



**Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional**

Proyecto de Investigación UTN 1319

Comportamiento de las Comunicaciones digitales en medios de enlace con elevado nivel de ruido

“ Sistema de Medición Automática sobre Power Line Carrier ”

**Juan Carlos Colombo¹, Susana Herrera², Fabio Poli¹, Osvaldo Soria¹, Emilio
Concha¹, Rubén Egea¹, Martín Leal¹, Rubén Navarro¹, Darío Juárez Porcel¹**

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Tucumán

Carrera: Ingeniería Electrónica

**Cátedras Ingeniería Electrónica¹: Medidas Electrónicas II, Física electrónica, Señales y
Sistemas, Teoría de los Circuitos I, Informática I.**

Cátedra Ingeniería Eléctrica²: Máquinas Eléctricas II.

Versión 01- 18/11/2011

edUTecNe

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. – Argentina

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son *de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios*, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Resumen

Las comunicaciones por power line carrier, emplean la línea de energía eléctrica de baja tensión como medio de enlace y es la base de la mayoría de las aplicaciones en el mundo, respecto a medidores inteligentes de energía, actuaciones sobre dispositivos de control y domótica que utilizan la red pública con esa finalidad.

Como es necesario garantizar seguridad y confiabilidad en la transmisión de información a una velocidad adecuada en la banda angosta de 3KHZ a 148,5KHZ, reservada para medición y control, es conveniente indagar respecto a la influencia del medio de enlace en la calidad de las comunicaciones digitales.

Para dicho propósito se implementó un sistema de medición automática y se construyeron transceptores modulados en BFSK para realizar las experiencias. Se analiza el BER, la relación S/N, la eficiencia espectral, la influencia de la temperatura y humedad relativa ambiente, la presencia de ruido permanente y variable, la distancia entre transmisor y receptor así como la influencia de las divisiones propias de la red pública de energía eléctrica y la impedancia variable que tiene.

Se realizan las experiencias de campo contemplando la fecha, hora, estacionalidad y condiciones ambientales al momento de los ensayos, almacenando las mediciones y resultados en base de datos en SQL para su posterior procesamiento a los fines de determinar un modelo de comportamiento de la comunicaciones digitales.

Palabra Clave: BFSK, BER, S/N, eficiencia espectral, ambiente.

1.- Transmisión y Recepción de señales moduladas en BFSK

Para indagar acerca del real comportamiento de las señales digitales cuando se desplazan por un medio como la línea de energía eléctrica de baja tensión, con elevado contenido de ruido, que producen perturbaciones e interferencias durante la transmisión-recepción de dichas señales en aplicaciones con fines de medición y control remoto sobre elementos y dispositivos colocados en la misma red de energía, se construyeron dos transceptores que pueden funcionar indistintamente como transmisores y receptores.

Estos transceptores modulan en BFSK, modulación por desplazamiento de frecuencia binaria BFSK o 2FSK, a una frecuencia central de 72KHZ, la cual se varía según el estado de una señal de datos binarios, permitiendo recorrer una distancia lineal sin divisiones de hasta 300 m.

Las frecuencias utilizadas por los dispositivos de comunicación a través de la línea de energía eléctrica, Power Line Carrier (PLC), utilizada como medio de enlace, y la potencia de las mismas están restringidas por las limitaciones impuestas por las agencias reguladoras según normas que se han desarrollado para asegurar la coexistencia sin interferencias electromagnéticas ni perturbaciones de diferentes dispositivos instalados en este medio de enlace.

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), son los organismos de aplicación de normas reguladoras en USA y Europa, respectivamente.

En USA se puede utilizar para las comunicaciones por la línea de energía eléctrica ,110V~/60HZ, la banda de frecuencia de 0 a 500 KHZ. Sin embargo, la normativa reguladora en Europa es más estricta en cuanto al ancho de banda para aplicaciones en líneas eléctricas de baja tensión, 220V~/ 50HZ, la norma CENELEC sólo permite utilizar frecuencias entre 3 KHZ y 148,5 KHZ para la red pública de energía eléctrica y para fines de domótica en hogares y en edificios públicos.

Los diferentes rangos de frecuencia con las restricciones de uso impuestas por las normas de CENELEC se muestran en el Cuadro 1 siguiente. Se puede observar que el espectro está dividido en cinco tramos o bandas de frecuencias.

Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC)

Rango de frecuencia en PLC	Bandas	Alcance de las aplicaciones
3 – 9 KHZ		Uso limitada a los proveedores de energía eléctrica.
9 – 95 KHZ	A	El uso de esta banda de frecuencias es limitado a los proveedores de energía y sus concesionarios. Está banda de frecuencias es conocida como la banda A, y es utilizada con fines de telemedición y telecontrol.
95 – 125 KHZ	B	El uso de esta banda de frecuencia se asigna a clientes del proveedor de energía, no hay un protocolo de acceso definido y es la llamada banda B.
125 – 140 KHZ	C	El uso de esta banda de frecuencia está limitada a los clientes de los proveedores de energía, con el fin de hacer la operación simultánea de varios sistemas. Dentro de esta banda de frecuencia es posible, una detección de portadora con un protocolo de acceso múltiple con frecuencia central de 132.5 KHZ. Esta banda de frecuencias se conoce como la banda C.
140 – 148.5 KHZ	D	Está limitada a los clientes del proveedor de energía, no existe un protocolo de acceso definido para esta banda de frecuencia conocida como banda D.

Cuadro 1.- Bandas de frecuencia utilizadas en power line carrier

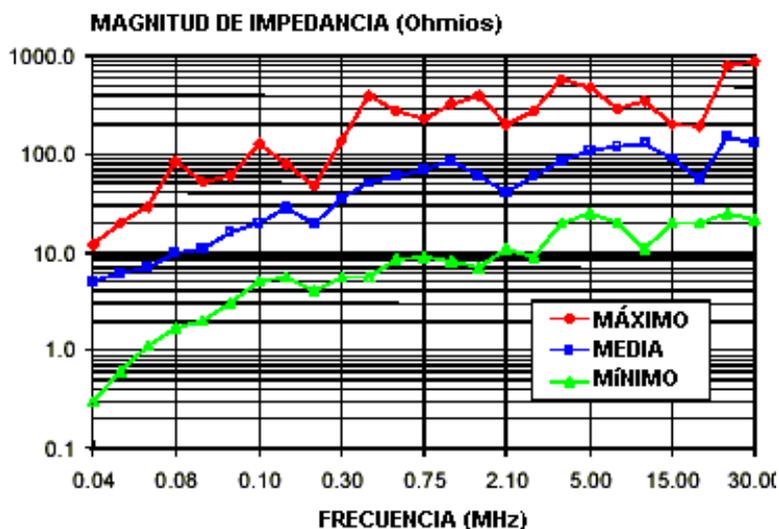
Algunas de las especificaciones de importancia definidas en el estándar EN50065 en relación con la Banda A de CENELEC, son los niveles de tensión máximos de la señal, de 134 dB μ V (equivalente a 5 V- 0dB) especificado en 9 KHZ, y de 120 dB μ V (equivalente al 1V) especificado en 95 KHZ. Otro parámetro importante que fija la norma, es el nivel de potencia máxima de transmisión, el cual no debe exceder de 500 mW.

2.- La impedancia de entrada a la red eléctrica de baja tensión

La impedancia de la línea de energía eléctrica de baja tensión es variable de 1.5 a 80 Ω a 100 KHZ, según investigaciones de Malack y Engstrom de IBM realizadas en 1976.

Esta impedancia aumenta con la frecuencia lo cual se observa en la Figura 1 siguiente, y está determinada principalmente por dos parámetros, las cargas conectadas a la red y la impedancia del transformador de distribución, a lo que se agrega un tercer elemento que influye en la impedancia de la línea eléctrica, en especial en red eléctrica de baja tensión,

que es el filtrado EMI, colocado en la última generación de electrodomésticos, refrigeradores, lavadoras máquinas, aparatos de televisión, equipos de música, etc). El cableado tiene un efecto relativamente pequeño y la impedancia es generalmente inductiva.



Fuentes de Ruido

- Armónicos de 50HZ (electrónica de potencia, reguladores de tensión, etc)
- Ruido térmico, es función de la temperatura.
- Ruido atmosférico, producido por perturbaciones eléctricas en la atmosfera.
- Ruido de fondo o artificial, es todo lo producido por el hombre, vehículos terrestre, aéreos, motores, etc.
- Generado por las industrias, talleres, etc.

