

**Estudio y Diseño Preliminar de un Sistema de  
Transmisión de Información mediante el uso de la  
Red de Distribución Eléctrica  
Anexos**



**Huber Oswaldo Muñoz Cerón  
Carlos Alejandro Puerto Guzmán**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Popayán, 2003**

**Estudio y Diseño Preliminar de un Sistema de  
Transmisión de Información mediante el uso de la  
Red de Distribución Eléctrica  
Anexos**



**Huber Oswaldo Muñoz Cerón  
Carlos Alejandro Puerto Guzmán**

Monografía para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Director: Ing. Aldemar Holguín Rojas**

**Universidad del Cauca**  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Línea de Investigación Sistemas de Radiocomunicaciones  
Popayán, 2003

## **ANEXO A**

# **CÓDIGOS FUENTE DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE DESARROLLADAS**

## **LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.**

### **1. LAS DISTINTAS REDES ELÉCTRICAS**

La estructura eléctrica de un país suele dividirse en varios niveles que corresponden a distintas redes eléctricas. Hay que subrayar que no existe ninguna estructura única en el mundo y que la repartición en varias redes con sus niveles de tensión asociados puede ser distinta según los países. Pero, en general, el número de niveles de tensión se limita a tres; por otra parte, en 1983, la publicación CEI<sup>1</sup> 38 ha formulado recomendaciones para los niveles de tensión de las redes de 50 a 60Hz.

#### **1.1. RED DE TRANSPORTE E INTERCONEXIÓN**

La dispersión geográfica entre los lugares de producción y los centros de consumo, la irregularidad de este consumo y la posibilidad de almacenar la energía eléctrica, requieren una red capaz de transportarla grandes distancias. Sus líneas alcanzan millares de kilómetros. La finalidad de esta red es triple:

- Una función de interconexión nacional que gestiona la repartición de la oferta, orientando la producción en función de la repartición geográfica y temporal de la demanda.
- Una función de interconexión internacional para gestionar los flujos de energía entre los países en función de intercambios programados o a título de ayuda.
- Una función de transporte cuyo propósito es llevar la electricidad de las centrales de producción a las grandes zonas de consumo.

En general, sólo algunos abonados con fuerte consumo están conectados a estas redes. La estructura de estas redes es esencialmente de tipo aéreo. Las tensiones suelen estar incluidas entre 225 y 400Kv, a veces 800Kv. La utilización de estas elevadas tensiones

---

<sup>1</sup> Comisión Electrotécnica Internacional

está ligada a un objetivo económico. En efecto, para una potencia dada, las pérdidas en línea por efecto Joule son inversamente proporcionales al cuadrado de la tensión:

$$p = k/U^2$$

Donde:  $U$  = tensión de la red  
 $k$  = una constante función de la línea.

Además las potencias transportadas son tales que la utilización de una tensión baja conllevaría secciones de cables totalmente inadmisibles. El uso de tensiones elevadas es por lo tanto una imposición, por lo tanto, la solución más fácil consiste en utilizar líneas aéreas.

En todos los casos, la elección de una tensión de transporte es, ante todo, un compromiso tecnoeconómico, función de las potencias a transportar y las distancias a recorrer. El aspecto de seguridad es fundamental en estas redes. En efecto, cualquier fallo en este nivel conlleva importantes defectos en la alimentación para el conjunto de los puntos de consumo. Por lo tanto, las protecciones de estas redes deben ser muy eficaces.

## 1.2. RED DE REPARTO

La finalidad de esta red es, ante todo, llevar la electricidad de la red de transporte hacia los grandes centros de consumo. Estos son:

- El sector público con acceso a la red de distribución MT.
- El sector privado con acceso a abonados de gran potencia (superior a 10 MVA) conectados directamente a AT. El número de estos abonados en cada país es pequeño. Se trata sobre todo de industrias como la siderurgia, la del cemento, la química y la de transporte ferroviario.

La estructura de estas redes es generalmente aérea (a veces subterránea cerca a las ciudades). En este sector, las políticas de respeto al entorno y al medio ambiente, se oponen frecuentemente a la construcción de estas líneas. Por consiguiente, la penetración de redes de reparto hasta las zonas de gran densidad de población es cada vez más compleja y costosa.

Las tensiones de estas redes están comprendidas entre 25Kv y 275Kv. Las protecciones son del mismo tipo que las utilizadas en las redes de transporte.

### **1.3. RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

La finalidad de estas redes es acercar la electricidad de las redes de reparto a los puntos de consumo medio. Estos centros de consumo son:

- El sector privado, con acceso a los centros de suministro a abonados con consumo medio. El número de estos abonados sólo representa un pequeño porcentaje del número total de consumidores suministrados directamente en BT. Son esencialmente del sector terciario, como hospitales, edificios administrativos, pequeñas industrias.
- El sector público con acceso a la red de distribución pública MT/BT.

La estructura es de tipo aéreo o subterráneo. Las tensiones en estas redes están incluidas entre algunos kilovoltios y 40Kv. Las protecciones son menos sofisticadas que en el caso de las redes anteriores.

### **1.4. RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN**

Esta red tiene como finalidad llevar la electricidad de la red de distribución de MT a los puntos de bajo consumo en el sector público con acceso a los abonados de BT. Representa el último nivel en una estructura eléctrica. Esta red permite alimentar el elevado número de consumidores del sector doméstico. Su estructura, de tipo aéreo o subterráneo, es a menudo influenciada por el entorno.

## **2. LA RED DE BAJA TENSIÓN**

El Campo de Baja Tensión abarca tensiones de:

- Alternas < 1000V, Frecuencias <10KHz.
- Continuas <1500V.

Llamadas también “tensiones asignadas”, estas tensiones están definidas en la publicación CEI 6 0038 de 1983. En el mundo, hasta el año 2003, se podrán encontrar todavía diversas tensiones nominales:

- Europeas: 220/380V, 50Hz.
- Inglesas: 240/415V, 50Hz.
- USA: 120/240 y 480V, 60Hz.

Pero estas tensiones varían alrededor del valor nominal (**Un**) en función de la estructura y de la carga en la red (longitud de los conductores y variación de carga) y de los sistemas de regulación de la red pública (o privada).

En explotación normal para cada período de una semana el 95% de los valores eficaces medios en 10 minutos deben situarse en el margen  $Un \pm 10\%$ .

Además estas variaciones deben asociarse a la noción de duración, por ejemplo:

- Permanente:  $Un \pm 10\%$ ,
- Cinco minutos:  $Un \pm 20\%$ .

En cuanto a la frecuencia, las variaciones lentas alrededor del valor nominal 50 ó 60Hz son generalmente estrechas, cerca del  $\pm 1\%$  durante el 95% de una semana y [+ 4%, - 6%] en caso de perturbaciones más importantes.

## **2.1. LAS PERTURBACIONES DE AMPLITUD**

En explotación normal, todas las redes sufren perturbaciones debidas a las variaciones de carga, pero, también y sobre todo, a los fenómenos aleatorios cuyo origen es accidental, como por ejemplo, los cortocircuitos. La red BT está sometida a estas dos causas de perturbaciones (que pueden producirse en cualquier nivel de la red BT, MT o AT). Es necesario por lo tanto, conocer estas perturbaciones con el fin de tener una idea real de las hostilidades del medio de transmisión.

### 2.1.1. LAS BAJADAS DE TENSIÓN Y LOS CORTES BREVES

La bajada de tensión se define generalmente como un descenso entre el 10% y hasta casi el 100% del valor nominal de la tensión durante un tiempo comprendido entre 10ms y algunos segundos (*Figura 1*). Estadísticamente, en la cabecera de una red BT, se observan cortes y bajadas de tensión con una frecuencia que varía entre 1 vez al mes y 10 veces al día. Su origen está normalmente en la MT y AT y su duración, en el 80% de casos está comprendida entre 25 y 350ms.

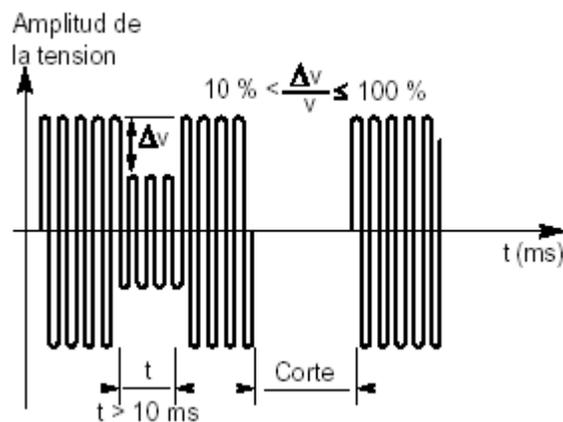


Figura 1: Bajada de tensión ( $\Delta v$ ) y corte de tensión.

