de los criterios ya analizados anteriormente.

Es importante calcular al menos tres valores de S/N:

- Relación (S/N)₁ para condiciones ambientales buenas.
- Relación (S/N)₂ para condiciones ambientales de peor caso.
- Relación (S/N)₃ para condiciones de ruido impulsivo (falla de pat / arco de línea).

Para los puntos 1 y 2 los valores de S/N requeridos deberán corresponder a los de peor caso para transmisión de datos y voz.

Para el punto 3 los valores de S/N deberán corresponder a los de ruido impulsivo para funciones de teleprotección.

Los valores mínimos a cumplir por los enlaces y funciones dentro de ellos, deberán ser establecidos en etapa de diseño por el proyectista

teniendo en cuenta la mayor o menor seguridad requerida a su Sistema de OP.

En la norma IEC 663 , se recomiendan los siguientes valores para la peor condición:

FUNCION	S/N (dB)
Voz	25 (Ver nota)
Datos	15

Para funciones de teleprotección es recomendable requerir no menos de $S/N = 17,5$ dB para ruido impulsivo.

Nota: Para la función de voz, que no posee la criticidad de la teleprotección, podrían aceptarse valores hasta una relación $S/N = 20$ dB en condiciones de peor caso; a su vez deberá ponerse especial atención a que los valores de S/N en condiciones favorables pueden ser de gran magnitud (orden de 30 dB o mayores) e inducir al error de considerar como aceptable a un sistema al analizarlo en condiciones favorables. Ello no es una garantía de que, durante la etapa crítica de funcionamiento (condiciones adversas de hielo; falla de puesta a tierra; etc.), los valores de S/N caerán por debajo de la seguridad necesaria.

6.5.3 Enlaces en Cascada:

En general los cálculos de S/N se referirán a una línea en particular (información cursada entre las Empresas de Transmisión (EETT) punto a punto), para lo cual valdrá lo antes mencionado.

En el caso de información que transita por canales de diferentes líneas (caso típico de transmisión de datos), deberá calcularse la relación S/N entre los puntos extremos de la transmisión, como sigue:

$$\boxed{\frac{S}{N}}_{\text{casc}} = 10 \log \frac{1}{10 \cdot \exp\left[\frac{-S}{N}\right]_1 + \dots + 10 \cdot \exp\left[\frac{-S}{N}\right]_n} \dots \text{form.23}$$

En términos globales, se puede inferir que la relación S/N total de aquella información que transita la cascada, será menor que la peor de las S/N de todas los tramos.

6.5.4 Ubicación de los Canales de Onda Portadora (O.P.) en el Espectro de Radio Frecuencia (RF):

Dado la limitada posibilidad del espectro de frecuencias posibles de transmitir (entre 40 y 500 kHz según normas y entre 20/24 y 500 kHz según práctica) y debido a la cantidad de canales de Onda Portadora existentes, es necesario considerar ciertos criterios básicos en el diseño y proyecto del

Sistema de Comunicaciones, de forma de optimizar la utilización del espectro:

- Las frecuencias a utilizar deben resultar del Análisis Modal antes descrito y no ser prefijadas arbitrariamente.

En general para los tramos de longitud de línea largos prevalecerá la utilización de frecuencias bajas donde la atenuación de línea es baja, mientras que para líneas de corta longitud debería resultar conveniente el uso de frecuencias altas. De cualquier forma estos criterios no son

siempre aplicables y pueden ser modificados por las condiciones de no-homogeneidad de las líneas y otros efectos.

- Las frecuencias de radiofaros y otras frecuencias de emergencia aeronáutica deben ser claramente identificadas.
- Las frecuencias de enlaces de Onda Portadora existentes que transcurren en paralelo a la línea en ciertos tramos de ella y/o que la cruce en forma no ortogonal.
- Las frecuencias de enlaces de Onda Portadora existentes que se utilicen en las áreas próximas a las Empresas de Transmisión (EETT) extremas del nuevo enlace a diseñar.

El término “próximas” no es preciso y su real incidencia se verá al desarrollar el tema de relación señal a interferencia .

Es típico considerar la re-utilización de aquellas frecuencias de enlaces que se encuentren distantes (espaciadas) hasta dos tramos de línea y tres estaciones transformadoras, para los casos de igual nivel de tensión en las líneas.

Cuando se trata de frecuencias de enlaces sobre líneas de diferente nivel de tensión, al menos es recomendable incluir la información distante a no menos de un tramo de línea y un transformador de rebaje.

Deberá confeccionarse un Plan de Frecuencias general que incluya las estaciones transformadoras involucradas, las distancias entre ellas, las frecuencias de cada enlace, su denominación según el usuario que las disponga y las nuevas frecuencias y/o bandas a utilizar en el nuevo enlace.

Las frecuencias existentes de otros servicios, líneas que transcurran paralelas, etc., deben delimitarse claramente como bandas conflictivas.

6.5.5 Relación Señal a Interferencia (S/I):

Las frecuencias de canales nuevos a incorporar al espectro de RF deberán en lo posible utilizar frecuencias no utilizadas previamente por otros enlaces. En caso de no lograrse esta condición de seguridad, deberá requerirse el cumplir con un valor mínimo de relación señal a interferencia (S/I) de 60 dB.

Esto significa que la relación entre la señal útil a transmitir y la señal interferente proveniente de otro enlace ya utilizado, debe ser tal que la señal interferente debería encontrarse prácticamente enmascarada con el ruido corona en buenas condiciones.

La re-utilización de frecuencias deberá evitarse en lo posible, para lo cual una conveniente práctica es re-ubicar otros canales existentes dentro de la posibilidad que le permiten los anchos de banda de las trampas de onda. Con ello se crean espacios en el espectro de RF para nuevos canales.

Otra práctica habitual consiste en desplazar los canales existentes a posiciones del espectro más acordes a su longitud, o sea, realizar una optimización del espectro.

En general la re-utilización de frecuencias puede realizarse intercalando dos tramos de líneas y sus estaciones consecuentes, cuando el nivel de tensión de las líneas se mantiene.

En el caso de existir transformadores entre dos líneas de diferente nivel de tensión, la atenuación que introduce el transformador será de no menos de 50 dB, con lo cual se permite intercalar sólo un tramo de línea.

Como último recurso pueden utilizarse circuitos de desacoplamiento (sumideros, nodos de RF) en una estación para desacoplar un enlace de otro.

En el **Anexo 13** se indica un ejemplo con los valores a determinar en caso de posibilidad de interferencia entre canales.

VII. APLICACIONES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Los equipos actuales de Power Line Carrier (PLC's), han desarrollado (en la parte de alta tensión) la reputación de ser uno de los medios de comunicación más económicos, fiables y versátiles, presentando las siguientes características:

Confiabilidad: Como se emplea una línea de transmisión de energía diseñada de una manera muy estricta, la confiabilidad del soporte físico de transmisión del sistema PLC es alta.

Costo: En vista de la existencia del soporte (línea de potencia) el uso del PLC es bastante económico, sobre todo cuando el volumen de información a transmitir es bajo.

Mantenimiento: Los equipos que conforman un sistema de PLC son relativamente sencillos, lo que permite un mantenimiento más fácil. Adicionalmente, los puntos (subestaciones) donde se ubican los equipos cuentan con infraestructura y su acceso es sencillo.

Normativa: Su regulación es escasa, normalmente, los usuarios del sistema PLC crean procedimientos sencillos de aplicación privada. El sistema PLC emplea generalmente frecuencias del rango de 40 a 500 kHz. Y el límite inferior esta dado básicamente por el ruido del sistema y el superior por sus atenuaciones.

Los equipos de Onda Portadora (PLC), están diseñados para poder transmitir los siguientes requerimientos hasta en 76.8 kbit / sg en un ancho de banda de 8 kHz (fig. 23):

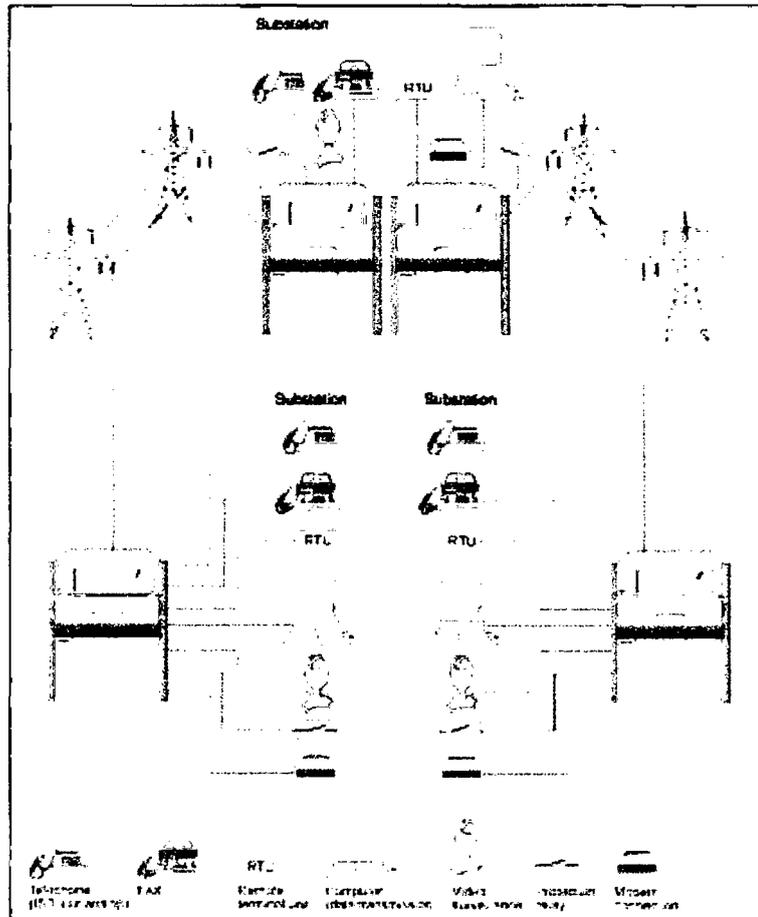


fig. 23

- Señales de Protección
- Voz
- Fax
- Datos
- Video

Los cuales, seguidamente pasamos a detallar.