Figura 1. - Impedancia variable con la frecuencia (Malack y Engstrom de IBM – Año 1976)

La red eléctrica de Baja tensión presenta una estructura tipo árbol, con numerosas ramas y subramas, o divisiones que actúan como impedancias en paralelo. Además, diversos dispositivos electrónicos conectados a la red de baja tensión tienen una muy baja impedancia, sobre todo debido a los filtros de entrada EMI instalado en su conexión a la red. El tipo y número de cargas electrónicas conectadas a la red eléctrica varía a lo largo del tiempo dependiendo de la modalidad de utilización de los dispositivos por las personas en hogares y edificios.

Debido a los motivos indicados, durante el modo de espera o de recepción, la impedancia de acoplamiento debe ser lo suficientemente alta como para hacer que la impedancia de la línea de la red de energía eléctrica sea prácticamente insignificante y para minimizar la interferencia mutua entre los diferentes nodos de la red.

Por el contrario durante el modo transmisión, la impedancia de acoplamiento con la red debe ser muy baja dentro del ancho de banda de la señal, y al mismo tiempo lo suficientemente elevada para las frecuencias fuera de banda.

De manera que, la impedancia de entrada de un nodo de la red eléctrica de comunicación es un punto crítico. El valor de esta impedancia varía de la forma siguiente:

- En Modo Transmisión (Tx): el valor es libre en el rango de 3 a 95 KHZ; 3 Ω desde 95 a 148,5 KHZ
- En Modo Recepción (Rx): es de 10 Ω desde 3 a 9 KHZ; 50 Ω entre 9 y 95 KHZ solo en el ancho de banda de la señal, libre para las frecuencias fuera del ancho de banda; 5 Ω de 95 a 148,5 KHZ

La impedancia de entrada a la red eléctrica de baja tensión según modos TX y RX se observa en las Figuras 2a y 2b siguientes:

La medición de la magnitud de impedancia de entrada de la interfaz de acoplamiento en el modo TX para el canal de 72 KHZ se indica en la Figura 2a.

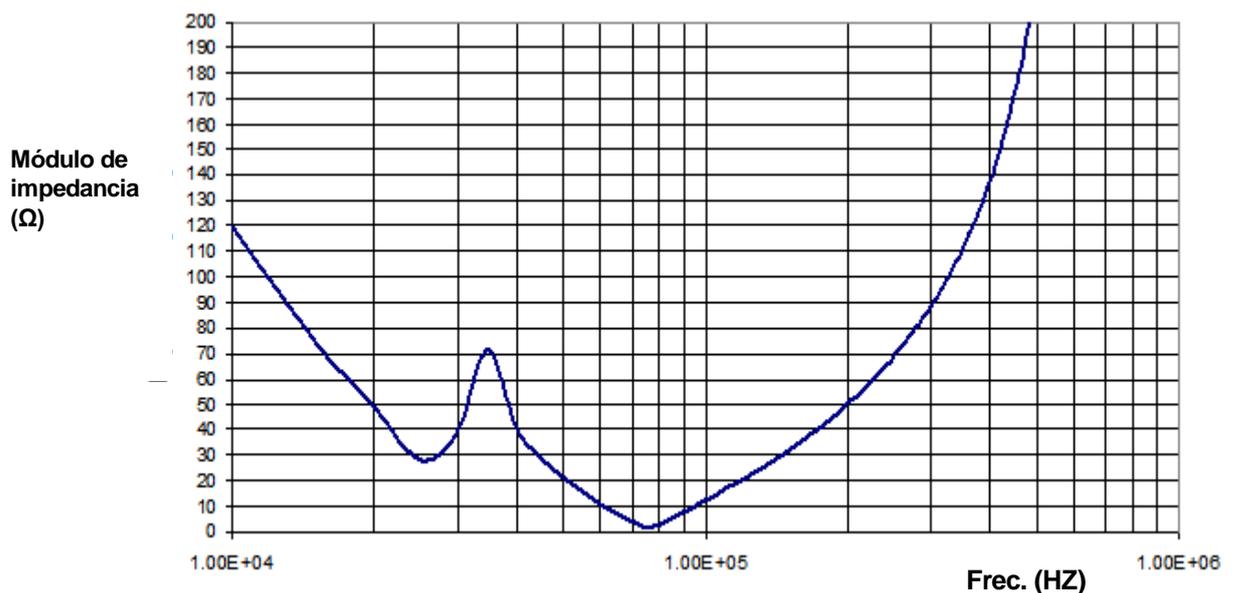


Figura 2a.- Impedancia de entrada Modo Tx

La medición de la magnitud de impedancia de entrada de la interfaz de acoplamiento en el modo RX para el canal de 72 KHZ se indica en la Figura 2b.

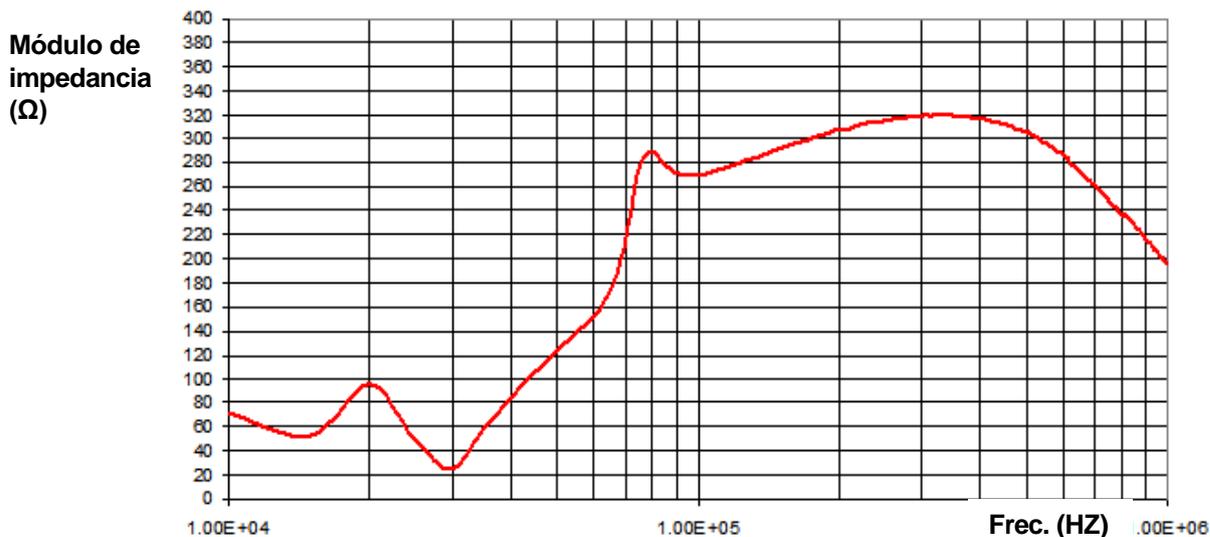


Figura 2b.- Impedancia de entrada Modo Rx

A la impedancia variable que influye en la comunicación por power line carrier, según se observa en las Figuras 2a y 2b) anteriores, se agregan los puntos de división que tiene una red eléctrica de baja tensión, producto de que la energía eléctrica va desde una Subestación Transformadora hacia cada domicilio o dispositivo eléctrico siguiendo caminos diferentes. En relación con esto, la información que viaja por la línea de energía utilizada como medio de enlace hacia cada punto remoto existente en la red sobre una determinada frecuencia central es sometida a las mismas divisiones que la energía transportada y debe tenerse en cuenta el efecto de la distancia en la atenuación de la señal. Ambos elementos pueden salvarse si se aumenta la potencia de la señal siempre que no afecte los límites máximos permitidos por la normativa vigente. Una alternativa importante para evitar el aumento de potencia es la comunicación entre puntos remotos utilizando cada uno de ellos como repetidora.

3.- Modulación Digital BFSK

Los transceptores contruidos en BFSK, donde la modulación es por desplazamiento de frecuencia binaria, tienen una frecuencia central de 72 KHZ, modulada en frecuencia con una frecuencia moduladora de 71.777 KHZ para el "1" lógico y frecuencia moduladora de

72.266 KHZ para el "0" lógico, para una desviación de $\Delta f=0,5$ y velocidad de transmisión de 1200 bits/seg en uno de los modos de trabajo seleccionado para hacer nuestra investigación. Esto se ilustra en la Figura 3a) y Figura 3b) siguientes.