Cuando no hay tensión (bajada de la tensión del 100%) durante 1 segundo a 1 minuto se habla de “corte breve” de tensión, y entre 10 ms y 1 s de “corte muy breve”. Cuando la duración del corte es  $\pm 10$  ms, el corte suele deberse a “fenómenos transitorios” o voluntarios, por ejemplo, a la utilización de arrancadores electrónicos.

#### 2.1.1.1 Originadas en la Explotación de las Redes AT y MT

Las variaciones voluntarias de la geometría de la red provocan cortes breves que pueden llegar a varios segundos. La conexión de grandes transformadores provoca bajadas de tensión evolutivas debido a las corrientes de conexión. Igual sucede en la conexión de condensadores MT y grandes motores.

Perturbaciones en las redes AT y MT, como defectos de aislamiento, rayos, rotura de un cable, derivación a tierra de un cable aéreo, provocan cortocircuitos que generan caídas

de tensión importantes en una zona más o menos extensa alrededor del origen del defecto. Estos fenómenos afectan a todos los niveles de tensión, pero particularmente a las redes de MT (20Kv).

#### 2.1.1.2 Originadas en la Explotación de las Redes BT

Las bajadas de tensión que se observan en una red BT y que se deben a su explotación, están provocadas por:

- La conexión de condensadores (eventualmente colocados al principio de la red) que provoca, como en MT, una bajada de tensión muy breve, incluso un fenómeno transitorio de tipo oscilatorio.
- Un arranque normal de grandes motores, alimentados directamente por el Cuadro General Baja Tensión, que provoca una bajada de tensión o un “arranque en marcha” (realimentación después de un corte breve) que provoca un pico de corriente casi siempre importante.

#### 2.1.1.3 Debidas a Defectos en las Redes BT

Los cortocircuitos en la red principal de distribución BT entre dos conductores activos o entre un conductor activo y una masa provocan bajadas de tensión que pueden ser profundas, y que pueden durar de 50 a 500ms (*Figura 2*).

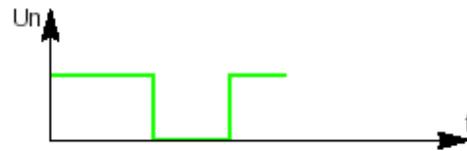
#### 2.1.2. LAS SOBRETENSIONES

Dejando aparte las sobretensiones accidentales, por ejemplo, la conexión de un transformador de 220 a 400V, las únicas elevaciones de tensión que pueden rebasar el campo nominal de variación (+ 10%) se observan cuando la red BT no está cargada. Los impulsos de sobretensión se deben, sobre todo, a maniobras en la red MT y a los rayos.

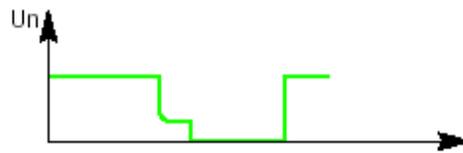
##### 2.1.2.1 Maniobras en la Red MT

- Conexión de bancos de condensadores MT, sin autoinducción de bloqueo: el valor de cresta puede alcanzar  $2U_n$  (*Figura 3*).

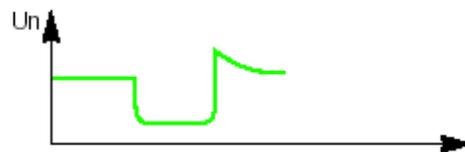
■ Conmutación voluntaria de fuentes.  
Duración: de algunos milisegundos a varios minutos.



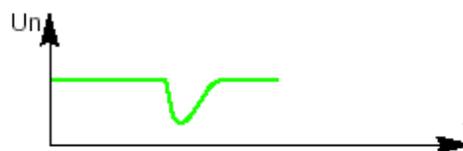
■ Conmutación automática de fuentes a continuación de un corte de suministro de red.  
Duración: algunos milisegundos hasta 10 s.



■ Cortocircuito externo.  
Duración: de 10 ms a más de 100 ms.



■ Conexión de una unidad de gran potencia.  
Duración: depende de la potencia de la red.



■ Paradas breves de grandes motores con reconexión inmediata «al vuelo», sin llegar a pararse.

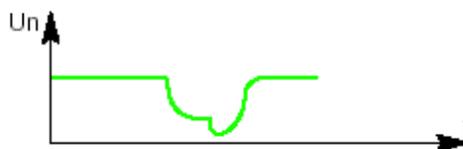


Figura 2: Principales tipos de bajadas y cortes de tensión.

- Desconexión de transformadores MT/BT: La cresta puede alcanzar  $3 U_n$ , y depende de la corriente “cortada” por el órgano de ruptura MT (*Figura 4*). Estas sobretensiones se transmiten a la BT a través del transformador MT/BT.

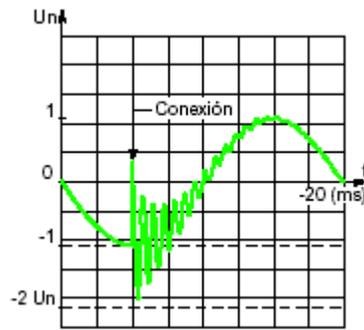


Figura 3: Onda de tensión de la conexión de un banco de condensadores MT.

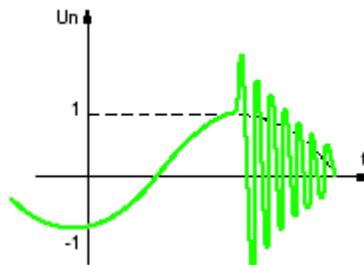


Figura 4: Onda de tensión de la desconexión de un transformador.

### 2.1.2.2 El Rayo

El rayo afecta directamente a las redes aéreas. No existe el mismo peligro en todas las regiones. En cuanto a las instalaciones, tampoco existe el mismo riesgo. El peligro mayor corresponde al caso de líneas aéreas de gran longitud en regiones con muchas tormentas. La *Figura 5* indica el número y el valor de las sobretensiones que se pueden alcanzar a lo largo de un año. Se trata de valores estadísticos y se está siempre a merced de una descarga directa de rayo de valor muy superior.

Las normas de coordinación del aislamiento y compatibilidad electromagnética (CEM) tienen muy presente este fenómeno que desarrolla una energía impulsional considerable, que se transmite a la red BT por los transformadores MT/BT.

### 2.1.2.3 Maniobras de seccionadores y disyuntores y funcionamiento de las protecciones de Baja Tensión.

Cortar una corriente de cortocircuito no puede hacerse sin riesgo de un cierto nivel de sobretensiones, que pueden alcanzar varios centenares de voltios para los interruptores automáticos y varios Kv en el caso de fusibles.

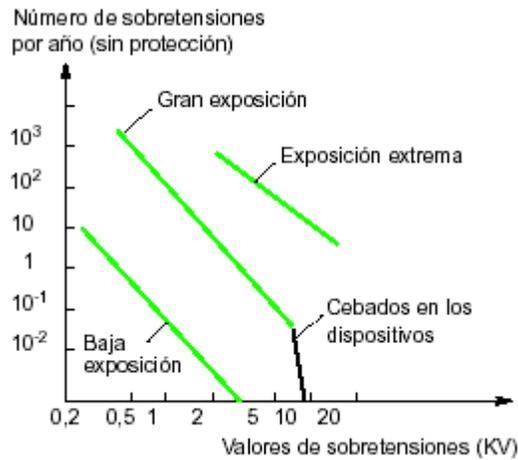


Figura 5: Número y valor de las sobretensiones estadísticamente posibles según la probabilidad de exposición al rayo.

Las bobinas de los relés y de los contactores tienen una impedancia autoinductiva y cortar “una corriente inductiva” provoca casi siempre sobretensiones importantes. En el caso de un relé (*Figura 6*) cuando el interruptor K corta bruscamente la corriente, la energía  $\frac{1}{2} Li^2$  se transforma en energía  $\frac{1}{2} CV^2$  de donde una sobretensión:

$$V = i \sqrt{\frac{L}{C}} = 0.15 \sqrt{\frac{10^{-1}}{0.25 * 10^{-9}}} = 3000V$$

Las sobretensiones observadas pueden alcanzar 10Kv en un circuito de 230V.

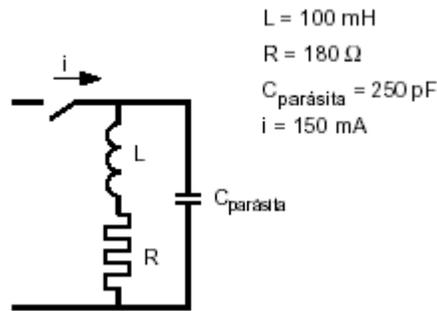


Figura 6: Esquema equivalente de un relé.

En las redes BT y MT, en vacío o poco cargadas, interrumpir una pequeña corriente inductiva no es fácil y provoca la aparición de sobretensiones, frecuentemente múltiples.