7.1 Redes Telefónicas:

En casos de redes telefónicas se pueden acoplar los sistemas analógicos existentes, no estando sujeto el usuario a considerar limitaciones o arreglos en las llamadas. Por otra parte con la adaptación de un multiplexor (algunos equipos lo traen ya adaptado) se puede trabajar con un alto número de canales telefónicos usando un solo PLC.

Esta solución ofrece las siguientes ventajas:

- Se obtiene un alto número de canales de voz, pudiéndose conectar hasta 20 teléfonos por subestación.
- Con el manejo del tráfico de datos se optimiza el uso de los valores de transmisión disponibles, entendiéndose que el ancho de banda solo será ocupado por señales de voz cuando estas son transmitidas. Durante el tiempo en que no sean usados estos canales, se puede utilizar esta capacidad para la transmisión de otros servicios.
- Con los equipos que traen un multiplexor integrado, estos pueden ser utilizados como una pequeña central telefónica, reduciendo de esta manera costos.

Finalmente con la combinación de un PLC, un multiplexor y una central telefónica, se puede crear un rango suplementario de servicios para las llamadas, tales como:

- Presentación e identificación de la línea que se comunica.
- Transferencia de llamadas.
- Retención de llamadas.

7.2 Telecontrol:

Se puede trabajar de las siguientes maneras:

- Registrando los datos de la RTU con un canal integrado modulador de frecuencia (FSK), el cual consiste en asignar una frecuencia diferente a cada estado significativo de la señal de datos. En este caso se consiguen valores para cada bit de hasta 2400 Bd.
- Registrando los datos de la RTU con el mismo equipo de onda portadora y con un multiplexor integrado, alcanzando valores por bit con este método de hasta 19.2 kbit/s.
- Usando la misma RTU con un MODEM integrado. La frecuencia de voz VF en interfase con la RTU (MODEM) pueden estar conectados directamente a la interfase VF del equipo de onda portadora.
- Todas las RTUs asignadas a ordenar un mismo grupo reciben el sondeo requerido por el centro de control. Si la RTU local es direccionada para mandar los pedidos entonces las señales de transmisión de datos cambiarán a la RTU local.
- y los pedidos

7.3 Transmisión de Datos:

En la actualidad existen equipos que cuentan con un multiplexor integrado, lo que permite la transmisión de datos asíncronos hasta en 8 canales (vía FSK), teniendo cada uno velocidades que van de los 2.4 a 19.2 kbps y con una capacidad de transmisión de hasta 76.8 kbps (por ejemplo 4 x 19.2 kbps); si se le adiciona un multiplexor estadístico al PLC, este contaría con una función para manejar los datos de forma prioritaria.

La funcionalidad del multiplexor estadístico permite asignar un alto conjunto de valores de Bits en los puertos en que se pueden manejar los

datos, aquí es recomendable no utilizar la totalidad de ellos , porque del quinto al octavo (si lo tuviera) el rendimiento de transmisión no es el mismo como de primero al cuarto canal.

Para la transmisión de datos síncronos se utiliza el protocolo X.21 por medio del cual estos pueden ser vinculados a redes SDH; a su vez, estos pueden unirse a las redes locales de cada sub estación (LAN), vía router.

7.4 Señales de Tele-Protección:

Las líneas de transmisión tienen asociadas para su operación, dos relés de protección Multifunción de donde se derivan las siguientes funciones:

- Relé de Impedancia (principal) – 21P
- Relé de Impedancia (reserva) – 21R
- Relé direccional a tierra – 67N
- Relé de falla e Interruptor – 50BF

Es decir cada línea genera 4 disparos de protección, que deben ser asociados a un disparo de teleprotección, que dan origen a las 4 señales de teleprotección , reconociendo que hay disparos principales (2) y disparos de respaldo (2).

Estas señales se conectarán a un equipo de teleprotección asociado a un equipo de onda portadora (actualmente la mayoría de PLCs. traen incluido el equipo de teleprotección), para el transporte de dichas señales. Que quede claro que la onda portadora no es la única solución para el transporte de dichas señales.

VIII. APLICACIONES EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Como se mencionó en un inicio, la comunicación por onda portadora no es una tecnología nueva y su uso en nuestro ámbito se limita solo a redes de transmisión eléctrica mas su uso en redes de distribución es nulo en el Perú.

La propuesta de este trabajo es utilizar la onda portadora en líneas de distribución, pero básicamente enfocado en lo siguiente (fig. 24):

- Lecturas de medidores y
- Automatización de subestaciones.

Obviando su uso como medio de transporte de voz, ya que no sería muy rentable, por encontrarnos dentro de la ciudad.

Posibles Aplicaciones del PLC en M.T.

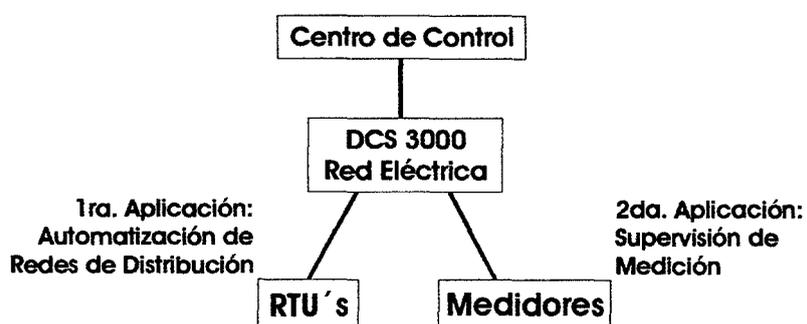


fig. 24

Con este sistema de comunicación en la línea de distribución, se proporcionaría una tecnología de automatización que reúne varios beneficios, tanto para operadores y clientes, con resultados económicos y competitivos

con respecto al mercado de energía, pues se involucra la automatización de subestaciones y lecturas de medidores; lo que es más, se permite que aumente la eficacia del sistema eléctrico (cualquiera sea su configuración), sin ningún esfuerzo adicional, pues se usa la red existente.

En media tensión los equipos de onda portadora son de un tamaño muy reducido a comparación de los PLC's utilizados en transmisión; para nuestro caso, se tomará como base al equipo DCS 3000, cuyo fabricante es la firma alemana Siemens (no es el único que nos ofrece esta tecnología), el cual esta constituido por dos componentes principales: la Unidad Básica (BU) y los dispositivos de acoplamiento (inductivo o capacitivo), los cuales pasamos a detallar.

8.1 Unidad Básica:

La unidad principal (fig. 25) y otra(s) secundarias forman la unidad central que controla el flujo de información desde las estaciones remotas hacia el Centro

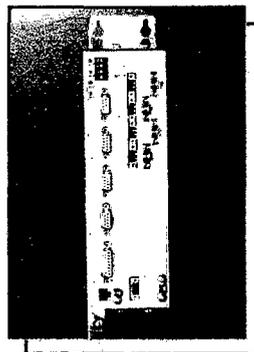


Fig. 25

de Control, siendo posible la parametrización de las funciones de la unidad principal (amo), al conjunto entero de unidades básicas (amo-esclavos), asignándole la función de controlar y supervisar la línea entera (fig. 26).

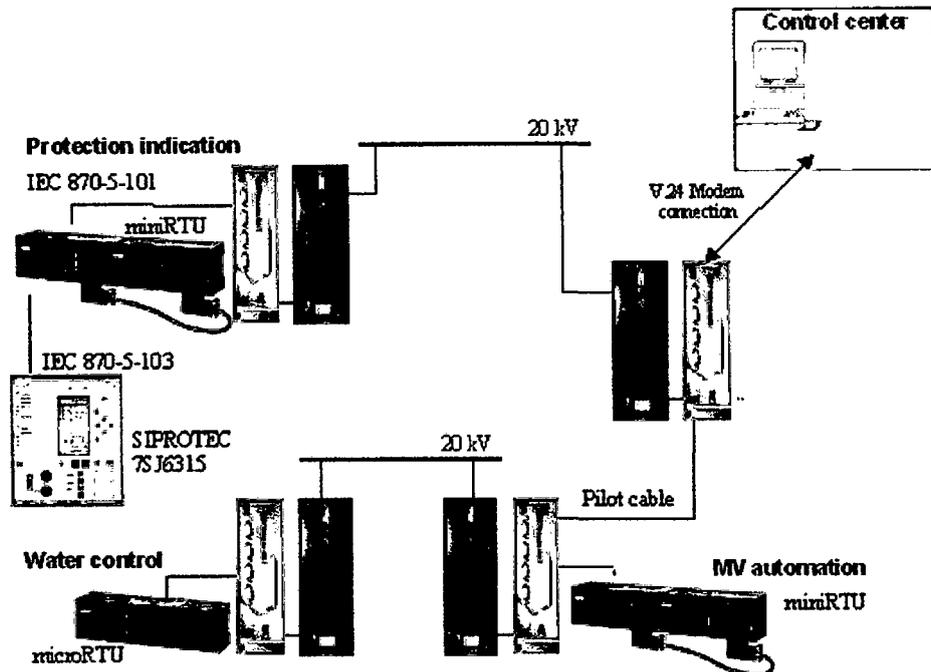


fig. 26

Como se ve en la fig. 26, el PLC no solamente esta usando la red eléctrica sino también un hilo piloto, ello es posible a través de un modem (tanto en la estación transmisora como en la receptora), siendo posible la utilización alternativa para el envío de la información de sistemas de radio y de fibra óptica, gracias a la interfase de modem (RS232 con velocidad de 1.2 a 19.2 kbps) con que cuenta el equipo.