Las marcas y las frecuencias del espacio de comunicación se definen por la siguiente fórmula: $f("0") = f_{\text{Carrier}} + [\Delta f]/2$ y $f("1") = f_{\text{Carrier}} - [\Delta f]/2$.

Donde Δf es la desviación de frecuencia. La desviación 0.5 es la diferencia en términos de frecuencia entre la marca y el espacio de tonos dada por la mitad del valor de la velocidad de transmisión $\Delta f = 0.5 \times \text{Velocidad de transmisión}$.

Cuando la desviación es 1, la diferencia es la misma velocidad en baudios ($\Delta f = 1 \times \text{Velocidad de transmisión}$). La desviación de frecuencia mínima es de 600Hz.

Si bien el nivel de tensión de la señal de salida es $2V_{\text{RMS}}$ y puede llegar a proporcionar una corriente de salida de hasta $500\text{mA}_{\text{RMS}}$, con una potencia de hasta $1W_{\text{RMS}}$, **la salida se ajusta a $500\text{mW}_{\text{RMS}}$** , según EN50065.

De idéntica manera, la distancia que recorre la energía desde la Subestación Transformadora hacia cada domicilio o artefacto, condiciona el nivel con que llega la misma al punto más extremo también conocido como cola de línea. Como se ha mencionado, un elemento importante es que las normas de CENELEC, sobre la comunicación por power line carrier, exigen no pasar determinados niveles de la señal portadora, 500mW , sin afectar a otros dispositivos eléctricos y electrónicos conectados a la red pública de energía eléctrica.

En la modulación BFSK, también conocida como Modulación Binaria de Frecuencia como se indica en las Figuras 3a) y 3b), la señal moduladora es un flujo de pulsos binarios que varía, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua. De acuerdo al cambio de la señal binaria de 0 lógico a 1 lógico, y viceversa, la salida BFSK se desplaza entre dos frecuencias, una frecuencia asignada al nivel 1 lógico y una frecuencia correspondiente al espacio 0 lógico como se menciono anteriormente. Con el BFSK binario, hay un cambio en la frecuencia moduladora de salida, cada vez que la condición lógica de la señal binaria cambia.

Respecto a la nueva generación de modem de línea destinados a mediciones inteligentes, la cantidad de datos a transmitir dependerá de la selección de la tecnología a utilizar, pudiendo variar de 8 a 128 Bps con lo cual, entre diversos elementos a considerar en la tecnología utilizada, se trata de garantizar la comunicación entre Emisor y Receptor.

4.- Esquema de Mediciones

Hasta aquí, se identifican cinco variables a considerar en la comunicación digital BFSK, o en cualquier otro variante de este modo de comunicación, entre un punto transmisor y un punto receptor en la línea de energía eléctrica: la impedancia variable, el ruido presente en la línea, las perturbaciones electromagnéticas ambientales, el número de divisiones y la distancia a recorrer. Se considera que el comportamiento de estas variables en un medio de enlace como el que se está analizando no dependería solamente de las condiciones físicas ambientales sino también de las tecnologías de comunicación utilizadas.

Se presenta un esquema para medición de señales utilizando como medio de comunicación la red de energía eléctrica de baja tensión, con una presencia de ruido permanente, cuya composición cambia con las horas del día, según las condiciones ambientales de temperatura, humedad, en cada período estacional así como los ruidos provenientes de descargas electrostáticas, de industrias, talleres, otros medios de comunicación, tránsito vehicular, etc. A esto se agrega la influencia de la cantidad de divisiones que puede sufrir una señal en la red eléctrica de baja tensión lo cual depende de la conformación de la red propia de cada subestación transformadora lo que sumado a la distancia a recorrer por la señal que lleva datos produce una importante atenuación de la misma. De manera que la red de baja tensión se comporta como una antena captadora de todos los ruidos y perturbaciones existentes en el medio por el cual se desplaza, y de alguna manera afectaría a las comunicaciones digitales utilizada con fines de telemedición y telecontrol de elementos instalados en dicha red así como con fines de domótica.

Los elementos mencionados son determinantes de la calidad de las comunicaciones digitales, expresadas en términos de seguridad y confiabilidad, de manera que el objetivo principal es indagar como impactan en las señales que se transmiten por la red de baja tensión y se reciben en un receptor, la totalidad de los factores que actúan como condicionantes de dichas comunicaciones y en consecuencia limitan aplicaciones de telemedición y telecontrol.

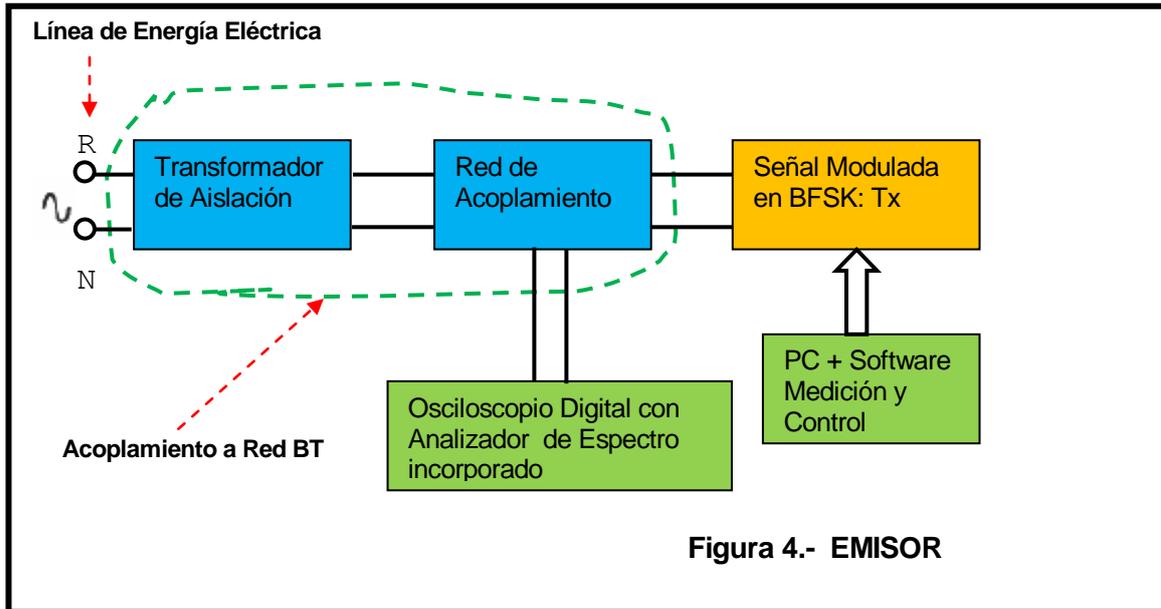
Para este propósito, se utiliza una modulación digital de frecuencia en BFSK, determinando el comportamiento de las comunicaciones y la calidad resultante. Los principales parámetros son el BER, la relación S/N, la eficiencia espectral, la distancia a recorrer por la señal, la cantidad de divisiones y los factores ambientales.

Esto permitirá, además, disponer de una base de datos para elaborar algunas normativas de comunicación sobre datos reales o mejorar las existentes, haciendo visibles el efecto de las tecnologías de comunicación aplicadas.

El esquema utilizado para transmisión y recepción de señales e información y medición de diferentes parámetros se presenta en las Figuras 4) y 5) siguientes.

En dichas figuras se indica un sistema de medición automática, puesto que al completar la fase de ajuste y prueba del sistema de manera manual por el operador, el sistema realiza los ensayos en forma autónoma, comandado por el software de medición y control SyC de desarrollo propio. Este sistema de medición es el que garantiza la generación de ensayos y en consecuencia la cantidad de bits como para determinar la tasa de error de bits, enviando 100.000 bits o más.