## 2.2. PERTURBACIONES DE LA ONDA SENOIDAL

Las tensiones (ondas) observadas en las redes, permanentes o temporales, no son nunca perfectamente sinusoidales, debido a múltiples factores.

### 2.2.1. LOS GENERADORES

Aparatos de mala calidad, generan armónicos (*Figura 7*).



Figura 7: Onda de tensión entregada por generadores “baratos”.

### 2.2.2. LOS TRANSFORMADORES

Cuando están calculados muy ajustados, comienzan a saturarse en cuanto la tensión excede del valor nominal y entonces absorben corrientes no senoidales (*Figura 8*).

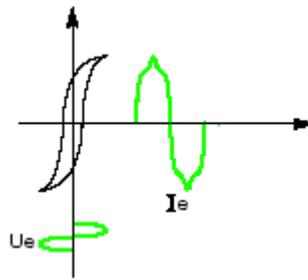


Figura 8: Onda de corriente en vacío, absorbida por un transformador calculado excesivamente justo.

### 2.2.3. LOS RECEPTORES

- Los Tubos Fluorescentes: Los arcos eléctricos absorben corrientes no senoidales especialmente cargadas de armónicos. Los tubos fluorescentes producen armónicos.
- Los Rectificadores Controlados por Fase: En la gran mayoría de casos alimentan un circuito inductivo y absorben sucesivamente sobre cada fase una corriente rectangular. En cada conmutación de los semiconductores, la senoide de la tensión de alimentación queda afectada por una breve interrupción (cebado anódico); *Figura 9*. En cuanto a los reguladores de temperatura con control de fase, cada cebado de los tiristores provoca un pico de tensión de alimentación debido a su componente autoinductiva, seguido de una pequeña caída de tensión que depende de la resistencia interna de la alimentación (*Figura 10*).

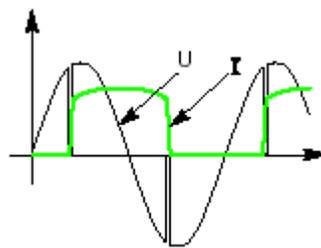


Figura 9: Ondas de tensión y de corriente deformadas por un rectificador controlado por fase.

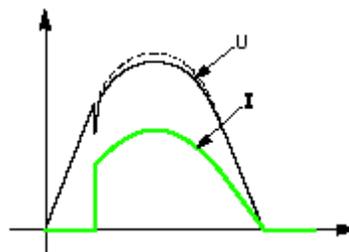


Figura 10: Ondas de tensión y de corriente deformadas por un regulador para hornos.

- Las Alimentaciones Conmutadas (Switching): Actualmente se utilizan mucho (TV, PC, etc.). Estas alimentaciones tienen en el circuito de entrada un puente de diodos seguido por un condensador de filtro que genera corrientes armónicas importantes.

#### 2.2.4. LOS HORNOS INDUSTRIALES

Son auténticos generadores de perturbaciones en las redes:

- Los hornos de arco producen un verdadero ruido eléctrico que contiene todas las frecuencias, con una amplitud que decrece con la frecuencia.
- Los hornos de inducción AF son generadores de parásitos de banda estrecha, centrada sobre algunas decenas de KHz.

#### 2.2.5. LAS SEÑALES PORTADORAS

Se trata de señales adicionales inyectadas en la red por el distribuidor.

### 2.3. PERTURBACIONES PARTICULARES DE LOS SISTEMAS POLIFÁSICOS

#### 2.3.1. LOS DESEQUILIBRIOS DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN

Las redes eléctricas son generalmente trifásicas, y alimentan receptores trifásicos, pero también muchos receptores monofásicos. Las corrientes absorbidas en las tres fases son de amplitud diferente y se observan desequilibrios de tensión; estos desequilibrios generan componentes simétricas de secuencia inversa de la corriente (*Figura 11*).

En condiciones normales de explotación, para cada periodo de una semana, el 95% de los valores eficaces calculados en 10 minutos, de la componente inversa de la tensión de alimentación, deben de estar entre el 0 y el 2% de la componente directa. Las tasas más elevadas se observan en las redes BT alimentadas por un transformador de reducida potencia, con una mayoría de derivaciones monofásicas. Es el caso de los centros de transformación sobre poste que alimentan a unos pocos abonados BT.

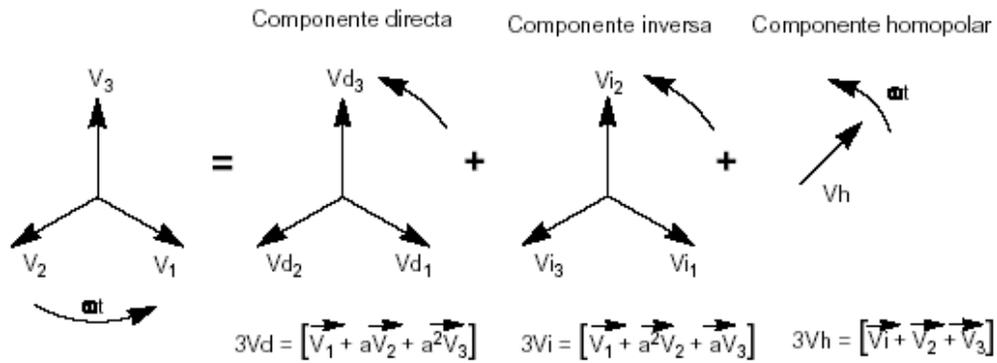


Figura 11: Componentes directa, inversa y homopolar en un sistema trifásico.

### 2.3.2. LOS DESEQUILIBRIOS DE FASES

Además de los efectos de las componentes inversas en los motores, el desequilibrio de tensiones trifásicas afecta al funcionamiento de los dispositivos con tiristores de conmutación de fase (*Figura 12*).

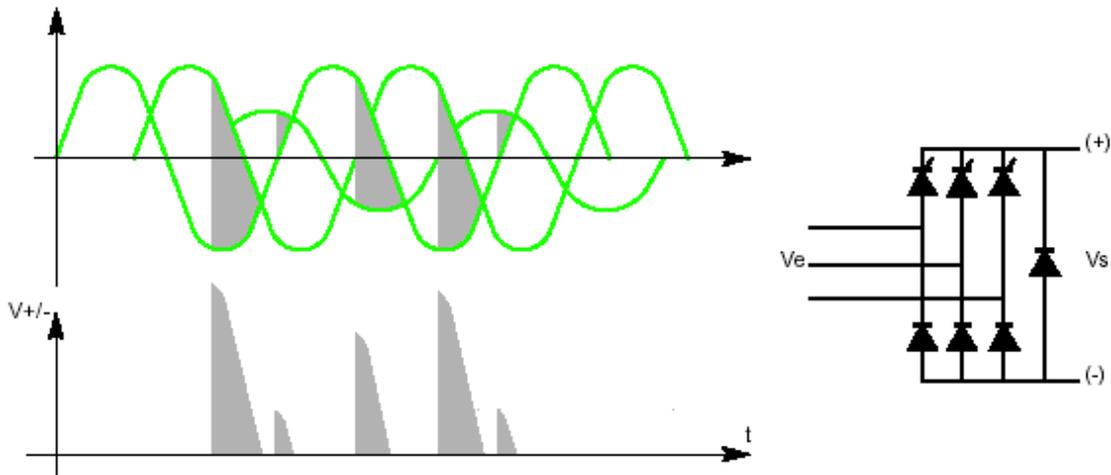


Figura 12: Efecto de un desequilibrio de tensión en un rectificador de puente de Graetz semicontrolado.

También los armónicos, que modifican el paso por cero de las tensiones, pueden perturbar la sincronización del encendido de los tiristores. En el campo de las protecciones contra riesgos eléctricos, este tipo de perturbaciones es también perjudicial porque los desequilibrios de corriente limitan la utilización del montaje Nicholson (conexión común de 4 transformadores de corriente) para detectar corrientes residuales debidas a fallos de aislamiento.

## 2.4. PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Estas Perturbaciones se pueden dividir en dinámicas (Campos y Radiaciones) y en estáticas (Descargas Electroestáticas).

### 2.4.1. CAMPOS Y RADIACIONES

Un equipo situado en las proximidades de un conductor que transporte una gran corriente de 60Hz, va a recibir, por acoplamiento inductivo, una fuerza electromotriz parásita. Un equipo situado en las proximidades de una red AT va a recibir una tensión parásita; lo que sucede con cualquier conductor colocado dentro de un campo eléctrico.

Una intensidad de corriente importante radia un campo magnético de baja impedancia, y una tensión importante radia un campo eléctrico de alta impedancia. En efecto, la impedancia de un campo se expresa por la razón:

$$Z_c = \frac{E}{H}$$

Existe una gran diversidad de fuentes de perturbaciones radiantes, que se agrupan, generalmente, en dos grandes familias:

- De espectro estrecho: emisiones de radio, hornos de inducción, microondas...
- De espectro ancho: rayo, descarga electrostática, aparatos de corte, motores con colector de delgas, soldadores, hornos de arco...