Transmitir información en los sistemas de media tensión siempre es propenso a la interferencia, este equipo cuenta con un sistema de transmisión especial; el OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), que en virtud a varios portadores paralelos, hace posible la transmisión a pesar de la interferencia. El OFDM, es una tecnología que transmite señales múltiples simultáneamente sobre una sola trayectoria de transmisión (como un cable o un sistema sin hilos), viajando cada señal dentro de su propia gama de frecuencia única (portador), que es modulada por los datos. La técnica separada orthogonal del

espectro, distribuye los datos sobre una gran cantidad de portadores que se espacian aparte en las frecuencias exactas. Este espaciamiento proporciona el "orthogonality" en esta técnica se evita que los desmoduladores consideren frecuencias que no sean la propia.

Las ventajas de OFDM son eficacia espectral, rapidez a interferencia de RF, y una distorsión multidireccional más baja. Esto es útil porque en un panorama de difusión terrestre típico hay canales multidireccionales (es decir la señal transmitida llega al receptor usando varias trayectorias de diversa longitud) y un corrector de error delantero (FEC, por sus siglas en inglés), elimina cualquier error de bit, que aún pudiera estar presente.

Los datos técnicos de la unidad básica son los siguientes:

- **Medios de Transmisión:**

- Líneas de Media Tensión, líneas de comunicación con cable de dos hilos.

- **Banda de Frecuencia:**

- 9 – 148.5 kHz.

- **Velocidad de Transmisión:**

- 4.8, 9.6, 19.2, 28.8 kbps.

- **Ancho de Banda:**

- 4.....24 kHz. (dependiendo de la velocidad de transmisión).

- **Estructura de la Red:**

- Lineal, anillo, etc.

- **Interfases:**

- RS232, IEC 870-5-101, DNP 3.0, IEC 61 107.

8.2 Unidades de Acoplamiento:

La utilidad de los propios recursos de la red eléctrica, en sistemas de media tensión de 6 a 24 kV. es para nuestro caso, el principal medio de transmisión de información. Los requisitos en relación a la opción de acoplamiento para el sistema de media tensión varían, dependiendo del tipo de la red de distribución (cables o líneas elevadas), debiéndose tomar en cuenta paralelamente a las condiciones técnicas, las medioambientales y las de costo-efectividad. Para estas condiciones existen dos soluciones de acoplamiento: el inductivo y el capacitivo.

- El dispositivo de acoplamiento capacitivo (CDC) (fig.27) utilizado con un gran performance de seguridad en sistemas sensitivos a tierra o cables enterrados y líneas aéreas y cuyo camino de comunicación comprende el conductor del cable y tierra.
- De gran simpleza, el dispositivo de acoplamiento inductivo (CDI) (fig. 28) utilizado en sistemas sin sensitivo a tierra y cuyo camino de comunicación comprende el blindaje del cable y tierra.

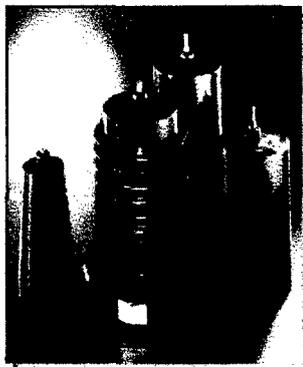


fig. 27

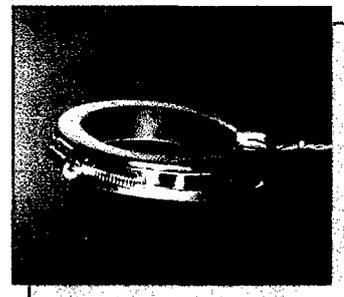


fig. 28

8.2.1 El Acoplamiento Capacitivo:

Dependiendo del nivel de voltaje , y si el sistema será usado en forma interior (fig. 29) o al aire libre (líneas aéreas), este sistema ofrece seguridad ante cualquier anomalía de la red, seleccionándose según su uso y nivel de tensión (de 6 a 24 kV). La conexión en serie comprende un fusible, capacitor y la bobina de descarga; todas encapsuladas en una resina.

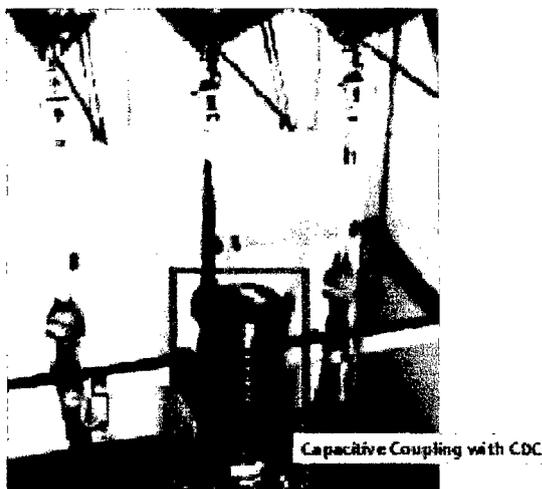


fig. 29

Su medio de transmisión son cables cuyo blindaje está conectado a tierra (ejm. NAKBA) y líneas aéreas; tomando como camino de transmisión el conductor del cable y tierra (fig. 30). Este equipo de acoplamiento tiene las características de un filtro pasa alto (las frecuencias de portador pasan, mientras las frecuencias de la línea se bloquean), produciéndose el acoplamiento directamente del campo eléctrico por los conductores del cable y la fuente.

Puede cubrir distancias en cables de hasta 5 km, mientras que en líneas aéreas de hasta 15 km (dependiendo del tipo de línea).

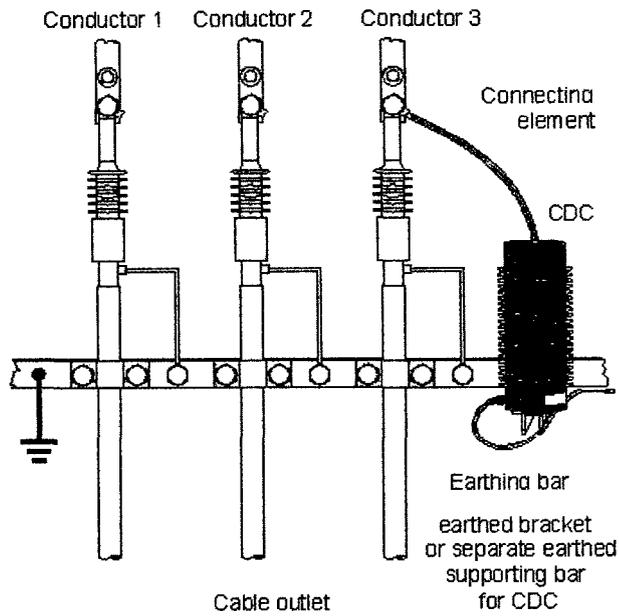


fig. 30

8.2.2 El Acoplamiento Inductivo:

Este tipo de acoplamiento puede montarse a lo largo del cable entero. En caso de cables solos cada banda para tierra se pasa a través de la unidad de acoplamiento (fig. 31) y a su vez puede ser montado cerca de la barra de tierra del interruptor (fig.32).

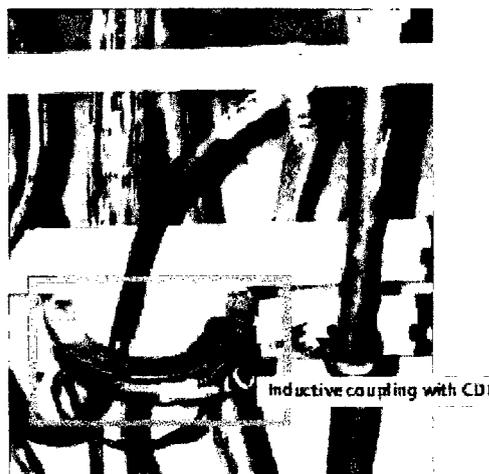


fig. 31

Su construcción está conformado por un anillo de ferrita dividido, de unos 100 mm. de diámetro y toma como medio de transmisión el blindaje de los cables (ejm. XLPE) y siguiendo como camino este y tierra (no usa el conductor del cable, como en el caso del acoplamiento capacitivo), a su vez puede usar el aislamiento eléctrico en líneas aéreas pudiendo abarcar hasta 5 Km. El acoplamiento se debe al campo magnético que recorre las hendiduras del blindaje, esto es la parte reactiva de la impedancia de transferencia a altas frecuencias.

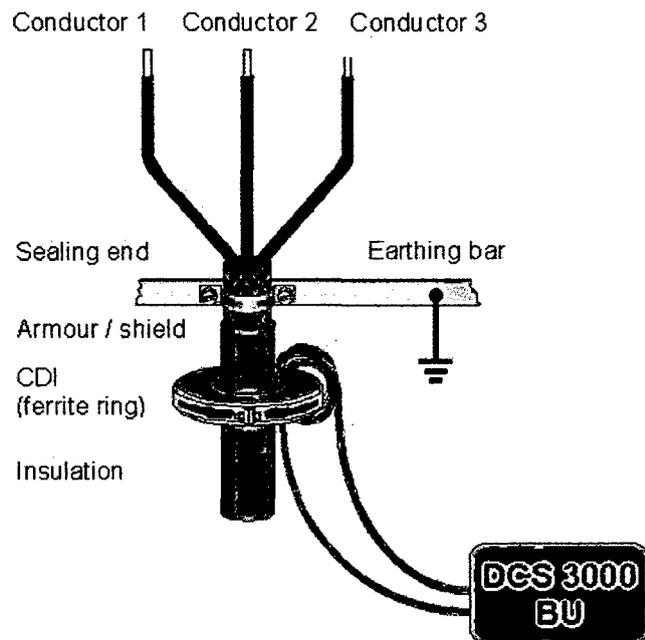


fig. 32

8.3 Aplicaciones:

Se ha mencionado, que la utilización de los equipos de onda portadora para líneas de media tensión serían rentables para lectura de medidores y automatización de subestaciones, frente a otros medios de comunicación.