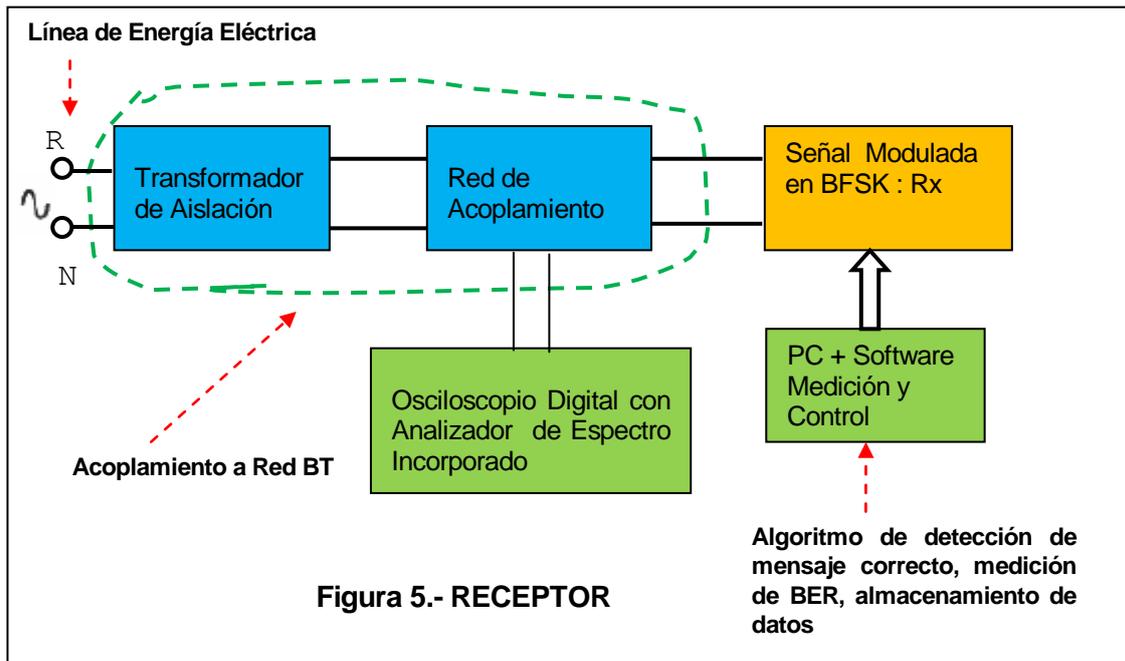
Esquema del Sistema de Medición Automática – Modo transmisión



EMISOR

- Transmite una determinada secuencia de bits o trama conocida sobre la cual se mide el BER a la entrada del receptor.
- Frecuencia central de transmisión 72KHZ y señal de salida 500mW de potencia rms.
- Cantidad de Baudios: 1200bits/seg.
- Se pueden utilizar otras velocidades como 2400 y 4600bist/seg y diferentes frecuencias centrales.
- Medición y Registración de Estado ambiental: temperatura y humedad.
- Medición de distancia y cantidad de divisiones en la red eléctrica.
- Soporta comunicación bidireccional. Envía por power line carrier datos al Receptor actuando como Transmisor, a su vez recibe los datos devueltos por el Receptor, para control, pudiendo trabajar indistintamente como transmisor y receptor por canales de entrada salida separados.

Esquema del Sistema de Medición Automática – Modo Recepción



RECEPTOR

- Funcionamiento idéntico al Emisor.
- Recibe los datos del Emisor, los retransmite para fines de control y cierre del lazo de comunicación.
- Trabajando como receptor, el software de medición mide el BER (**Bit Error Ratio**) en la PC, quien evalúa el porcentaje de bits recibidos correctamente a la entrada del receptor.
- Se registran lugar, fecha y hora de ensayos.
- Se mide nivel de señal y nivel de ruido presentes a la entrada del Receptor.
- Se grafica la señal recibida a una frecuencia preestablecida de 72 KHZ u otra que se determine.
- El software calcula BER y S/N.
- En un procesamiento posterior se determina la relación entre: el BER y S/N; S/N y Eficiencia Espectral; con especial atención en el medio de enlace.
- Al igual que el Emisor soporta comunicación bidireccional. A los fines del ensayo se lo utiliza como Receptor y para control como Transmisor al devolver al emisor la información recibida.

Ambos equipos pueden actuar indistintamente como transmisor (Tx) y receptor (Rx), de manera que la comunicación es bidireccional va del transmisor al receptor y luego vuelve al transmisor. También se puede programar para que la comunicación sea unidireccional, vaya de un Emisor a un Receptor, definido cada equipo permanentemente con dichas funciones. Esto sería producto de una necesidad que se detecte y se determinaría a medida que se avance en la investigación o por cualquier otra cuestión que pudiera surgir. En principio, si bien se hace una comunicación bidireccional, la misma es con fines de control acerca para saber si llegó la señal al receptor y éste la devuelve, en casos donde el Receptor no es visible por estar a una distancia considerable del centro de medición. Las mediciones efectivas de S/N y de BER se realizan a la salida del Transceptor que actúa como Transmisor y sobre la entrada del Transceptor que actúa como Receptor, a partir de lo cual se determinará la influencia del medio de enlace sobre dichas cifras de mérito y de otras que se verán posteriormente.

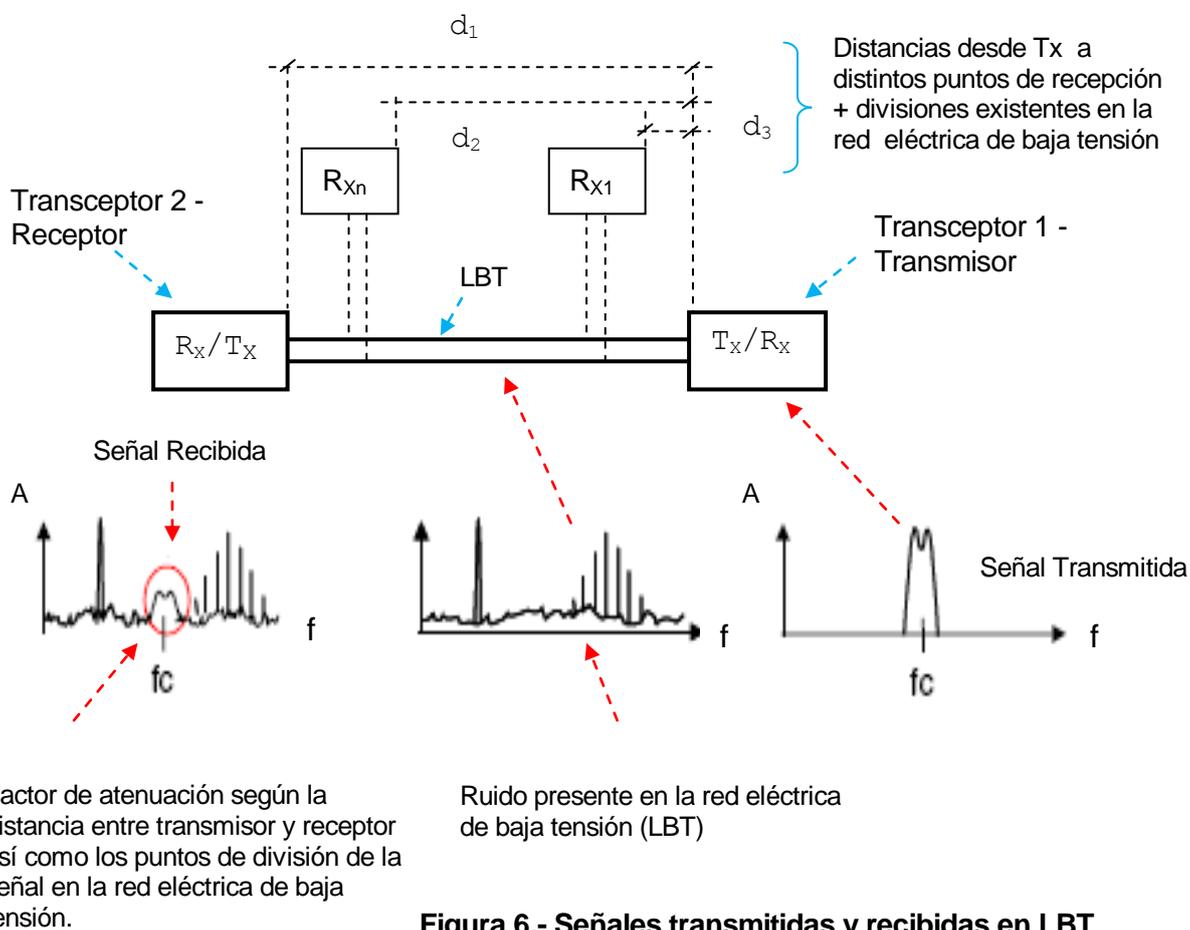
El ruido (ruido blanco o interferencia sinusoidal=ruido gaussiano) está presente en la línea eléctrica de baja tensión, a la cual se conectan los dos transceptores en condiciones de emitir y recibir señales en banda angosta modulada en FSK. La conexión a la red eléctrica de 220 V se hace mediante un acoplamiento en AC, con la suficiente aislación para dar seguridad a los equipos y personas. Ambos equipos tienen protecciones especiales para soportar sobretensiones producidas en la red por descargas eléctricas atmosféricas o de cualquier otro origen de manera de no dañar los dispositivos electrónicos construidos para realizar las pruebas y ensayos.