Los circuitos electrónicos son las principales víctimas de las perturbaciones electromagnéticas, por el hecho de que tratan señales de tensión muy bajas y que tienen gran impedancia (consumen cada vez menos). Los parásitos llegan a la "víctima" sobre todo a través del cableado que entra y sale de la caja (acoplamientos: en modo común, modo diferencial, impedancia común). Los circuitos más sensibles son los Amplificadores BF (paso bajo), los Circuitos de Entrada (integradores).y los Circuitos Lógicos (digitales).

En comunicaciones digitales, los buses crean, junto con la red eléctrica, bucles sensibles a los campos magnéticos desarrollados por las grandes corrientes eléctricas de los sistemas de potencia y las caídas de rayo próximas.

### 2.4.2. DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS

Este tipo de perturbación afecta y/o destruye los aparatos electrónicos, pero no “afecta” a las redes eléctricas. La electrónica es especialmente sensible a estas descargas electrostáticas porque utiliza cada vez más, componentes de muy bajo nivel de bajo consumo y alta impedancia. Y estos aparatos tienen siempre alguna parte que puede tocarse como por ejemplo los displays, potenciómetros, etc.

Una persona, según el tipo de calzado que lleve y el suelo sobre el que se desplace así como el grado de humedad del aire, puede “cargarse” a un potencial que puede alcanzar los 15Kv (*Figura 13*), en el caso de corrientes de descarga estas pueden alcanzar decenas de amperios (*Figura 14*).

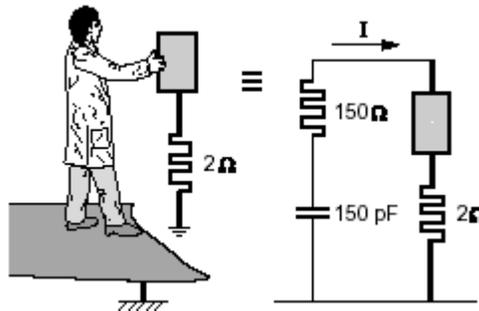


Figura 13: Modelación de un circuito de carga electrostática de una persona.

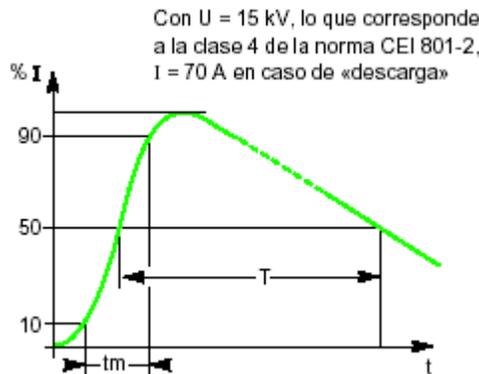


Figura 14: Corriente de descarga electrostática ( $t_m = 5 \text{ ns}$ ;  $T = 30 \text{ ms}$ ).

## **ANEXO B**

# **SISTEMAS DE MODULACIÓN**

## **SISTEMAS DE MODULACIÓN**

Al considerar las redes de distribución eléctrica como un medio de transmisión de información se hace necesario estudiar conceptos básicos, técnicas y problemas que caracterizan la transferencia de información por medio de señales eléctricas, debido a las limitaciones del medio de físico de transmisión.

Para aprovechar mejor el medio de transmisión y dado que muchas señales no pueden ser enviadas directamente a través de un canal tal como provienen de la fuente, es necesario utilizar la modulación, que es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal moduladora); la modulación debe ser un proceso reversible, de tal manera que el mensaje pueda ser recuperado en el receptor por medio de la operación complementaria de demodulación. El éxito de un sistema de comunicación depende en gran parte de la modulación, por lo cual la elección del tipo de modulación que más se adecua al canal, es una decisión alrededor de la cual gravita el diseño del sistema.

Entre las grandes ventajas de la modulación se encuentra el efecto de reducción de ruido e interferencia, el cual es imposible eliminar totalmente. Ciertos tipos de modulación tienen la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión, sin embargo, ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original.

Para la transmisión por un medio se debe establecer si la información a enviar es de carácter analógico o digital. En el caso de señales analógicas se emplean las conocidas técnicas de modulación analógica (AM, FM o PM), en la que el parámetro modulado varía en razón directa de la señal moduladora. Para el caso de señales digitales como las que genera un computador, se emplean las técnicas de modulación digital por medio de la cual el mensaje se cambia de un lenguaje simbólico a otro.

En la actualidad el amplio uso de los computadores hace que la mayor fuente de información que se presente este relacionada con el uso de estos dispositivos, por lo cual el sistema debe permitir la comunicación de datos, esto determina el uso de modulación digital; a continuación se hará un análisis de modulaciones digitales para la transmisión por nuestro medio.

## 1. MODULACIÓN DIGITAL

En los sistemas de modulación digital uno de los parámetros que juega un papel importante es la tasa de modulación que representa la cantidad de veces que la línea fue señalizada, es expresada en Baudios.

$$\text{Tasa de Modulación} = 1/d$$

d = duración del elemento básico de la señal

Una tasa de transmisión está dada por el número de bits por segundo que pueden ser transmitidos. Tomándose en cuenta que la línea puede asumir  $\mu$  estados diferentes (Figura 1), se puede transmitir k bits por estado, tal que:

$$2k = \mu$$

$$k = \log_2 \mu$$

$$\text{Tasa de Transmisión} = k * \text{Tasa de modulación}$$

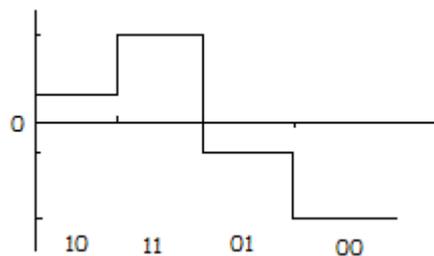


Figura 1: Señal cuaternaria ( $\mu = 4$ )

En consecuencia, se debe seleccionar los valores convenientes de  $\mu$  y tasa de modulación para una tasa de transmisión determinada. Si la potencia se tiene en alta estima y no así el ancho de banda, se debe emplear el valor más pequeño de  $\mu$ , es decir señalización binaria. Por otra parte, el ancho de banda se reduce al mínimo si se toma a  $\mu$  como el valor más grande posible, puesto que:

$$\text{Tasa de modulación} = \text{Tasa de transmisión} / \log_2 \mu$$

De esta manera se debe llegar a un acuerdo entre potencia de señal, ancho de banda y probabilidad de error dependiendo de las características deseadas.

## 2. MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

Dado un mensaje digital, la técnica más sencilla es la manipulación por corrimiento de amplitud, donde la amplitud de la portadora se conmuta entre dos o más valores, por lo general el puesto (**1** u **“on”**) y el fuera (**0** u **“off”**) de las señales binarias. La onda modulada resultante consiste de pulsos de RF o marcas, que representan el 1 binario, y espacios que representan al 0 binario, tal como se muestra en la *Figura 2*.

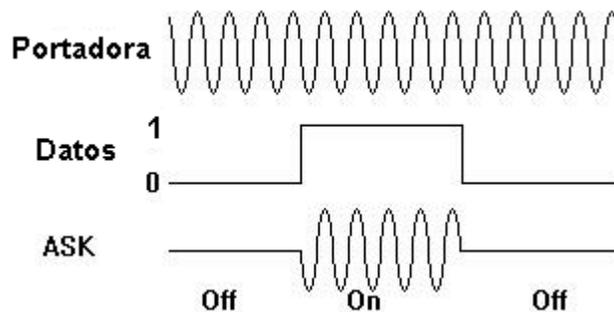


Figura 2: Modulación por Corrimiento de Amplitud (ASK)

Específicamente, la modulación en amplitud de una señal portadora  $\cos w_0 t$  con una señal que lleva información  $f(t)$  está dada por la simple expresión de multiplicación

$$f_c(t) = f(t) \cos w_c t$$

Donde  $f(t)$  es denominada señal de banda base o moduladora y  $f_0 = w_0/2\pi$ , la frecuencia portadora. Tomando la transformada de Fourier de la señal modulada en amplitud  $f_c(t)$ , y usando el teorema de desplazamiento en frecuencia se tiene:

$$F_c(w) = \frac{A}{2} [F(w - w_c) + F(w + w_c)]$$

El efecto de la multiplicación de  $\cos \omega_c t$  es simplemente el corrimiento del espectro original de la señal (la señal de banda base) hasta la frecuencia  $\omega_c$  (Figura 3). Esta es la forma general de una señal de AM; contiene bandas laterales simétricamente distribuidas alrededor de la frecuencia central o de la portadora  $\omega_c$ . Nótese el importante hecho de que con un ancho de banda inicial de la banda base  $2\pi B$  rad/s, el ancho de banda de AM es el doble de aquél; es decir,  $\pm 2\pi B$  rad/s alrededor de la portadora, dando un ancho de banda total de  $2B$  Hertz, donde  $B$  es el ancho de banda en Hertz.