Se puede captar directamente los valores de nuestros medidores electrónicos, quienes se comunicarían con el PLC por medio de protocolos de comunicación (entiendase IEC, DNP3, etc) y este enviaría dicha información por la red eléctrica al centro de control.

Para automatizar cualquier subestación es necesario contar con un Concentrador de Datos, quien recibe en sus tarjetas electrónicas de entradas, las señales de la subestación que son divididas en dos grupos:

- **Entradas Digitales:** que pueden ser sencillas (1 bit), donde se ubican las alarmas (del disparo de un relé, por ejemplo) o dobles (2 bit), las cuales indican los estados de posición de los equipos (abierto o cerrado).
- **Entradas Analógicas:** que son las provenientes de los equipos de medición (tensión, corriente, energía, etc.)

A su vez, las RTU's, proporcionan los contactos (normalmente abierto o normalmente cerrado) que serán utilizados para llevar comandos desde el Centro de Control de la Empresa de Distribución Eléctrica, desde donde el operador podrá monitorear la total situación en tiempo real de cada subestación. Esta información puede ser transportada desde la subestación al Centro de Control y viceversa, por medio de radio enlaces, fibra óptica u onda portadora. Por lo tanto para la automatización de una subestación existen tres niveles:

- **1er. Nivel:** De los IED's (Intelligent Electronic Device) o Aparatos Electrónicos Inteligentes, entiendase medidores multifunción, registradores de fallas, relés, etc.

- **2do. Nivel:** de las RTU`s (Remote Terminal Unit) o Unidad Terminal Remota que vienen a ser los Concentradores de Datos.
- **3er. Nivel:** Es el nivel del SCADA (Supervision, Control And Data Acquisition) o nivel de Centro de Control propiamente dicho, donde todas la información enviadas de las RTU`s por cualquiera de los medios de comunicación ya mencionados son recibidas y manejadas por medio de diferentes softwares.

La utilización de la onda portadora nos da la ventaja de utilizar la infraestructura existente perteneciente a la Empresa de Distribución y evita la instalación de antenas (radio enlaces), así como de nuevos tendidos de cables (fibra óptica), el análisis económico se mostrará en el punto 8.4 del presente trabajo.

Como ya se mencionó, en el Perú esta tecnología no ha sido usada, razón por la cual, detallamos un ejemplo de aplicación realizado en Europa:

Kelag, es una de las empresas regionales energéticas de Austria, dicha empresa ante una potencial racionalización de energía, en la fase de reglamentación del mercado energético austriaco, se vio obligada a investigar las posibles soluciones frente a un inminente colapso económico . Un correcto planeamiento en la demanda de energía sería primordial para el éxito de sus negocios, debido a que Kelag operaba varias plantas hidroeléctricas, tenía que escoger entre cambiar ello o comprar energía del exterior a una diferencia de costo alto. Kelag decidió buscar una solución para reducir las paras de máquinas, incrementar la rentabilidad de las redes y hacer un plan de medida y perfiles de carga.

La automatización de las redes de distribución y la lectura remota de sus medidores (fig. 33), era la oportunidad de alcanzar estas metas, decidiéndose

entonces usar la onda portadora, en gran parte por su costo de ciclo de vida excelente.

Las redes de distribución de la mencionada empresa eran de 20 kV y la mayor parte de ellas estaban provistas de RTU's y medidores multifunción, habiéndose adquirido el SINAUT ESPECTRO como software de su Scada.

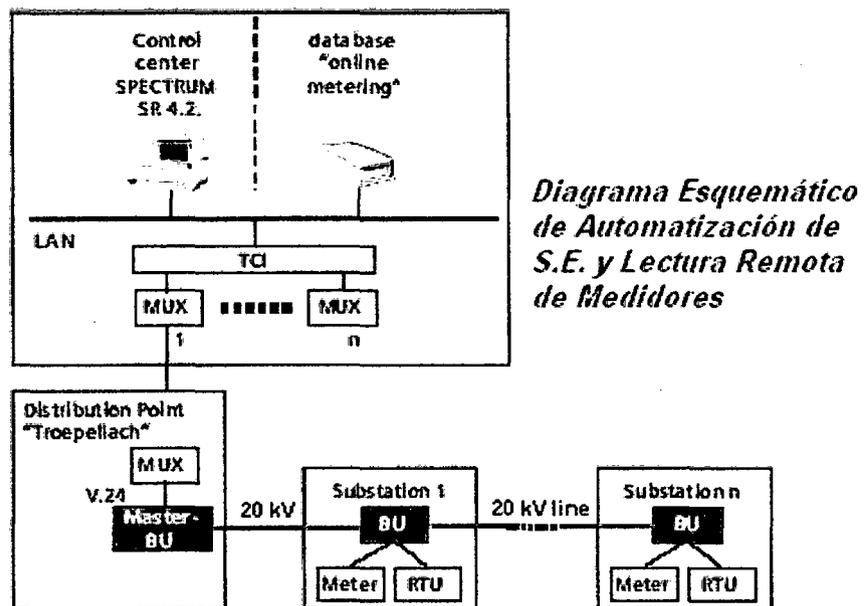


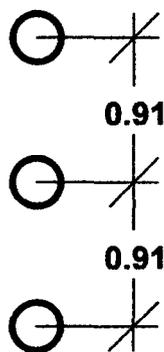
fig. 33

Gracias a la información enviada de los medidores, se optimizó el manejo de carga y se procedió a automatizar más de 50 subestaciones con el DCS300, siendo la extensión de la red de comunicaciones todavía un proceso continuo y con la meta de automatizar 150 subestaciones en un futuro cercano.

Hoy en día, aproximadamente el 50% de las líneas están acopladas inductivamente (a través de la protección o blindaje del cable) y 50% capacitivamente (por medio del conductor del cable), todas las instalaciones fueron hechas por el personal de Kelag y solo fue necesario una pequeña charla del uso del "Servicetool", que es el software que utiliza el equipo.

8.3.1 Análisis de Atenuación de la Señal:

Algunos tramos de las redes de la empresa Kelag, estaba conformado por cables de aleación de aluminio de 120 mm^2 (4/0) de 19 hilos, con un diámetro de 2.68 mm/hilo y 10 km. de longitud; calculemos entonces sus parámetros eléctricos a una temperatura de operación de 50°C . y una separación vertical de 0,91 mts. entre cables:



Para este tipo de cable, de las tablas del libro Stevenson se obtienen los siguientes valores:

$$D_S = 5,08 \text{ mm.}$$

$$D_m = 1,15 \text{ mts.}$$

Efectuando los correspondientes cálculos obtenemos los siguientes parámetros:

- $L = 1,08 \mu\text{H/mt.}$
- $C = 10,23 \text{ pF/mt.}$
- $R_{50^\circ} = 0,3125 \text{ m}\Omega\text{/mt.}$
- $G = 3200 \text{ S/mt.}$

Aplicando la form. 5 para una frecuencia de 60 Hz. obtenemos el siguiente valor de atenuación:

$$\alpha = 0,479 \times 10^{-6} \text{ nepers/mt.}$$

que viene a ser aproximadamente:

$$\alpha = 4,16 \times 10^{-6} \text{ dB/mt.}$$

valor que para el tramo de 10 km. en cuestión hace un total de **0,0416 dB.**, pero como deducimos que tan alto y perjudicial puede ser este valor de atenuación para el cable de aleación de aluminio.

Utilizando la form. 10 y recordando siempre que los valores de atenuación de cualquier señal son negativos (por ser pérdidas), podemos darnos cuenta de que cantidad de potencia perdemos para una frecuencia de 60 Hz , entonces:

$$\text{At.} = 10 \lg \frac{P_R}{P_T} = -0,0416$$

Obteniendose como valor del cociente de la Potencia de recepción (P_R) entre la de transmisión (P_T) un valor de 0,9905 lo cual representa una pérdida de menos del 1% de la potencia transmitida.

Para nuestro PLC trabajando con una frecuencia portadora de 20kHz., aplicando la misma fórmula al mismo tramo de 10 km, obtenemos un total de **0,1164 dB**, dando por resultado del cociente de potencias, un valor de 0,9736, lo cual significa una pérdida de menos del 3% de la señal.