Por una cuestión de ordenamiento, el dispositivo emisor transmite una secuencia de bits conocida a una frecuencia central de 72KHZ y velocidad de 1200Baudios, mientras que el dispositivo receptor, recibe el flujo de bits conocido a dicha frecuencia como se indica en el esquema de la Figura 5) anterior.

La señal con información viaja inmersa en ruido y en el extremo receptor se analiza la calidad de lo que se recibe y el grado de afectación o no al viajar por un medio de enlace con ruido permanente y variable según las condiciones ambientales. Además

existen divisiones propias en el camino de la señal, entre el transmisor y el receptor, lo cual depende de la configuración física de la red eléctrica de baja tensión. Estas divisiones también influyen en las comunicaciones produciendo atenuación de la señal que sale del transmisor y que llega al receptor. De idéntica forma influye en la atenuación de la señal, la distancia que recorre la señal con información entre los puntos extremos de transmisión y recepción.

En la Figura 6 siguiente, se representa esquemáticamente la forma en que se procede a realizar esta experiencia y los diferentes factores que intervienen en las comunicaciones.



Mientras la señal recibida en el Receptor sea de la misma forma que la enviada por el Emisor con niveles suficientes como para que sea reconocida por el receptor, el sistema de comunicación analógica funciona adecuadamente, no existiendo cambios

en la calidad de la señal. De manera similar, si en comunicación digital por BFSK la secuencia de 0 y 1 transmitidas es igual a la secuencia recibida en la entrada del receptor, no hay diferencias de BER y por lo tanto no hay errores. Caso contrario, si hay diferencias entre los bits emitidos y los recibidos tendremos una tasa de BER propia del medio de enlace y existirán errores de bits.

Es conocido que en un medio de enlace guiado hay una disminución logarítmica de la amplitud de la señal con la distancia, existiendo una dependencia lineal con la distancia si se expresa en decibelios (dB/Km)

Similares experiencias se pueden realizar variando la frecuencia central, el tipo de modulación FSK, y la cantidad de información transmitida. De todas maneras, para cada una de las frecuencias seleccionadas, así sea un sistema de sub bandas con cambios automáticos entre las mismas dentro de la banda A de CENELEC, como trabajan los modem de línea inteligentes de reciente generación, el método aplicado como sistema de medición automático es válido y también se lo podría utilizar para estos casos.

5.- Condiciones de ensayos, pruebas y mediciones

El procedimiento de calibración y puesta a punto del sistema de medición implementado así como el almacenamiento de datos experimentales es realizado con la ayuda de un software de medición y control denominado SyC, desarrollado en Visual C por el equipo de investigación. Se instala en una PC y además de servir para la configuración de los ensayos, almacena los valores de las variables de inicialización, temperatura, humedad y lugar del ensayo. A continuación se hacen 5 pruebas midiéndose la señal y ruido recibida, calcula el BER y la relación S/N, almacena los datos y el resultado de los cálculos así como los demás datos de temperatura, humedad, fecha y hora de los ensayos, en una base de datos en SQL para la posterior determinación de la eficiencia espectral y la calidad de las comunicaciones digitales mediante un procesamiento específico por otra software a desarrollar.

Uno de los objetivos fundamentales es lograr una matriz de comportamiento de las comunicaciones digitales en BFSK según las diferentes variables que interactúan en el

medio de enlace entre puntos emisores y puntos receptores, en distintos ámbitos. Para esto es importante visualizar dicho comportamiento mediante gráficos como se indican en los Gráficos 1), 2) y 3) siguientes.

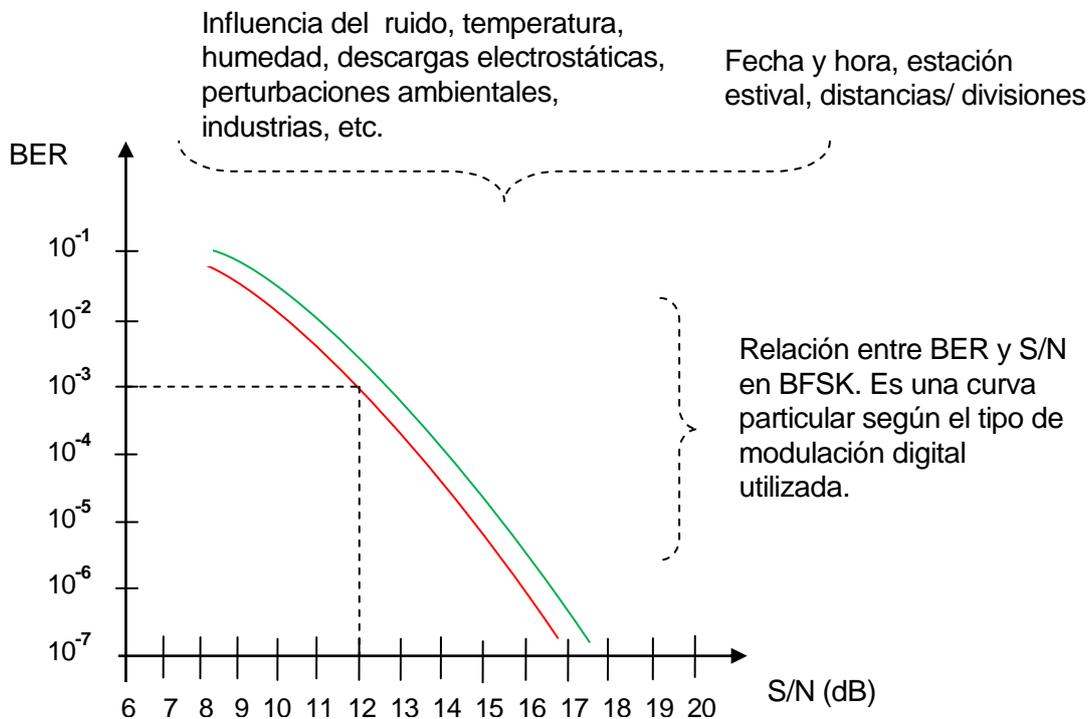


Gráfico 1.- Relación entre el BER y S/N

Este gráfico puesto como ejemplo, representa la curva de BER vs S/N en presencia de ruido blanco, como ejemplo se indica un BER de 10^{-3} que corresponde a una S/N de 12 dB aproximadamente, lo que significaría un bit de error cada 1000 bits transmitidos.

Por otra parte, la eficiencia espectral, ϵ , es la relación entre la velocidad de transmisión digital y el ancho de banda requerido, su unidad es (Bit/seg)/Hz y depende del tipo de modulación utilizada.

Por el teorema de Nyquist el ancho de banda necesario (o ancho de banda mínimo necesario) para una transmisión digital es la mitad de la velocidad digital. Nyquist en 1924

demostró que la velocidad máxima a través de un canal sin ruido con un ancho de banda finito es:

Velocidad máxima de datos = $2 B \log_2 n$ (bits/seg) B = ancho de banda; n = cantidad de niveles discretos

$$B = \frac{1}{2\tau} \text{ (Hz)} \quad (1) \quad \text{con } \tau, \text{ tiempo de duración del bit a transmitir}$$

$$\epsilon = \frac{VT}{B} \text{ ((bit/seg)/Hz)} \quad (2)$$

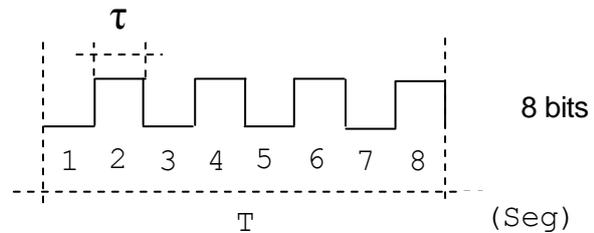


Gráfico 2.- Cantidad de información Vs. tiempos

Del Gráfico 2), se observa que pueden existir diferentes cantidades de información a transmitir en función de determinados tiempos tanto de τ , duración del pulso, como de T , período o duración del tiempo de transmisión. Algunas variantes son:

- Manteniendo una misma duración del tiempo de transmisión T , se disminuye la duración del bit a transmitir, τ , aumenta el ancho de banda B en (1) y la información transmitida es inversamente proporcional a τ . Sería a la inversa si se aumenta la duración del pulso τ disminuye la cantidad de pulsos transmitidos en el tiempo T .
- Algo similar sucedería si dejamos fijo τ , y variamos T . Si T se duplica, la cantidad de información a transmitir debería duplicarse también. El contenido de información puede expresarse de una forma que resulte proporcional a T , para lo cual se toma el logaritmo en base 2 de $n^{T/\tau}$.