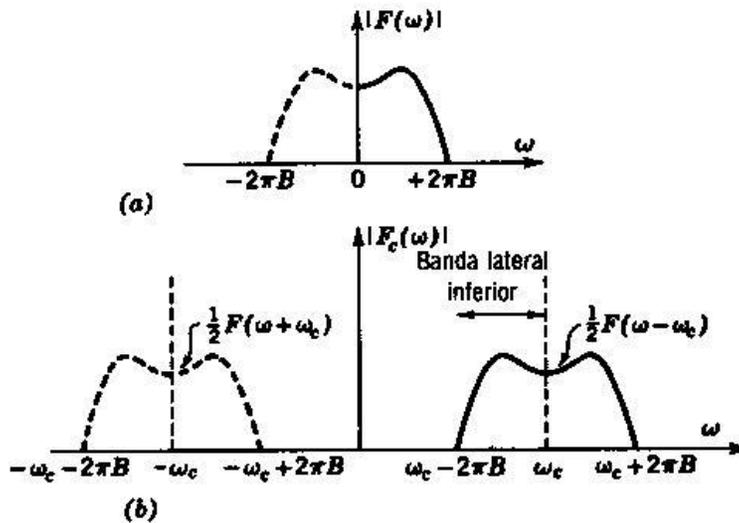


Figura 3: a) Espectro de la señal moduladora. b) Espectro de la onda modulada en amplitud.

### 3. MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

En este tipo de modulación se transmite información utilizando diferentes portadoras a distintas frecuencias. En un sistema FSK binario, los símbolos 0 y 1 se distinguen por la transmisión de dos frecuencias diferentes  $f_1$  y  $f_2$  (Figura 4).

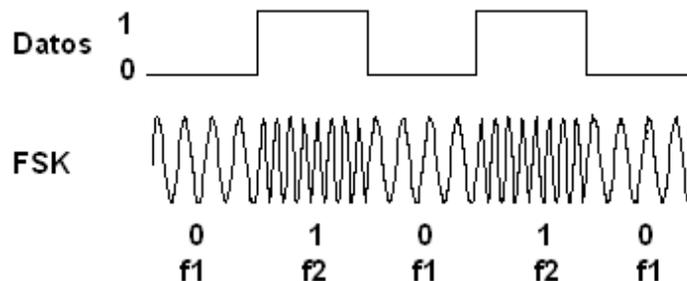


Figura 4: Modulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK).

Generalmente,  $f_1$  y  $f_2 \gg 1/T$ . Una representación alternativa de la onda de FSK consiste en hacer:

$$f_1 = f_c - \Delta f$$

$$f_2 = f_c + \Delta f$$

Las dos frecuencias difieren entonces en  $2\Delta f$  Hertz. De ese modo:

$$f_c(t) = A \cos(\omega_c \pm \Delta \omega)t \quad -T/2 \leq t \leq T/2$$

La frecuencia entonces se desvía  $\pm \Delta f$  alrededor de  $f_c$ .  $\Delta f$  se denomina comúnmente desviación de frecuencia.

El espectro es de la onda FSK  $f_c(t)$  es en general difícil de obtener. Se verá que esto es una característica general de las señales de FM. Sin embargo, un caso especial que proporciona una visión interna de las características espectrales de las señales de FM más complejas, y que lleva a una buena regla de la experiencia respecto de los anchos de banda de FM, puede ser fácilmente evaluado. Supóngase que el mensaje binario consiste en una secuencia alternada de unos y ceros. Si ambas frecuencias son múltiplos del recíproco del periodo binario  $T$  (es decir,  $f_1 = m/T$ ,  $f_2 = n/T$ ,  $m$  y  $n$  son enteros) y están sincronizados en fase, la onda de FSK es la función periódica (*Figura 5*). Nótese que esto puede visualizarse como la superposición lineal de dos señales periódicas de ASK como la de la *Figura 2*, una retrasada  $T$  segundos respecto de la otra. El espectro es entonces una superposición de dos espectros.

En la *Figura 5* se muestra el espectro para el caso especial  $\Delta f \gg 1/T$ . El ancho de banda de esta señal periódica es entonces  $2\Delta f + 2B$ , donde  $B$  es el ancho de banda de la señal de banda base.

Se presentan dos casos interesantes:

- Si  $\Delta f \gg B$ , el ancho de banda tiende a  $2\Delta f$ . Así pues si se usa gran separación entre los tonos en el sistema FSK, el ancho de banda es esencialmente el mismo que esa separación. Es virtualmente independiente del ancho de banda de la señal de banda base binaria. Esto es fundamentalmente distinto del caso de AM.

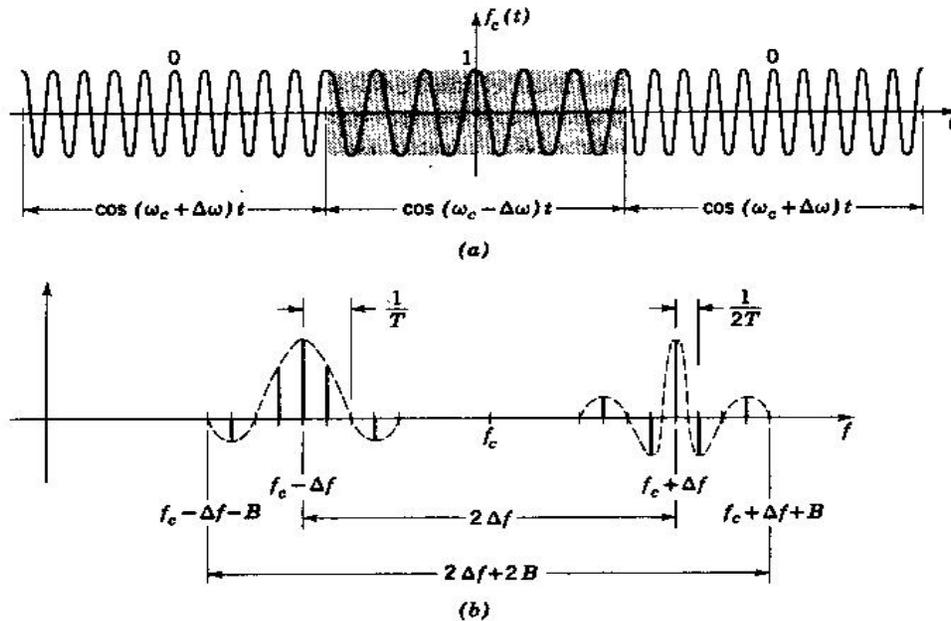


Figura 5: a) Señal periódica de FSK b) Espectro.

- Si  $\Delta f \ll B$ , el ancho de banda tiende a  $2B$ . En este caso, incluso aunque los tonos se elijan muy poco separados, el ancho de banda mínimo es aún el requerido para la transmisión de de ASK; ahora el ancho de banda está determinado por la señal de banda base.

Analicemos ahora la siguiente figura en donde se presenta las probabilidades de error para sistemas binarios de modulación digital. En estas curvas se presentan las probabilidades de error  $P_e$  contra  $\rho$ , este último es una medida de la señal a ruido del sistema. De esto se puede concluir que la manipulación por corrimiento de fase presenta menores probabilidades de error cuando la señal a ruido es pequeña aunque a valores superiores el comportamiento es igual en ambos casos como se puede observar en la *Figura 6*, en donde el valor límite de  $\rho$  es de 15dB.

Pero las ventajas de FSK frente a ASK se fundamentan en otros conceptos que se mencionan a continuación:

- La modulación de frecuencia tiene la propiedad de amplitud constante.
- Las probabilidades de error por dígito  $P_{e1}$  y  $P_{e0}$  son iguales.
- El nivel umbral óptimo es independiente de valor pico y de  $\rho$ , y no se necesitan reajustar si la intensidad de la señal varía con el tiempo.