Se ha elaborado las siguientes tablas donde se aprecia la variación de la atenuación en función de las frecuencias y de las distancias, para el cable en cuestión:

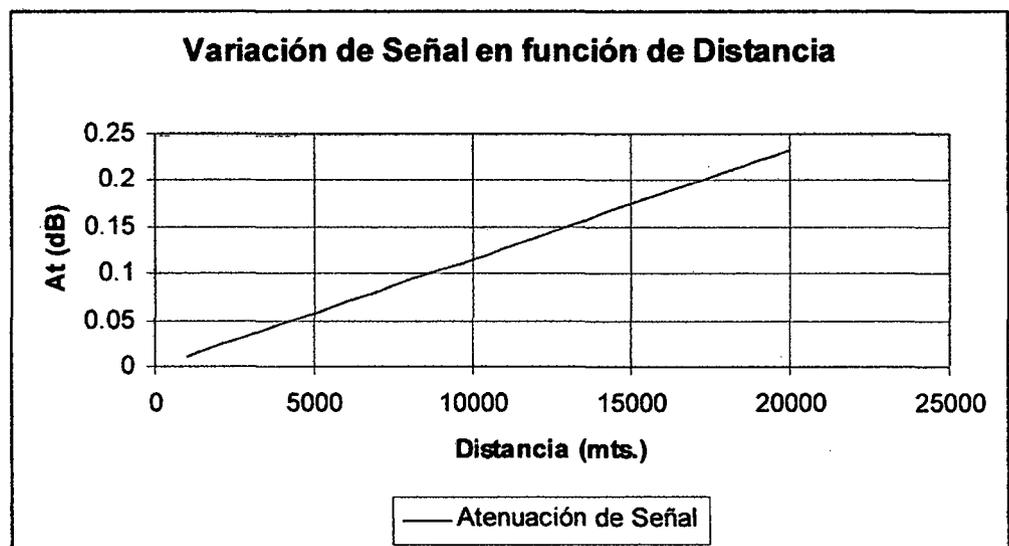
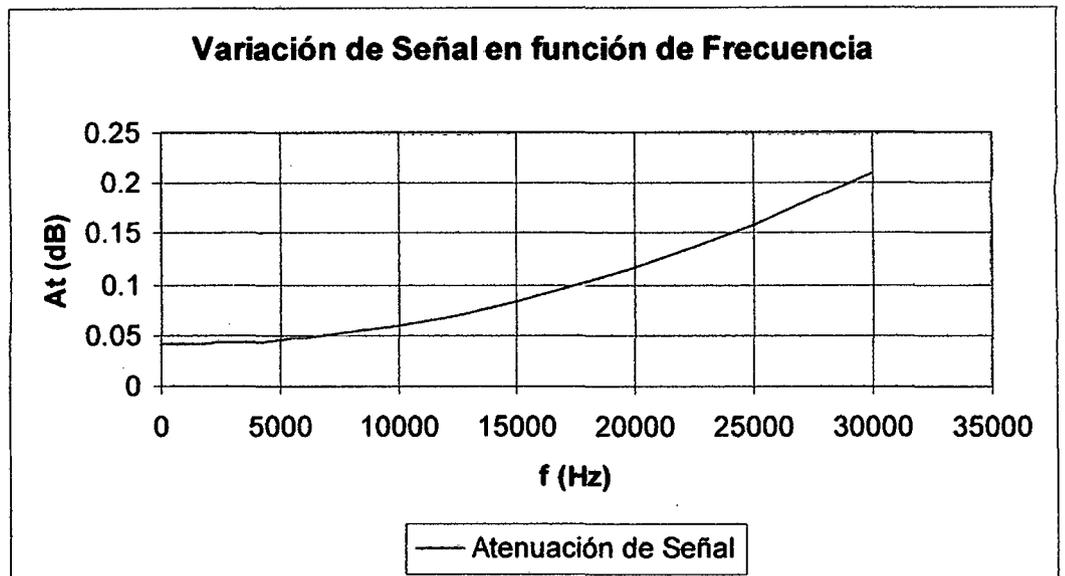
Tabla 1.- Variando la frecuencia y manteniendo la distancia de 10 km.:

Tipo de cable	R 50°C	L (Hr/mt)	X_L	C (F/mt)	X_C	G (S/mt)	f (Hz.)	Propagación β (rad/mt)	At. (neper/mt)	At. (dB/mt)	mt.	At. (dB)
Aleación de aluminio 120 mm ² , 19 hilos, (4/0, 107.22 mm ²), diam. 2.68mm/hilo	3.13E-04	1.08E-06	6.79E-05	1.023E-11	1.56E+09	3200	10	2.09E-07	4.8089E-07	4.177E-06	10000	0.04177
	3.13E-04	1.08E-06	4.07E-04	1.023E-11	2.59E+08	3200	60	1.25E-06	4.809E-07	4.177E-06	10000	0.04177
	3.13E-04	1.08E-06	6.79E-04	1.023E-11	1.56E+08	3200	100	2.09E-06	4.8091E-07	4.177E-06	10000	0.04177
	3.13E-04	1.08E-06	2.04E-03	1.023E-11	51858772	3200	300	6.27E-06	4.8108E-07	4.179E-06	10000	0.04179
	3.13E-04	1.08E-06	3.39E-03	1.023E-11	31115263	3200	500	1.04E-05	4.8143E-07	4.182E-06	10000	0.04182
	3.13E-04	1.08E-06	6.79E-03	1.023E-11	15557632	3200	1000	2.09E-05	4.8304E-07	4.196E-06	10000	0.04196
	3.13E-04	1.08E-06	2.04E-02	1.023E-11	5185877	3200	3000	6.27E-05	5.0022E-07	4.345E-06	10000	0.04345
	3.13E-04	1.08E-06	3.39E-02	1.023E-11	3111526	3200	5000	1.04E-04	5.3459E-07	4.643E-06	10000	0.04643
	3.13E-04	1.08E-06	6.79E-02	1.023E-11	1555763	3200	10000	2.09E-04	6.9568E-07	6.043E-06	10000	0.06043
	3.13E-04	1.08E-06	1.02E-01	1.023E-11	1037175	3200	15000	3.13E-04	9.6416E-07	8.375E-06	10000	0.08375
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	10000	0.1164
	3.13E-04	1.08E-06	1.70E-01	1.023E-11	622305.3	3200	25000	5.22E-04	1.8233E-06	1.584E-05	10000	0.15837
	3.13E-04	1.08E-06	2.04E-01	1.023E-11	518587.7	3200	30000	6.27E-04	2.414E-06	2.097E-05	10000	0.20968

Tabla 2.- Variando la distancia a una frecuencia constante de 20 kHz:

Tipo de cable	R 50°C	L (Hr/mt)	X_L	C (F/mt)	X_C	G (S/mt)	f (Hz.)	Propagación β (rad/mt)	At. (neper/mt)	At. (dB/mt)	mt.	At. (dB)
Aleación de aluminio 120 mm ² , 19 hilos, (4/0, 107.22 mm ²), diam. 2.68mm/hilo	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	1000	0.01164
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	2000	0.02328
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	3000	0.03492
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	4000	0.04656
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	5000	0.0582
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	6000	0.06984
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	7000	0.08148
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	8000	0.09312
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	9000	0.10476
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	10000	0.1164
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	12000	0.13967
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	15000	0.17459
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	18000	0.20951
	3.13E-04	1.08E-06	1.36E-01	1.023E-11	777881.6	3200	20000	4.18E-04	1.34E-06	1.164E-05	20000	0.23279

De las tablas 1 y 2 obtenemos las siguientes curvas respectivamente:



En la primera gráfica se aprecia que a partir de 10 kHz la atenuación se dispara cuando se hace el análisis variando las frecuencias y manteniendo la distancia de 10 km, mientras cuando variamos las distancias a una frecuencia de trabajo de 20 kHz, la atenuación aumenta de forma proporcional, pero recordemos que el PLC tienen un alcance

máximo de 15 km. para líneas aéreas de distribución, caso contrario se tendría que hacer enlaces intermedios.

8.4 Comparación Técnico Económico, con otros Medios de Comunicación:

La onda portadora compite generalmente contra los enlaces de radio y de fibra óptica, realicemos la comparación para una misma distancia de 10 km:

Tipo de Enlace	Implementos a Instalar	Trabajos a Realizar	Costo (\$ USA) Aprox.
Fibra Óptica ADSS (*)	<ul style="list-style-type: none"> -Cable de F.O. ADSS. - Kit de ferretería. - OFD de 19" 	<ul style="list-style-type: none"> -Instalación de cable F.O., sobre línea de 60 kV. -Instalación de ferretería. -Instalación de OFD. -Empalme de Fusión. -Mediciones reflectométricas y de pérdidas por inserción. -Transportes y seguros. 	52.587,95
Radio (*)	<ul style="list-style-type: none"> -Transmisor-Receptor digital. -Gabinete de piso. -Antena WISP24021PTNF. -Cable coaxial. -Multiplexor digital. -Ampliación Stma. De alimentación. -Stma. Pta. a tierra. -Kit de ferretería. 	<ul style="list-style-type: none"> -Instalación. -Gestión de permisos y autorizaciones ante le M.T.C. -Servicios tarifarios. -Transporte y seguros. 	37.588.12

<p align="center">Onda Portadora para Líneas de Distr. (**)</p>	<p>-2 PLC's. -Unidades de acoplamiento , inductivo o capacitvo. -Kit de ferretería.</p>	<p>-Instalación de unidades Básicas en celdas de media existentes. -Instalación de unidades de acoplamiento. -Configuración del equipo. -Transporte y seguros.</p>	<p align="center">15.350,00</p>
--	---	--	--

(*) Fuente Avanzit Perú S.A.C.

(**) Fuente Siemens Perú S.A.C.

Si bien los enlaces de radio y fibra óptica pueden enviar la información a mayor velocidad, las diferencias económicas son suficiente argumento para la utilización de la onda portadora en líneas de distribución, según las necesidades del usuario.

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Generalmente la mayor parte de las empresas desean la mayor velocidad posible en el envío de su información, la onda portadora definitivamente no es la más veloz, pero esta limitación se compensa en la parte económica.
- La utilización de la onda portadora en líneas de distribución eléctrica, nos da una solución económica y cubre las expectativas técnicas y de seguridad, para el envío de la información de los medidores de energía de las S.E. de distribución; permitiendo de esta manera a cada empresa realizar un estudio para hacer una correcta planificación de sus diagramas de carga y así reducir sus pérdidas de energía al mínimo.
- Nos abre la posibilidad de automatizaciones futuras de cada S.E., pero para ello las empresas distribuidoras, tendrían que planificar una instalación progresiva de minis RTU's en cada una de ellas.
- La onda portadora es una tecnología que ya es antigua pero nunca saldrá del mercado por las facilidades que nos da para su uso, tanto en transmisión como en distribución; hoy en día se usa en algunas partes del mundo para acceder a Internet, siendo el punto de acceso los tomacorrientes.