La cantidad de información a transmitir, C , es:

$$C = \frac{T}{\tau} \log_2 n \quad (\text{bit}) \quad (3)$$

Si del Gráfico 2, $T = 8\text{seg}$ y $\tau = 1\text{seg}$ y $n = 2$ niveles de 0 y 1, la cantidad de información a transmitir es de 8 bits.

La velocidad de transmisión de información es:

$$VT = \frac{C}{T} = \frac{1}{\tau} \log_2 n \quad (\text{bits/seg}) \quad (4)$$

En (3) se observa que la cantidad de información es proporcional a la duración del tiempo de transmisión T , e inversamente proporcional al tiempo τ , duración del bit a transmitir, por lo que manejando adecuadamente ambos tiempos se puede manejar el envío de una mayor cantidad de bits/seg (VT).

En 1948 Shannon concluyó que la máxima velocidad de un canal con ruido, de acuerdo a como es la realidad, está vinculada a la relación S/N .

La máxima tasa de datos a la que las comunicaciones se pueden realizar sin errores en un canal de transmisión, en un medio inmerso en ruido blanco Gaussiano, o capacidad de transmisión de un canal C , es según el Teorema de Shannon-Hartley:

$$C_{\text{máx}} = B \log_2 (1+S/N) \quad (\text{bits/seg}) \quad (5)$$

Donde:

B es el ancho de banda del canal.

$C_{\text{máx}}$ es la capacidad del canal o máxima tasa de bits de información en bits/seg

S es la potencia de la señal útil o que lleva la información (W , mW)

N (Noise) es la potencia del ruido presente en el canal (mW , μW)

La relación (5), indica que cuando el ancho de banda B se mide en Hertz y el logaritmo se toma en base 2, la capacidad del canal de transmisión es en bits/seg. Es posible transmitir información en ese canal para una tasa de transmisión de TR bit siempre y

cuando $TR \leq C_{\text{máx}}$, con una probabilidad de error pequeña usando un esquema de codificación complicado. Con una tasa de transmisión donde $TR > C_{\text{máx}}$ no se puede definir una codificación que proporcione una probabilidad de error pequeña. El trabajo de Shannon muestra que los valores de S, N y B establecen un límite a la tasa de transmisión, no a la probabilidad de error de bit.

Se puede considerar que si se transmite como máximo a esa tasa de bit, es posible encontrar un esquema de codificación, aunque quizás muy complejo y costoso, donde la compresión de datos y control de errores, que haga llevar el BER hasta un valor tan pequeño como se desee, asegurando una transmisión eficiente y libre de errores.

De hecho los actuales modem inteligentes por power line carrier tratan de hacer esto, siendo programados por el fabricante no por el desarrollador.

Como un ejemplo adicional, se puede considerar que si $B=3$ KHZ y la relación S/R es 30 dB, no se podrá transmitir a más de 30.000 bits/seg, no obstante se considera excelente 4800 o 9600 bits/seg, existiendo una limitación para transmitir un máximo de bits/seg.

En el Gráfico 3 siguiente, se observa que el límite teórico máximo de la eficiencia de Shannon está dado por la expresión:

$$\epsilon = \log_2 (1 + S/N) \quad (6)$$

La relación entre la eficiencia espectral para la modulación digital en BFSK y la relación S/N para un determinado BER, por ejemplo $BER = 10^{-5}$, 1 bit de error en 100.000 bits se indica en el Gráfico 3.

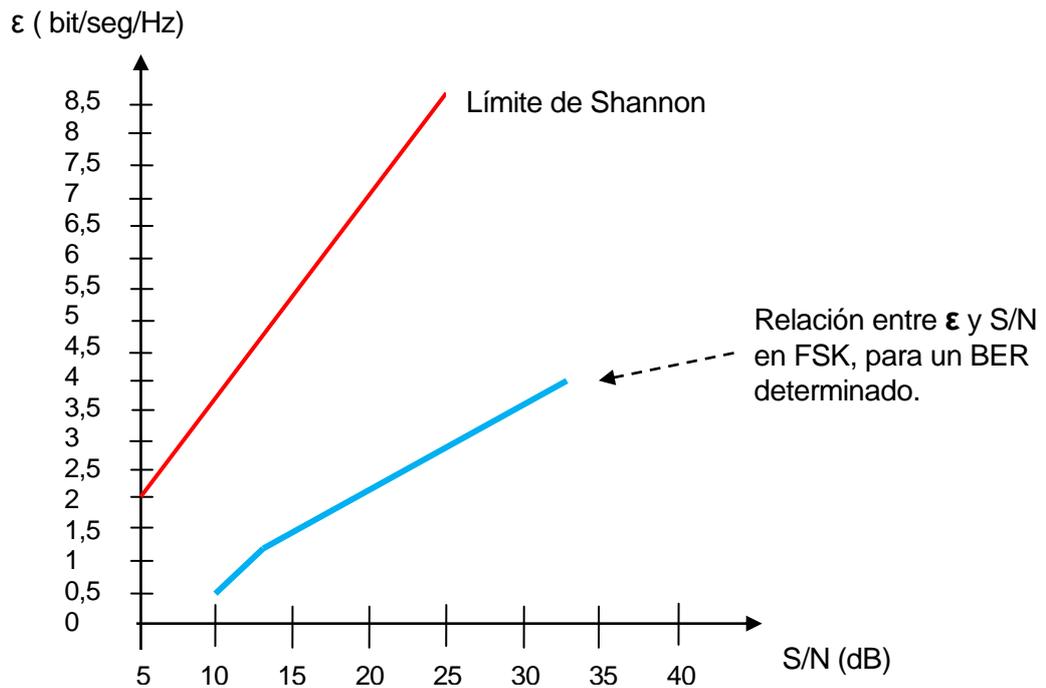


Gráfico 3.- La eficiencia espectral en función de la relación S/N para un BER de 10^{-5}

De la expresión (6) y de los Gráficos 1), 2) y 3) anteriores, se demuestra que es de utilidad conocer la relación entre S/N y la eficiencia espectral, ϵ , para determinar la calidad de la comunicación digital. La relación S/N es un elemento de vinculación común con el BER y la eficiencia espectral ϵ :



Figura 7.- Relación entre ϵ , S/N y BER

De aquí surge uno de los motivos que hace importante analizar la relación S/N en el medio de enlace entre el transmisor y el receptor aplicando una modulación digital en BFSK para llevar información de un extremo a otro, observando como influyen la totalidad de elementos mencionados en los Gráficos 1) y 3) anteriores.

Luego de los ensayos en campo, se precisarán las curvas reales, en correspondencia con los Gráficos 1) y 3), siendo las resultantes de un procesamiento estadístico donde intervendrán todas las variables que influyen en la calidad de las comunicaciones digitales en ambientes con elevado nivel de ruido como es una línea de energía eléctrica de baja tensión.

La Tabla siguiente resume las condiciones de ensayo.

Tabla 1.- Condiciones de ensayos

Señal transmitida	Valor	Observación
Frecuencia	72 KHZ	Frecuencia central , modulada con 2 frecuencias, una para "0" lógico y Otra para "1" lógico
Nivel de Señal	mV	
Forma de señal	Modulada en BFSK	
Resolución de ancho de banda	3KHZ	
Secuencia de bits transmitida	AACC	
Ruido total durante emisión	mV pico a pico	
Cantidad de información	1200 Baudios	

Señal recibida	Valor	Observación
Frecuencia	72KHZ	
Nivel de Señal	mV	
Forma de señal	Modulada en BFSK	
Secuencia de bits recibida	AACC 1010 1010 AA 1100 1100 CC	
Ruido total durante recepción	mV pico a pico / Vrms o Vmáx (a definir)	

6.- Cifras de méritos

6.1.- Relación Señal a Ruido (S/N)

Para el caso que estamos considerando, una señal modulada en frecuencia binaria BFSK utiliza para su desplazamiento un medio de enlace guiado y altamente ruidoso, como es la línea de energía eléctrica de baja tensión, que vincula físicamente un transmisor con varios puntos receptores. Este medio de enlace está influenciado por

un ruido permanente y variable, con diferentes orígenes e incluso es afectado por distintos factores dentro de los cuales se encuentran las condiciones climáticas y ambientales que en conjunto configuran una presencia aleatoria del ruido, con un impacto importante sobre las comunicaciones utilizadas con fines de telemedición y telecontrol en la banda angosta de frecuencia hasta los 148,5 KHZ, y en consecuencia no conocidas en pruebas reales de campo con este grado de detalle.