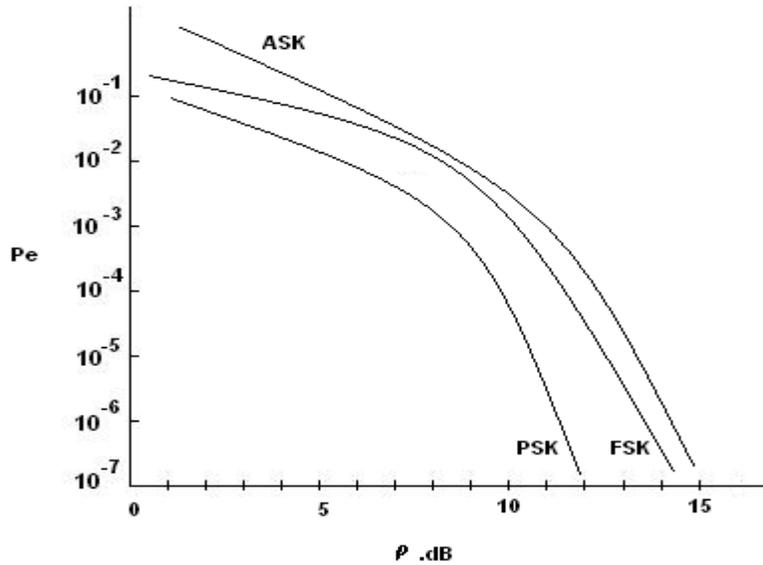


Figura 6: Probabilidades de error para sistemas de modulación digital.

Es precisamente por esta última razón que la manipulación por corrimiento de frecuencia se prefiere a la manipulación por corrimiento de amplitud en aplicaciones donde se espera que haya desvanecimiento.

#### 4. MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE FASE (PSK)

En este caso, se tiene que la señal manipulada por corrimiento de fase está dada por:

$$f_c(t) = \pm \cos w_c t \quad -T/2 \leq t \leq T/2$$

Si se ha supuesto una forma rectangular para los pulsos. Aquí, un 1 en la hilera binaria de la banda base corresponde a la polaridad positiva, y el 0 corresponde a la negativa. La señal de PSK corresponde entonces esencialmente a una hilera binaria polar NRZ, trasladada hacia arriba en frecuencia (*Figura 7*).

Las transiciones discontinuas de fase que se producen al comienzo y al final de cada intervalo de bit, cada vez que tiene lugar una transición entre 1 y 0 o entre 0 y 1, se suavizan realmente durante la transmisión gracias a la forma que se ha usado. La

información, independientemente de la polaridad, es sin embargo retenida en el centro de cada intervalo, de manera que la decodificación en el receptor se lleva a cabo en las proximidades del centro de los pulsos. Esto también es cierto para las señales de ASK y FSK. Las señales PSK tienen la misma característica de doble banda lateral que la transmisión ASK. Introduciendo la conformación de caída del espectro en los pulsos de alta frecuencia, resulta un espectro centrado en las frecuencias de la portadora  $f_c$ , con un ancho de banda igual al doble del espectro de la banda base que ha sido conformada.

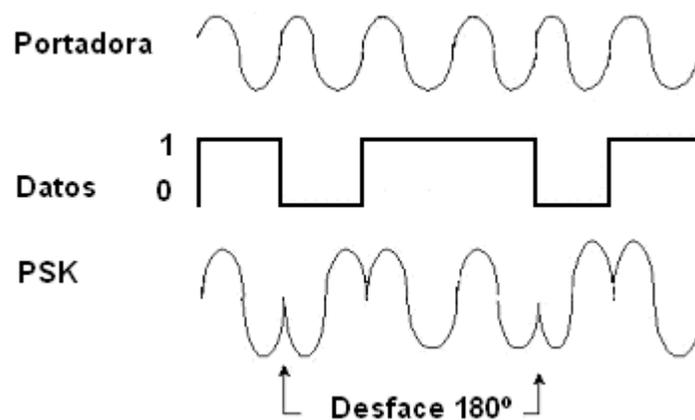


Figura 7: Modulación por Corrimiento de Fase.

## 5. PROPIEDADES DE SEÑAL A RUIDO

Utilizando la representación de ruido de banda angosta, se pueden ahora estudiar las propiedades comparativas de la SNR de las técnicas PSK, ASK y FSK utilizando la detección sincrónica (*Figura 8*). Para hacer esto se supondrá que durante la transmisión se agrega ruido gaussiano y se supondrá también que las decisiones se toman después de la detección sincrónica en el receptor.

Se sabe que el proceso de detección sincrónica requiere que la coherencia en fase se mantenga; este consiste en la multiplicación de la señal portadora recibida por una señal senoidal generada localmente, a la misma frecuencia y fase. El producto resultante se pasa en seguida por un filtro pasabajos para eliminar los términos de la segunda armónica.

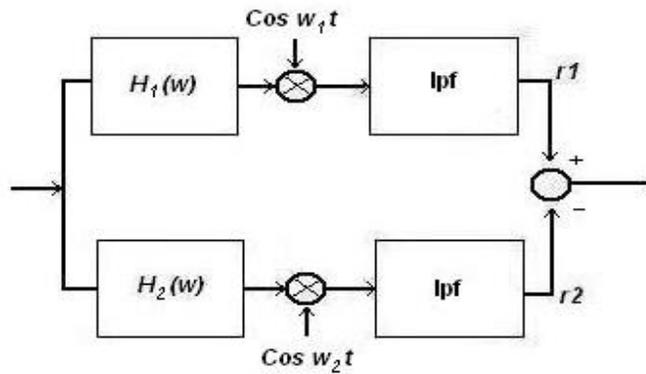


Figura 8: Detección sincrónica.

Para una secuencia binaria de PSK de la forma  $\pm A \cos w_0 t$ , o para una secuencia de ASK que consiste de  $0$  y de  $A \cos w_0 t$ , simplemente se multiplica por  $\cos w_0 t$  y se filtra. Para la secuencia de FSK que consiste en  $A \cos w_1 t$  y  $A \cos w_2 t$ , se necesitan dos conjuntos de detectores sincrónicos, uno que opere a la frecuencia  $f_1$  y el otro a la frecuencia  $f_2$ .

De esta forma, a través de un análisis matemático más profundo, se llega a las siguientes probabilidades de error para cada tipo de modulación:

$$P_{e,ASK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{A}{2\sqrt{2N}}; \quad P_{e,PSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{A}{\sqrt{2N}}; \quad P_{e,FSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{A}{2\sqrt{N}}$$

Donde **erf** es la función de error, y **erfc** es la función de error complementaria, dadas por:

$$\operatorname{erfc} = 1 - \operatorname{erf} \quad \operatorname{erf} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

Aquí se supone que los unos y ceros de la secuencia binaria son igualmente probables y que el nivel de decisión se ha fijado en  $A/2$ .

Se puede concluir que el sistema PSK requiere solamente de la mitad de la amplitud de la señal que necesita el sistema ASK para la misma probabilidad de error. El sistema FSK proporciona resultados intermedios entre los casos ASK y PSK, para una probabilidad

específica de error el sistema FSK requiere 3 dB más de potencia de la señal que el sistema equivalente PSK, para la misma potencia de ruido, pero es 3 dB mejor que el sistema ASK si se basa en la comparación de potencia máxima.

De este análisis se deduce que PSK es el sistema preferido de transmisión si se dispone de coherencia de fase, pero por supuesto se necesitan técnicas más complejas para establecer y mantener la sincronía de fase, pero, la transmisión de FSK con detección de envolvente en el receptor se ha usado para la transmisión comercial de datos.

Si la coherencia de fase no puede mantenerse, o si es antieconómico agregar los circuitos de control de fase en el receptor, por lo general se recurre a la detección de envolvente de las portadoras de alta frecuencia. El sistema por lo general se conoce como no coherente.

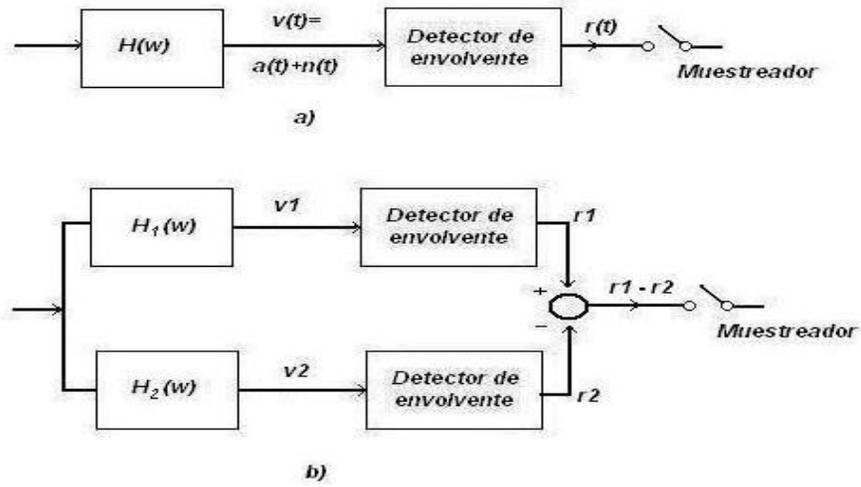
De manera breve en el proceso de detección si se tiene una onda senoidal de alta frecuencia de la forma  $r(t) (\cos w_0 t + \Theta)$ , donde  $r(t)$  es una variable positiva, el detector de envolvente proporciona a la salida la variable  $r(t)$ . En la práctica, se necesita un dispositivo no lineal más un filtro pasabajas para recuperar  $r(t)$ .