X. BIBLIOGRAFÍA

- B.P. Lathi, "Sistemas de Comunicación"; Nueva Editorial Interamericana; México D.F. 1998.
- KRAUS, J. "Electromagnetismo"; Editorial. McGraw - Hill, México D.F., 1984.
- WHITE, D.; "Electromagnetic Shielding. Materials and performance" Gainesville, Editorial Don White Consultants, 1988.
- TRANSENER S.A. "Guía de Diseño y Normas del Sistema de Comunicaciones por Onda Portadora"
- Siemens A. G.; "Manual del Power Link", Alemania, 2004.
- Siemens A. G.; "Presentación del DCS 3000", Alemania 2004.
- Sistemas de Comunicación de Marcial López Tafur.
<http://aniac.uni.edu.pe/antenas/parámetros%20antenas.pdf>
- Juan C. Fernández, Dpto. de Física, Facultad de Ing., Universidad de Buenos Aires.
<http://www.fi.uba.ar>
- "Radio Frecuencias y Microondas"
http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_522.htm#ecu6
- "Comunicación en Líneas de potencia"
http://en.wikipedia.org/wiki/power_line_communication
- "Medios de Comunicación"
<http://www.eveliux.com/fundatel/mcomunicacion.html>
- "Equipos de Comunicación Trench"
<http://www.trenchgroup.com>
- "Teoría de la Comunicación"
<http://www.ctv.es/USERS/carles/PROYECTO/proyecto.html>

XI. ANEXOS

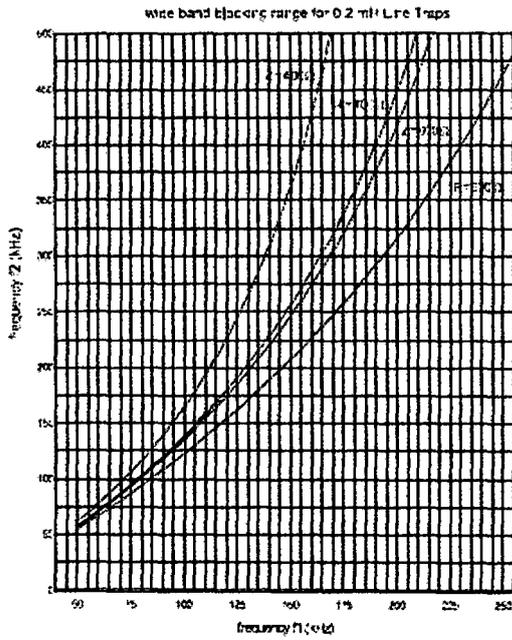
ANX. 1

Valores de corriente continua, tiempo corto de corriente e inductancia; según fabricante Trench.

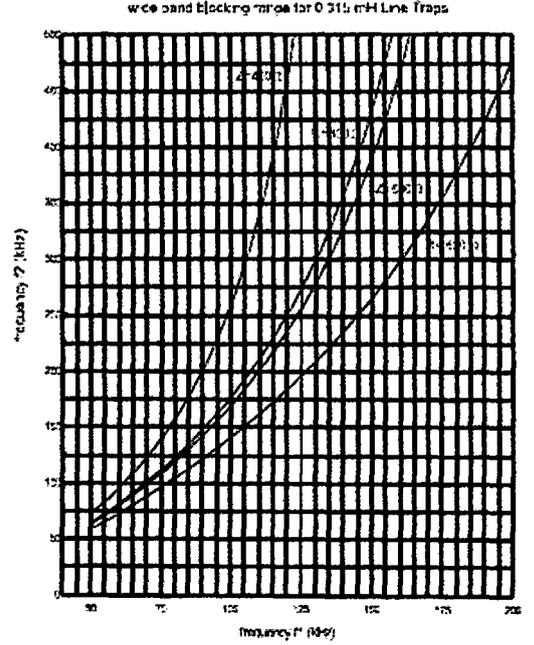
Valor de Corriente 353		IEC	Valor de Inductancia IEC 353						
Continua A	Tiempo corto Serie 1 kA/1seg.		mH a 100 kHz						
100	2.5		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
200	5		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
400	10		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
630	16		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
800	20		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1000	25		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1250	31.5		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1600	40		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
2000	40		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
2500	40		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
3150	40		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
4000	63		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
Continua A	Tiempo corto Serie 2 kA/1seg.		mH a 100 kHz						
100	5		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
200	10		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
400	16		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
630	20		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
800	25		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1000	31.5		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1250	40		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
1600	50		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
2000	50		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
2500	50		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
3150	50		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
4000	80		0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	1.00	2.00
Valor de Corriente C93.3		ANSI	Valor de Inductancia ANSI C93.3						
Continua A	Tiempo corto kA/2seg.		mH a 100 kHz						
400	15		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
800	20		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
1200	36		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
1600	44		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
2000	63		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
3000	63		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	
4000	80		0.265	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65	

ANX. 2

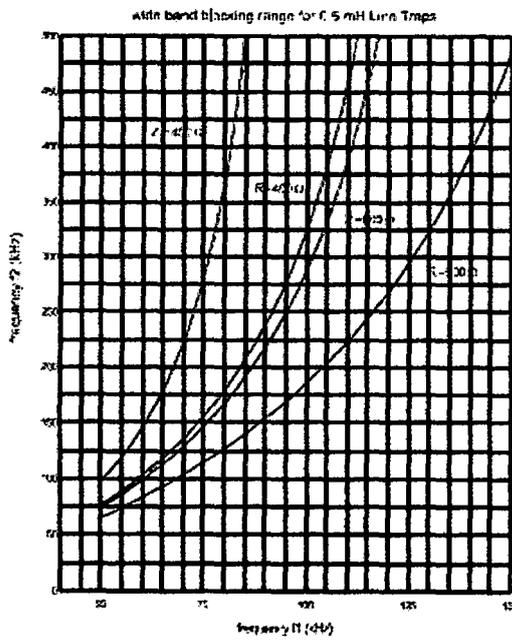
0,2 mH Line Trap



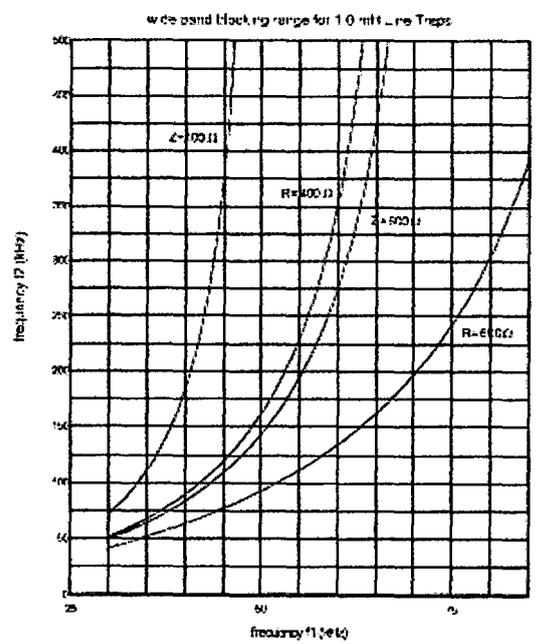
0,315 mH Line Trap



0,5 mH Line Trap



1,0 mH Line Trap

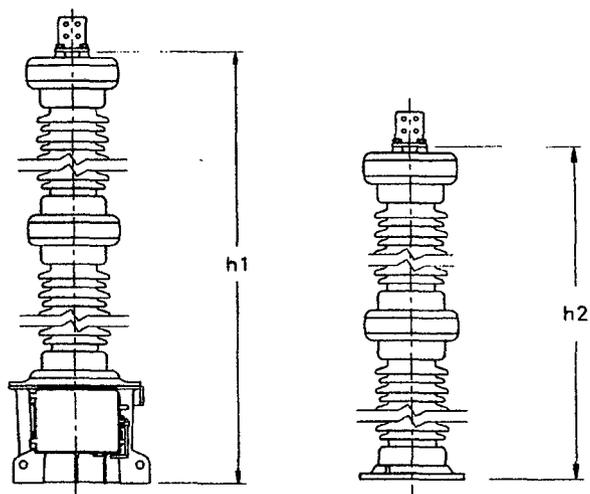


ANX.3

Datos Eléctrico y Mecánicos de TC. según Trench

	Tipo	Tensión Continua Máx. de Operación fase - fase kV	Resistencia al Impulso 1.2/50µs kV
TECP	69	72.5	350
	115	121	550
	138	145	650
	161	169	750
	230	242	1050
	287	300	1300
	345	362	1550
	400	420	1550
	500	550	1800
TEICF	115	121	550
	138	145	650
	161	169	750
	230	242	1050
	287	300	1300
	345	362	1550
	400	420	1550
	500	550	1880
	735	765	2425
TEHCP	115	121	550
	138	145	650
	161	169	750
	230	242	1050
	287	300	1300
	345	362	1550
	400	420	1550
	500	550	1800
	735	765	2425

ANX.4



Power frequency withstand 1 min. kV	Standard capacitance (2) pF	Standard creepage in/mm	Dimension h 1 in/mm	Dimension h 2 in/mm	Net weight approx. lb/kg
165	20,800	62.5/1590	51/1295 ⁽³⁾	35.75/908	275/125
265	12,500	102.5/2600	65/1651 ⁽³⁾	49.75/1264	350/159
320	10,400	130/3300	73.5/1867 ⁽³⁾	58.5/1486	375/170
370	8,300	145/3680	82/2083 ⁽³⁾	66.75/1695	400/181
525	6,200	205/5210	112/2845 ⁽³⁾	96.75/2457	575/261
640	4,600	260/6000	129/3277 ⁽³⁾	114/2896	600/272
785	4,100	290/7370	146/3708 ⁽³⁾	130.75/3321	675/306
785	3,500	390/9900	184.75/4693 ⁽³⁾	169.75/4305	825/374
900	2,800	435/11050	210/5334 ⁽³⁾	194.75/4947	950/431
265	20000	111/2819	71.75/1822	52.5/1333	525/238
320	16500	133/3378	80.25/2038	61/1549	575/261
370	15000	161/4089	90.75/2305	71.5/1816	650/295
525	10000	222/5638	121.5/3086	102.5/2603	900/408
640	8250	266/6756	138.5/3518	119/3023	1050/476
785	7500	322/8178	159.5/4051	140.5/3569	1150/522
785	5500	399/10135	197/5004	178/4521	1425/646
900	5000	483/12267	228.25/5798	209.5/5321	1650/748
1200	4000	644/16356	297/7544	278/7061	2150/975
265	47,500	112/2850	71.5/1810	53/1346	650/295
320	38,100	139/3530	79.75/2026	61.5/1562	700/318
370	30,500	165/4190	88.25/2242	70/1778	825/374
525	22,800	224/5700	121.75/3092	103.5/2629	1200/544
640	19,000	278/7060	138.75/3524	120.5/3061	1300/590
785	15,200	330/8300	155.5/3950	137.25/3486	1525/692
785	12,700	417/10590	197.75/5023	179.25/4553	1900/862
900	10,100	495/12570	223/5664	204.5/5194	2200/998
1200	6,200	660/16760	290.5/7379	271.75/6902	2900/1315

ANX.5B

Especificaciones y coordenadas de los conductores y cable de guarda, vistos desde la estación a hacia B.