En ese sentido, el Gráfico 1 representa la vinculación entre el BER (tasa de error de bit) y la relación señal a ruido, S/N, a su vez el Gráfico 3 relaciona la eficiencia espectral con la relación S/N como lo indica la ecuación (6). Por último, la Figura 7 relaciona estos tres elementos como parámetros de calidad de la comunicación digital en BFSK, teniendo como elemento de referencia común la relación S/N.

Las curvas resultantes de los Gráficos 1) y 3), son representativas de la calidad de las comunicaciones digitales y servirán para determinar de una manera más real la influencia del medio de enlace en el que se encuentran, reflejando el comportamiento de la totalidad de las variables que impactan sobre las comunicaciones digitales.

Si bien la calidad de las comunicaciones digitales en banda angosta, depende básicamente de la relación Señal/Ruido (S/N), del BER y de la eficiencia espectral (ϵ), la inclusión de elementos adicionales como temperatura, humedad, ambiente, período estacional, horas del día, tránsito vehicular, producciones industriales, descargas electrostáticas, perturbaciones en la red, permitirían disponer de cifras de méritos más acorde con la realidad física ambiental en el que tienen lugar las comunicaciones digitales por un medio de enlace como la línea de energía eléctrica de baja tensión.

Algunos de dichos elementos serán medidos como cifras globales durante la realización de los ensayos como es el caso de la temperatura y humedad ambiente, cuyos valores dependerán del período estacional y de las horas del día en que se hagan los ensayos.

El resto de los factores como el ruido y perturbaciones en el medio de enlace provenientes del tránsito vehicular, industrias, descargas electrostáticas y de otras fuentes se medirán a la salida del Transmisor, como una manera de conocer como entra la señal que lleva información, modulada en BFSK, al medio de enlace. También se medirán dichos elementos a la entrada del Receptor como una expresión resultante de la totalidad de los elementos que influyen en el medio de enlace utilizado, siempre en coincidencia con la medición de temperatura y humedad realizada en el transmisor. De esta forma se conocerá como es afectada la comunicación digital por un medio de enlace tan particular como es la línea de energía.

Surge como algo natural analizar la relación S/N en el transmisor, la relación S/N en el receptor y la influencia de las características del medio de enlace propiamente dicho sobre esta cifra de mérito.

El ruido en este medio de enlace varía aleatoriamente en el tiempo y el número o cifra de ruido del sistema de comunicación está dado por:

$$E = \frac{S_{\text{SalT}}}{N_{\text{SalT}}} - \frac{S_{\text{EntR}}}{N_{\text{EntR}}} \quad (\text{A})$$

$S_{\text{SalT}}/N_{\text{SalT}}$ es la relación señal a ruido en la salida del transmisor Tx, y $S_{\text{EntR}}/N_{\text{EntR}}$ es la relación de señal a ruido en la entrada del receptor Rx, según lo indica el esquema de la Figura 6) anterior. La cifra de ruido del medio de enlace sería E.

Como se observa de la ecuación (A), en un medio ideal, la cifra de ruido **E** es igual 0, lo cual indicaría que el medio de enlace no introduce ruido adicional, por lo tanto la relación S/N a la salida del transmisor y a la entrada del receptor son iguales. Si E es positiva, el ruido presente en el enlace disminuye, indicando que la relación señal a ruido en la entrada del receptor es menor que a la salida del transmisor. Por último, si E es negativa, el ruido presente en el medio de enlace aumenta, indicando que la relación señal a ruido a la entrada del receptor es mayor que a la salida del transmisor. El valor absoluto de E es la cifra de ruido del medio de enlace power line carrier en la

comunicación digital por BFSK en banda angosta en un instante dado y en determinadas condiciones ambientales y climáticas.

Para disponer de valores representativos de esta cifra de mérito se deben realizar ensayos en diferentes medio ambientes, en distintas franjas horarias y periodo estacional. Además es de suponer que no habrá una única cifra de S/N del enlace, sino que se estima será de la forma que muestra el Gráfico 1) anterior.

La relación de Señal a Ruido se mide en decibel, dB, que es la expresión logarítmica de la relación señal a ruido. Si dicha relación está expresada en términos de potencia eléctrica es $10 \log_{10} (S/N)$ y si está formulada en relación de valores eficaces de tensión es $20 \log_{10} (S/N)$.

La expresión (A) quedaría transformada a dB de la forma siguiente:

$$E \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left[\frac{S_{SaIT}}{N_{SaIT}} \right] - 20 \log_{10} \left[\frac{S_{Ent}}{N_{EntR}} \right] \quad \text{(B)}$$

La eficiencia espectral está relacionada con la relación señal a ruido según la expresión (6) para determinados valores de BER

6.2.- BER

En el Gráfico 1, también se observa una importante participación del BER, el cual debe ser medido en forma simultánea con la relación S/N y en las mismas condiciones.

De manera general, el BER, es una medida de la calidad de transmisión y recepción de un sistema de enlace digital en señales de banda angosta, es la cantidad de símbolos erróneos introducidos en la señal digital por diferentes factores, en especial por los elementos que contribuyen a la fuerte presencia de ruido en el medio de enlace utilizado. La tasa de error de bit conocida como BER (Bit Error Ratio), para la aplicación que estamos considerando, es la relación entre los bits recibidos con error y los bits transmitidos en forma correcta, en un cierto período de tiempo. En este caso los bits transmitidos se utilizan de referencia por ser conocidos y se trasladan por el medio de

enlace power line carrier, los bits recibidos pueden o no sufrir alteraciones debido a los diferentes factores que incidirían en la comunicación a través de la red eléctrica.

Para este caso particular el BER del medio de enlace sería:

$$\text{BER(ME)} = \frac{\text{Cantidad de bits erróneos recibidos en el receptor}}{\text{Cantidad de bits transmitidos a través del medio de enlace}} \quad (\text{C})$$

El BER (ME), BER del medio de enlace, es uno de los parámetros para determinar la calidad de las comunicaciones digitales. El BER podría verse afectado cuando la recepción de una señal se produce en un ambiente con elevado nivel de ruido como es el caso de línea de energía eléctrica de baja tensión. Como se mencionó, este medio de enlace se comporta como una gran antena captadora de todas las perturbaciones cuando se utiliza la línea de energía eléctrica con fines de telemedición y telecontrol remoto de instalaciones en banda angosta, hasta 148,5 KHZ. Algo similar sucede en el interior de viviendas y edificios cuando se usa dicha red de baja tensión con fines de aplicaciones en domótica.

Nuestra consideración es respecto a la totalidad del ruido presente, según las condiciones climáticas y ambientales, en diferentes franjas horarias a los fines de precisar el impacto real sobre las comunicaciones digitales en ambiente ruidoso de estas características.

De idéntica manera a la medición de la relación señal a ruido, se procedería con el BER, midiéndose el mismo a la entrada del receptor en base a una combinación de 0 y 1 de 8 bits recibida, comparándola con una combinación de 0 y 1 de 8 bits conocida, emitida desde el transmisor. La diferencia entre los bits transmitidos y los bits recibidos indicaría el BER del medio de enlace.

6.3.- Atenuaciones

Desde luego que en la calidad de las comunicaciones digitales tiene fuerte influencia la distancia a recorrer por la señal que lleva información, lo cual limita la capacidad de transmisión de información debido a las atenuaciones por este motivo. A esto se

agregan las naturales divisiones que tiene la red eléctrica utilizada como medio de enlace y que también producen disminución de la señal que lleva la información.

En principio parecería de simple solución la existencia de los elementos mencionados, puesto que se podría aumentar el nivel de señal portadora o la potencia de la misma, pero esto no es posible sin afectar a otros dispositivos electrónicos conectados a la red de suministro de energía eléctrica. Las normas que rigen la comunicación por power line carrier son las de CENELEC, existiendo restricciones a los valores máximos que no pueden excederse, tanto de amplitud como de frecuencia en la banda considerada de los 3KHZ hasta 148,5 KHZ, reservada para los fines de telemedición y telecontrol en aplicaciones sobre la red de energía eléctrica de baja tensión, y para aplicaciones en domótica.