Es evidente que las señales de PSK necesitan la coherencia de fase para ser demoduladas. Por lo tanto se consideran aquí únicamente las señales de ASK y FSK, las que se detectarán mediante detectores de envolvente.

En la *Figura 8* se muestra que el receptor de FSK consta de dos canales, uno sintonizado a la frecuencia  $f_1$  y el otro a la frecuencia  $f_2$ . Cada detector sincrónico de la *Figura 8* se reemplaza por un detector de envolvente. Las salidas de los dos detectores se comparan entonces para determinar si se ha transmitido un símbolo o el otro.

El esquema de detección de envolvente se muestra en la *Figura 9b*. El receptor de ASK consta de un canal, sintonizado a la frecuencia de la portadora  $f_0$ , donde un detector de envolvente proporciona la salida deseada.

El detector de ASK se muestra en la *Figura 9a*. A la salida de este detector un nivel de decisión decide entonces si se ha transmitido un 1 o un 0.



## **ANEXO C**

# **CÓDIGOS FUENTE DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE DESARROLLADAS**

## CODIGOS FUENTE DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE DESARROLLADAS.

### 1. CALCULADOR DE TASA DE ERROR DE BIT

Código fuente de la aplicación BER.exe realizada en C++

```
/* C Standard */

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
#include <dos.h>
#define ESC 0x1B

/* ESTA FUNCION REALIZA LA COMPARACION BIT A BIT, DEL ARCHIVO
   RECIBIDO CON LA INFORMACION QUE SE SABE, FUE TRANSMITIDA */

int comparar ( char cadena[5] )
{
    char b;
    int error=0, bit0, bit1, bit2, bit3, bit4, bit5, bit6, bit7;

    for(int i=0;i<sizeof cadena; i++){
        b=cadena[i];

        if (i==0){
            /* Comparación del carácter 'e', representado por 01100101 */

            bit7=(b & 128);
            if (bit7!=0) error=error+1; //0
            bit6=(b & 64);
            if (bit6!=64) error=error+1; //1
            bit5=(b & 32);
            if (bit5!=32) error=error+1; //1
            bit4=(b & 16);
            if (bit4!=0) error=error+1; //0
            bit3=(b & 8);
            if (bit3!=0) error=error+1; //0
            bit2=(b & 4);
            if (bit2!=4) error=error+1; //1
            bit1=(b & 2);
            if (bit1!=0) error=error+1; //0
            bit0=(b & 1);
            if (bit0!=1) error=error+1; //1
        }
    }
}
```

```

if (i==1){
/* Comparación del carácter '}', representado por 01111101 */

    bit7=(b & 128);
    if (bit7!=0) error=error+1;    //0
    bit6=(b & 64);
    if (bit6!=64) error=error+1;  //1
    bit5=(b & 32);
    if (bit5!=32) error=error+1;  //1
    bit4=(b & 16);
    if (bit4!=16) error=error+1;  //1
    bit3=(b & 8);
    if (bit3!=8) error=error+1;   //1
    bit2=(b & 4);
    if (bit2!=4) error=error+1;   //1
    bit1=(b & 2);
    if (bit1!=0) error=error+1;   //0
    bit0=(b & 1);
    if (bit0!=1) error=error+1;   //1
}

if (i==2){
/* Comparación del carácter '#', representado por 00100011 */

    bit7=(b & 128);
    if (bit7!=0) error=error+1;    //0
    bit6=(b & 64);
    if (bit6!=0) error=error+1;    //0
    bit5=(b & 32);
    if (bit5!=32) error=error+1;   //1
    bit4=(b & 16);
    if (bit4!=0) error=error+1;    //0
    bit3=(b & 8);
    if (bit3!=0) error=error+1;    //0
    bit2=(b & 4);
    if (bit2!=0) error=error+1;    //0
    bit1=(b & 2);
    if (bit1!=2) error=error+1;    //1
    bit0=(b & 1);
    if (bit0!=1) error=error+1;    //1
}

if (i==3){
/* Comparación del carácter 'Y', representado por 01011001 */

    bit7=(b & 128);
    if (bit7!=0) error=error+1;    //0
    bit6=(b & 64);
    if (bit6!=64) error=error+1;   //1
    bit5=(b & 32);
    if (bit5!=0) error=error+1;    //0
    bit4=(b & 16);
    if (bit4!=16) error=error+1;   //1
    bit3=(b & 8);
    if (bit3!=8) error=error+1;    //1
    bit2=(b & 4);

```

```

        if (bit2!=0) error=error+1;    //0
        bit1=(b & 2);
        if (bit1!=0) error=error+1;    //0
        bit0=(b & 1);
        if (bit0!=1) error=error+1;    //1
    }

    if (i==4){
        /* Comparación del carácter 'v', representado por 01110110 */

        bit7=(b & 128);
        if (bit7!=0) error=error+1;    //0
        bit6=(b & 64);
        if (bit6!=64) error=error+1;    //1
        bit5=(b & 32);
        if (bit5!=32) error=error+1;    //1
        bit4=(b & 16);
        if (bit4!=16) error=error+1;    //1
        bit3=(b & 8);
        if (bit3!=0) error=error+1;    //0
        bit2=(b & 4);
        if (bit2!=4) error=error+1;    //1
        bit1=(b & 2);
        if (bit1!=2) error=error+1;    //1
        bit0=(b & 1);
        if (bit0!=0) error=error+1;    //0
    }
}

/* error contiene el número de bits erróneos presentes en esta
   sección del archivo */

return error;
}

/* ES LA RUTINA PRINCIPAL QUE LEE EL ARCHIVO ALMACENADO EN EL DISCO
   Y MEDIANTE LLAMADOS SUCESIVOS DE LA FUNCION COMPARAR, CALCULA EL
   NUMERO DE ERRORES QUE SE PRESENTAN EN TODO EL ARCHIVO RECIBIDO */

```

```

int main ( void )
{

    int err, ber=0;
    float byte=8;
    char rx[12500];
    char muestra[5];
    char tecla;
    FILE *fin;

    clrscr();

    if((fin=fopen("C:/p1.txt","rb"))==NULL){        //Abre el archivo p1

        printf("                CALCULADOR DE TASA DE ERROR DE BIT\n");
    }
}

```

```

printf("                                BIT ERROR RATE CALCULATOR\n");
printf("                                2002\n\n\n\n");
printf("Error en tiempo de ejecución:  ");
printf("No se encuentra el archivo especificado.\n\n");
printf("Por favor verifique que se haya realizado ");
printf("la transmisión de la información\n\n\n");
printf("Presione ESC para retornar\n");

do{
    tecla=getch();
}

while (tecla!=ESC);

return 32767;

}

fread(rx,sizeof rx,1,fin);    //lee el archivo p1 en la cadena rx
fclose (fin);                //cierra el archivo p1

/* divide la cadena de entrada rx en secciones de 5 caracteres
para pasarla como argumento a la función comparar, que es la
encargada de verificar los errores en los bits recibidos      */

for(int i=0;i<(sizeof rx/5);++i){

    muestra[0]=rx[i*5];
    muestra[1]=rx[i*5+1];
    muestra[2]=rx[i*5+2];
    muestra[3]=rx[i*5+3];
    muestra[4]=rx[i*5+4];
    err = comparar(muestra);
    ber = ber+err;          //actualiza el número de errores ocurridos
}

printf("                                CALCULADOR DE TASA DE ERROR DE BIT\n");
printf("                                BIT ERROR RATE CALCULATOR\n");
printf("                                2002\n\n\n\n");
printf("NUMERO DE BITS RECIBIDOS CON ERROR:      %d\n", ber );
printf("NUMERO TOTAL DE BITS TRANSMITIDOS:      100.000\n\n\n\n");
printf("Para Salir de este proceso presione la tecla ESC\n" );

do{
    tecla=getch();
}

while (tecla!=ESC);

return ber;

}

```

## 2. CODIGOS DE LOS PROGRAMAS DE INTERFAZ DE USUARIO

Para la interfaz de usuario se desarrollaron principalmente dos programas, el transmisor y el receptor, cuyos códigos fuente se presentan a continuación. Posteriormente se realizaron algunas pequeñas modificaciones sobre estos códigos fuente, para adaptar los programas a diferentes condiciones de uso; estas se aclararán en el momento adecuado en cada código fuente.

### 2.1. CÓDIGO DEL PROGRAMA TRANSMISOR

Código en Visual Basic. La *Figura 1* muestra el diseño de la interfaz de usuario.