Especificaciones del Cable de guarda	Cable de guarda N°1		Cable de guarda N°2	
Designación del conductor				
Diámetro del conductor DO(mm)				
Número de alambres de capa exterior				
Diámetro de alambres de capa exterior D1(mm)				
Materiales				
Espesor de la capa de hielo T1(mm)				
Desplazamiento horizontal (m)				
Altura de la suspensión (m)				
Flecha máxima (m)				
Especificación de conductores	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 4
Designación de conductor				
Número de conductores en haz				
Distancia entre conductores del haz D(cm)				
Diámetro del conductor DO(mm)				
Número de alambres de la capa exterior				
Diámetro de alambres de capa exterior D1(mm)				
Materiales				
Espesor de la capa de hielo T1(mm)				
Desplazamiento horizontal (m) del conductor N°	1:	4:	7:	10:
Desplazamiento horizontal (m) del conductor N°	2:	5:	8:	11:
Desplazamiento horizontal (m) del conductor N°	3:	6:	9:	12:
Altura de suspensión (m) del conductor N°	1:	4:	7:	10:
Altura de suspensión (m) del conductor N°	2:	5:	8:	11:
Altura de suspensión (m) del conductor N°	3:	6:	9:	12:
Flecha máxima (m)				

ANX.6

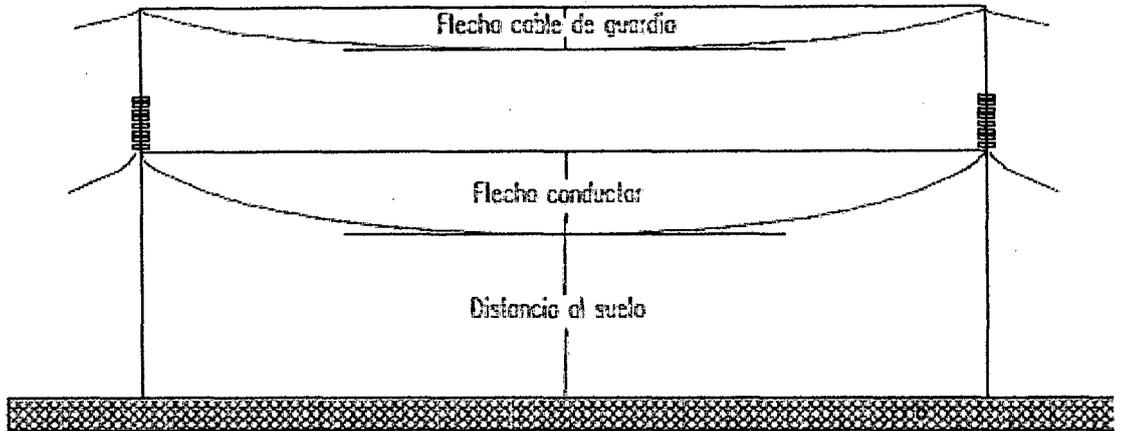
<p>Tipo: H11</p>	<p>Tipo: V11</p>	<p>Tipo: V12</p>	<p>Tipo: T11</p>
<p>Tipo: T12</p>	<p>Tipo: T13</p>	<p>Tipo: T14</p>	<p>Tipo: T15</p>
<p>Tipo: T16</p>	<p>Tipo: H21</p>	<p>Tipo: H22</p>	<p>Tipo: V21</p>
<p>Tipo: T21</p>	<p>Tipo: T22</p>	<p>Tipo: MP</p>	<p>Tipo: BP</p>

ANX.7

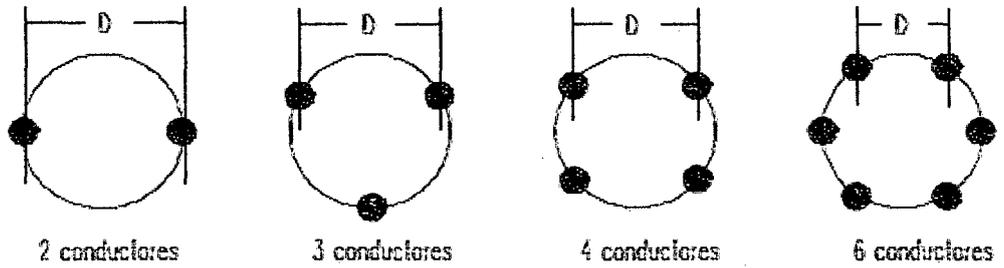
ESQUEMA DE TRANSPOSICION	f . l (el) (KHz.Km)	ρ (ohm.m)	σ_a (dB)
	< ∞	10.....10000	3.5
	< ∞	10.....10000	2-4
	< ∞	10.....10000	2-4
	< ∞	10.....10000	9.5
	< ∞	10.....10000	8-12
	< $3 \cdot 10^5$ < $5 \cdot 10^5$	> 300 < 300	< 15
	< $3 \cdot 10^5$ < $5 \cdot 10^5$	> 300 < 300	< 15
	< $3 \cdot 10^5$ < $5 \cdot 10^5$	> 300 < 300	< 15
	< $3 \cdot 10^5$	10.....10000	< 15
	< $3 \cdot 10^5$	10.....10000	< 15
	< $3 \cdot 10^5$	10.....10000	< 15

ANX.8

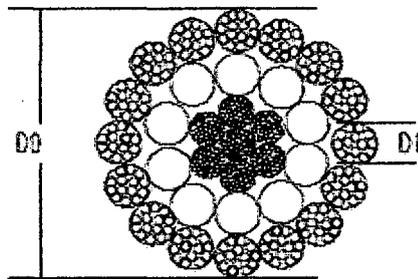
FLECHA DE CONDUCTORES Y CABLE DE GUARDIA



DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES DEL HAZ : D

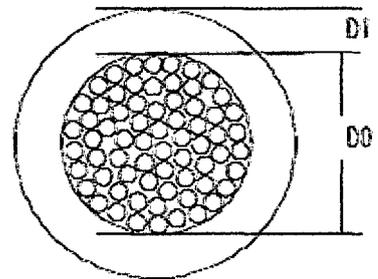


ESTRUCTURA DE CONDUCTOR ACSR



Diametro conductor : D_0
 Diametro alambres capa exterior : D_i
 Numero alambres capa exterior

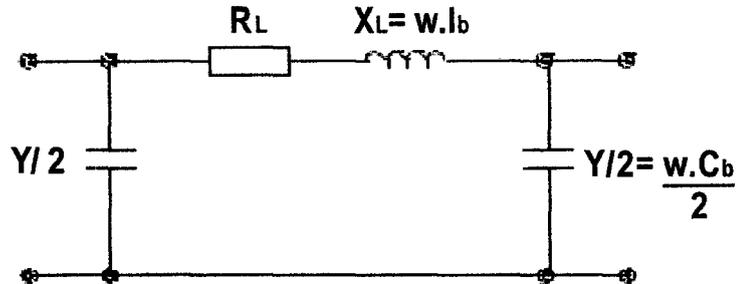
ESPESOR DE CAPA DE HIELO



Diametro conductor : D_0
 Espesor de capa de hielo

ANX.9

Circuito equivalente PI de una línea trifásica de longitud media:



Los parámetros distribuidos de una línea son:

- r (ohm/km)
- $X_L = w.l_b$ (ohm/km)
- C_b (mF/km)
- $w = 2\pi.f$ (Hz)
- $L_T = \text{long. De la línea}$ (km)
- $Z = r + jw.l_b$ (ohm / km) impedancia serie
- $Y = g + jw.C_b$ (mho / km) admitancia paralelo

La impedancia característica de la línea es:

$$Z_0 = \sqrt{Z/Y} \quad (\text{ohm})$$

Suponiendo la línea sin pérdidas resulta:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{jw.l_b.L_T}{jw.C.L_T}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