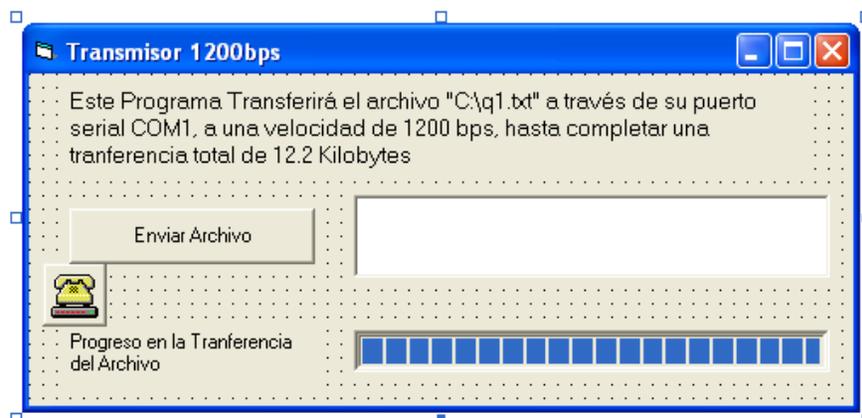


Figura 1: Diseño de la Interfaz de Usuario del Transmisor.

Como se muestra en la ilustración, los elementos con que cuenta el diseño son los siguientes:

- Un Form que es la ventana principal del programa, donde se insertan los demás elementos de la interfaz.
- Dos Label para colocar información acerca del programa.
- Un CommandButton que permite ejecutar la transferencia.
- Un TextBox para dar información acerca de la ejecución del programa.
- Una ProgressBar para visualizar la transferencia del archivo
- Un MSComm indispensable para hacer uso de los puertos seriales del computador desde Visual Basic. Este elemento no es visible por el usuario en tiempo de ejecución.

A continuación se muestra el código de la Aplicación.

**Private Sub Form\_Load()**

```
Text1.Text = "Presione ""Enviar Archivo"" para iniciar la " +
    "transferencia del archivo. Compruebe si el Receptor esta" +
    " listo para iniciar la comunicación"
```

**End Sub**

**Private Sub Tx\_Click()**

```
Dim Archivo As String, Largo As Integer

' El archivo de entrada "C:\q1.txt" contiene 50 bytes (400 bits)
de información, por lo cual debe ser transmitido 250 veces
para completar los 100.000 bits requeridos

Largo = 250

Open "C:\q1.txt" For Input As #1      ' Abre el archivo
Line Input #1, Archivo                ' Lee el archivo
Close #1                              ' Cierra el archivo

ProgressBar1.Min = 0
ProgressBar1.Max = Largo

' Las siguientes líneas configuran el puerto con las siguientes
características: Puerto de salida COM1, velocidad de tx 1200 bps,
sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada y habilita la
interrupción de Fin de Archivo (End Of File)

MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "1200,N,8,1"
MSComm1.EOFEnable = True
MSComm1.PortOpen = True              ' Abre el Puerto

' El siguiente bloque efectúa la transmisión del archivo
repetidamente hasta alcanzar los 100.000 bits

For i = 1 To Largo Step 1
    ProgressBar1.Value = i
    MSComm1.Output = Archivo
Next i

' La siguiente línea transmite el archivo por última vez le agrega
4 Caracteres "End Of File" para indicar el fin de la transmisión.
Usamos 4 para garantizar aún cuando alguno de los caracteres se
altere en el trayecto, se reciba esta bandera en recepción.

MSComm1.Output = Archivo + Chr(26) + Chr(26) + Chr(26) + Chr(26)

MSComm1.PortOpen = False              'Cierra el Puerto
Text1.Text = "La transferencia del archivo se ha realizado de " +
    "manera exitosa"
```

**End Sub**

Del programa Transmisor se realizaron dos versiones, una para transmitir a 1200 bps y la segunda para transmitir a 2400 bps. El programa solo cambia en la línea que establece los parámetros del puerto; la línea:

```
MSComm1.Settings = "1200,N,8,1"
```

Se modifica por la siguiente:

```
MSComm1.Settings = "2400,N,8,1"
```

Los demás parámetros se dejan iguales.

## 2.2. CÓDIGO DEL PROGRAMA RECEPTOR

Realizado en Visual Basic. La *Figura 2* muestra el diseño de la interfaz de usuario.

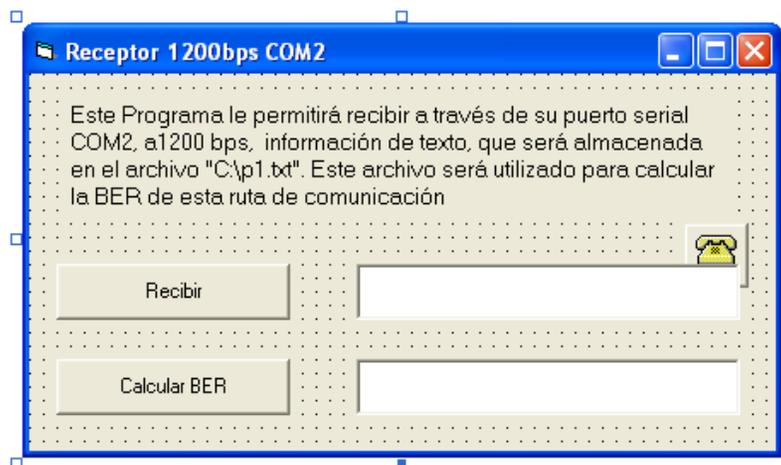


Figura 2: Diseño de la Interfaz de Usuario del Receptor.

Los elementos de la interfaz de usuario son los siguientes:

- Un Form que es la ventana principal del programa, donde se insertan los demás elementos de la interfaz.
- Un Label para colocar información acerca del programa.
- Dos CommandButton, uno que permite efectuar la recepción de la información y otro que hace que se ejecute el Calculador de BER.
- Dos TextBox para dar información acerca de la ejecución del programa.
- Un MSComm indispensable para hacer uso de los puertos seriales del computador desde Visual Basic. Este elemento no es visible por el usuario en tiempo de ejecución.

El código del programa se muestra a continuación.

```
Private Sub Ber_Click()
```

```
    ' Ejecuta el programa BER.exe que es el calculador de BER hecho en C++  
    BitErrorRate = Shell("C:\ber.exe", vbNormalFocus)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Text1.Text = "Presione el botón ""Recibir"" para habilitar " + _  
                "la recepción de información por el puerto serial"  
    Text2.Enabled = False  
    Text2.Text = "El botón ""Calcular BER"" se habilitará una " + _  
                "vez se haya recibido el archivo"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Rx_Click()
```

```
Dim LosDatos As String
```

```
Rx.Enabled = False
```

```
    ' Las siguientes líneas configuran el puerto con las siguientes _  
    características: Puerto de entrada COM1, velocidad de tx 1200 bps _  
    sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada, habilita la _  
    interrupción de Fin de Archivo (End Of File) y especifica que se _  
    lea la totalidad del buffer.
```

```
MSComm2.CommPort = 1  
MSComm2.Settings = "1200,N,8,1"  
MSComm2.EOFEnable = True  
MSComm2.InBufferSize = 17000  
MSComm2.RThreshold = 0  
MSComm2.InputLen = 0  
MSComm2.PortOpen = True           ' Abre el Puerto  
Text1.Text = "Puerto Listo para Recibir"  
Text2.Enabled = True
```

```
    ' Este bucle esta leyendo la información que llega al puerto, _  
    si no hay información MSComm2.Input devolvera un valor nulo. _  
    Cuando llega información, el bucle la lee y termina cuando _  
    se encuentra el caracter de fin de archivo.
```

```
Do
```

```
    DoEvents  
    LosDatos = LosDatos + MSComm2.Input  
Loop Until MSComm2.CommEvent = comEvEOF
```

```
MSComm2.PortOpen = False           ' Cierra el Puerto
```

```
Open "C:\p1.txt" For Output As #2 ' Crea archivo p1.txt para escribir  
Print #2, LosDatos                ' Almacena la información  
Close #2                          ' Cierra el archivo
```

```
Text1.Text = "El Archivo se ha recibido de manera exitosa"  
Text2.Text = "Presione ""Calcular BER"" para hacer el cálculo " + _  
            " de BER en esta ruta de comunicación"  
Ber.Enabled = True
```

**End Sub**

Del programa receptor se crearon cuatro versiones:

- Puerto COM 1, con velocidad de 1200 bps
- Puerto COM 2, con velocidad de 1200 bps
- Puerto COM 1, con velocidad de 2400 bps
- Puerto COM 2, con velocidad de 2400 bps

Esto se realizó debido a la posibilidad de contar un solo computador para la realización de las pruebas de BER.

Para la selección del puerto a utilizar se usan las siguientes líneas:

Para el Puerto 1: `MSComm2.CommPort = 1`

Para el Puerto 2: `MSComm2.CommPort = 2`

La selección de velocidad es igual que en el programa transmisor.