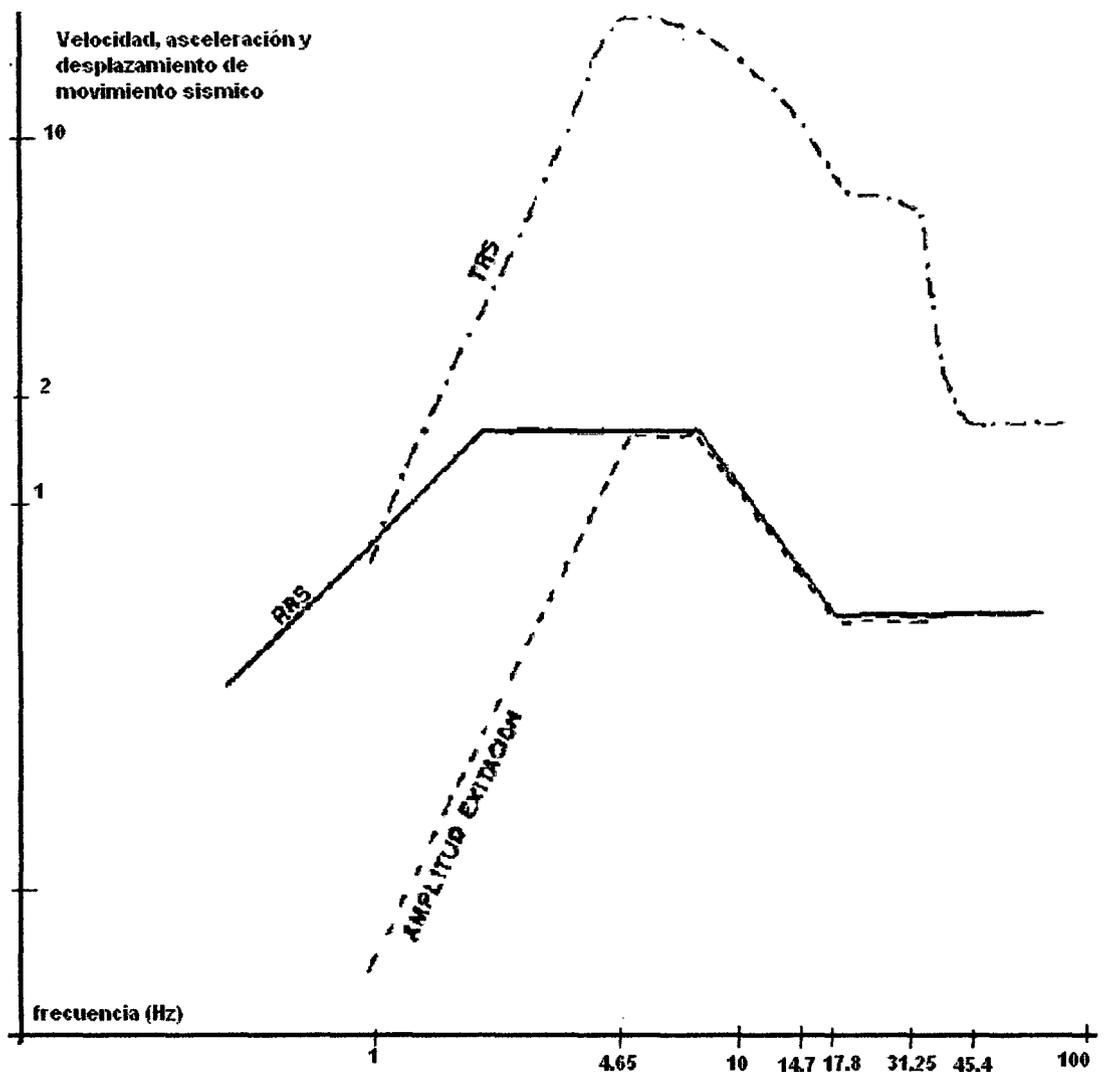
Siendo : $L = l_b . L_T$

$C = C . L_T$

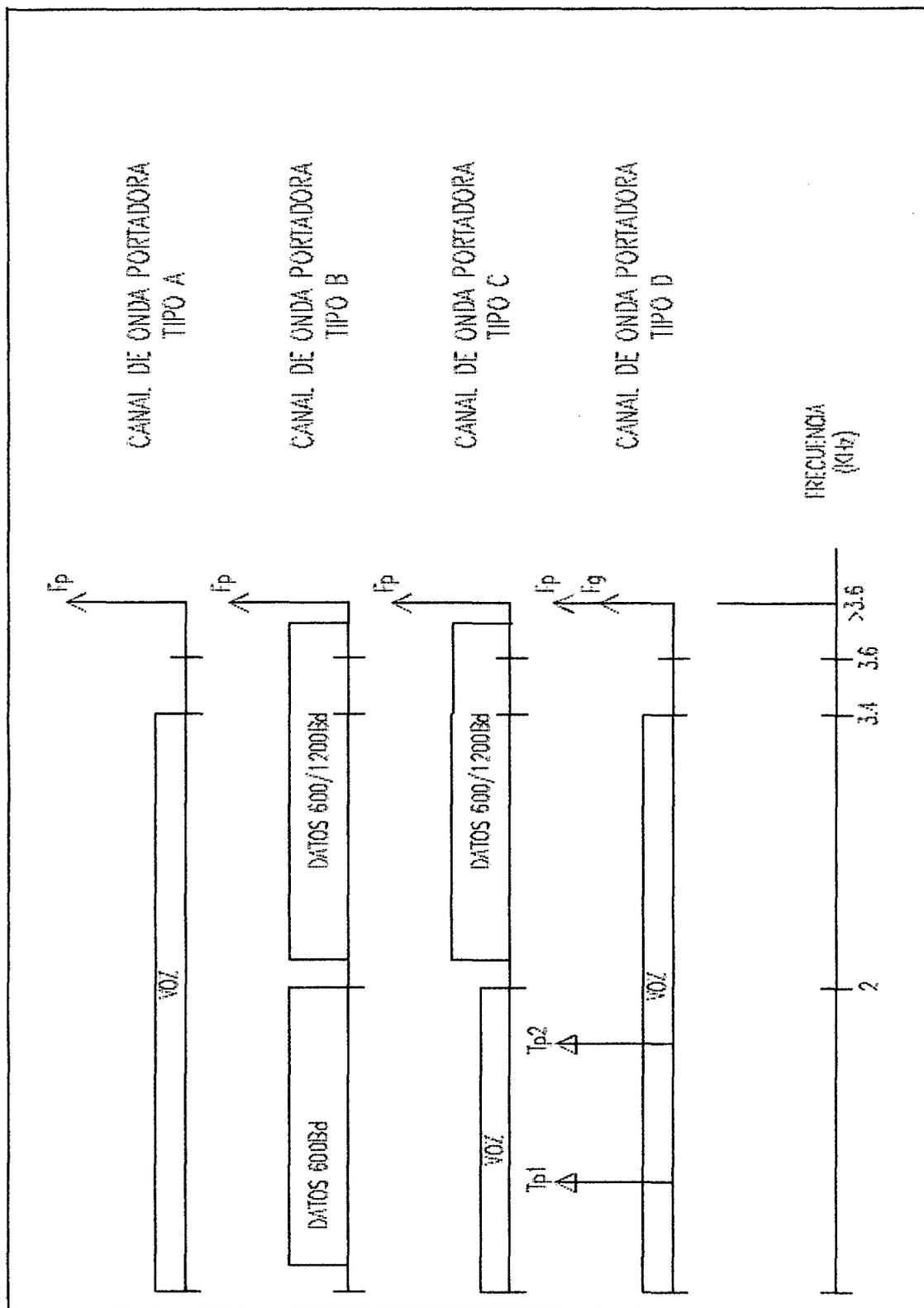
Considerando un factor de potencia unitario y constante a lo largo de la línea.

ANX.10

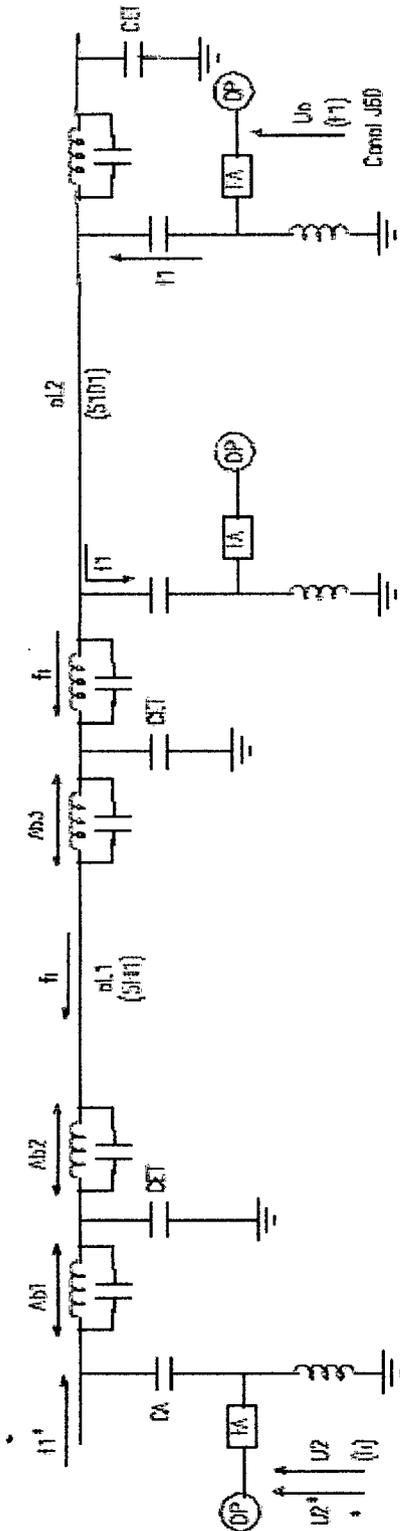
Excitación Sísmica y Espectro de respuesta a Excitación determinada (TRS)



ANX.11



ANX.13



Efecto interferente del canal J60 sobre el canal J58

$$U2^* (f1) = +7,5 \text{ dBu} \quad \therefore [S/N] = 62,5 \text{ dB}$$

$$U2 (f1) = -55 \text{ dBu}$$

CANAL No.	C. interf. No. (C.T.)	U2* (dBu)	U2 (dBu)	Uo (dBu) en C.T.	SUM. en línea en línea	Potenc. S/A (dB)	n. dist. (dB)
J58	J60	+7,5	-55	DIA (J60) +33,8	5187+5107 38,5	62,5	49,8