De aquí la importancia del trabajo que se está realizando, ya que no se puede aumentar los niveles de tensión para disminuir los efectos del ruido sin, a su vez, ser fuente de perturbaciones hacia los demás dispositivos electrónicos existentes en los hogares y edificios conectados a la red de energía eléctrica de baja tensión. Los límites máximos dados para el nivel de señal de transmisión están dados por las normas de CENELEC, y los valores mínimos/ nominales que necesita dicha señal para que pueda ser reconocida correctamente en el extremo receptor, a pesar del ruido, dependerá de las características del medio de enlace utilizado para transportar la información dentro de las cuales están la distancia a recorrer por la señal que llave información y la cantidad de divisiones propias de cada red que depende de una subestación transformadora.

$$\text{Factor de Atenuación} = \text{distancia (} F_d) + \text{cantidad de divisiones (} F_{div}) = FA \quad \text{(D)}$$

$$\text{Amplitud de Señal} = \frac{\text{Nivel de la señal portadora FSK}}{FA} \quad \text{(E)}$$

De acuerdo con D y E, existe un factor de atenuación de la señal (FA) que es inversamente proporcional a la distancia y a la cantidad de divisiones.

7.- Tecnologías de comunicaciones por power line carrier

En los últimos años, producto del trabajo de los fabricantes de semiconductores, surgieron nuevas tecnologías de circuitos integrados para aplicaciones en comunicaciones por la línea de energía eléctrica de baja tensión.

Con el propósito de mejorar continuamente las comunicaciones por power line carrier se incorpora la modulación S-FSK, spread-spectrum FSK, que permite transmitir y recibir por la red de energía eléctrica una señal de FSK de espectro ensanchado con tonos de frecuencias de 63,3, y 74 KHZ, dentro de la norma CENELEC EN50065-1 para mediciones remotas en la banda A, tratando de evitar de esta manera la influencia de perturbaciones externas. Según esta norma el valor de BER debe ser inferior a 10^{-5} , lo cual equivale a un error de 1 bit en 100.000 bits, esto exige realizar un número importante de ensayos para transmitir esa cantidad de bits o en su defecto, menor cantidad de ensayos con una gran cantidad de bits para cada uno de ellos. Es una situación de compromiso que se resolverá en las experiencias de campo para nuestro caso específico.

Con el mismo objetivo del párrafo anterior, surge la arquitectura de doble núcleo digital, DSP y un microcontrolador 8051, con un algoritmo de 128 bits para dar más seguridad a los datos transmitidos – recibidos, el DSP tiene un firmware incrustado por el fabricante, Modulación B-FSK que transmite hasta 9,6 Kbps y Modulaciones BPSK (Transmisión por Desplazamiento de Fase Binaria), QPSK (Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria) y 8PSK (Transmisión por Desplazamiento de Ocho Fases) de hasta 28,8 Kbps, tiene Código de Corrección de errores y una relación señal a ruido estimada. Posee control de ganancia inteligente ajustándose según el nivel de ruido, con censado de temperatura incorporado y control de corriente integrado. Es compatible con las bandas A, B y C de CENELEC. Se lo puede utilizar en algunas aplicaciones como: control remoto de alumbrado público, hogar inteligente por medio de la red de energía de baja tensión, comando y control de línea AC y DC, así como en automatización de edificios.

Como se observa se intenta solucionar con un chip modem de elevada tecnología cualquier inconveniente que pudiera existir en la comunicación por la línea de energía

eléctrica, aceptando de hecho que hay dificultades importantes en las comunicaciones digitales por dicho medio de enlace.

Por último, salió un circuito integrado con un DSP de alto rendimiento con firmware incrustado que incluye: Modulación OFDM (multiplexado ortogonal por división de frecuencia o modulación con múltiples portadoras); 97 sub-portadoras de la banda A de CENELEC; diferentes modulación programables en BPSK, QPSK, 8PSK, transmisión programable de hasta 128 Kbps; posee estimación de la relación señal a ruido y calidad del canal. Tiene un 8051 Programable con protocolo integrado compatible con IEC **61334-4-32**. Tiene incorporados convertidores ADC y DAC con un receptor de alta sensibilidad y un transmisor de alta linealidad con control de ganancia inteligente. También posee sensor de temperatura integrado y un control de corriente incorporado. Este circuito integrado también está basado en la arquitectura de doble núcleo, DSP y un microcontrolador 8051, para garantizar el rendimiento de las comunicaciones con alto nivel de flexibilidad y programabilidad, para implementaciones con cualquier estándar abierto o totalmente personalizado.

Son evidentes las ventajas de estos circuitos integrados, con respecto a la tecnología anterior con FSK solamente.

En general, la tecnología actual, se podría decir que está representada por los tres circuitos integrados mencionados aunque todavía está vigente la tecnología de base con FSK. La tecnología se orienta hacia las llamadas mediciones inteligentes, donde la parte fundamental de la comunicación es la modulación S-FSK, con la que se intenta solucionar la influencia del medio ambiente sobre una línea de energía eléctrica de baja tensión utilizada con fines de medición remota y control sobre dispositivos colocados en la misma. El IEC 61334 es un estándar para comunicaciones de baja velocidad por la línea de energía para medidores de energía eléctrica, medidores de agua y SCADA sobre una misma plataforma de comunicación. La característica S-FSK, indica transmisión por variación o propagación por desplazamiento de frecuencia y era conocida como IEC 1334 antes de volver a numerarla más recientemente la IEC. En realidad, es una serie de normas que describen el entorno de investigación física de las líneas de energía, una capa física bien adaptada, en la que sea factible un bajo consumo de energía, una capa de

acceso a los medios de comunicación, y una interfaz de administración. Incluye normas relacionadas con el uso de la capa física robusta, por ejemplo IP a través de S-FSK, pero no las capas superiores.

Estas nuevas tecnologías pretenden asegurar una estructura no tan cerrada de comunicación, o más abierta desde el punto de vista de su funcionamiento al poder cambiar o variar la frecuencia dentro de la banda A, ajustando el nivel de señal de transmisión según el ruido presente en el medio de enlace y la temperatura ambiente, ofreciendo una modulación robusta y una adecuada protección de errores para hacer frente a las alteraciones propias de la red de distribución eléctrica.

De manera adicional, corresponde mencionar que estas mejoras tecnológicas por **Power Line Carrier (PLC)**, fueron inducidas para hacer frente con mayor fortaleza a la tecnología competidora GPRS. Esta tecnología depende de un operador o prestataria del servicio de comunicación, lo cual no es aceptado por las empresas distribuidoras de energía eléctrica, razón por la cual la tecnología PLC asegura el servicio propio de una distribuidora eléctrica a largo plazo con la aparición de los modem inteligentes por la línea de energía eléctrica, dejando en los hechos todo el trabajo de comunicación a la actuación de los modem de línea.

Los módems de línea según la norma IEC 61334-4-512, al igual que los modem convencionales de telefonía fija y telefonía móvil no requieren de preconfiguración, no hay participación del desarrollador, ya que el sistema detecta automáticamente nuevos puntos de comunicación, configura la red y optimiza el envío de información, pudiendo incluso negociar la velocidad de transmisión de información y cambiar de frecuencia de transmisión dentro de la banda A de CENELEC. El trabajo de ingeniería es mínimo en comparación con la tecnología anterior de modem plano, pero la presencia del medio ambiente continúa presente con sus implicancias.

8.- Software de Medición y Control “SyC”.

El software SyC, ha sido desarrollado para el relevamiento de los ensayos realizados con los equipos transceptores TXP-FRT y RXP-FRT. Tiene las características siguientes:

- El código fue escrito en C# utilizando la tecnología .NET.
- Las bases de datos están realizadas en SQL Server lo que permite grandes volúmenes de datos e interconectividad entre diferentes máquinas.
- El sistema tiene un protocolo de comunicación propio que se usa para controlar los dispositivos transceptores TXP-FRT y RXP-FRT. Estos dispositivos tienen un firmware de comunicación compatible con el SyC con una velocidad de transmisión por el puerto serie de 1200 Bps.
- Se guardan los datos de los ensayos realizados con la siguiente información:
 - ✓ Fecha
 - ✓ **Hora**
 - ✓ **Dirección**
 - ✓ **Localidad**
 - ✓ **Número de divisiones:** cada división en la línea de energía eléctrica de baja tensión constituye una atenuación a la señal de comunicación por lo que se almacena el valor para observar la influencia de las mismas.
 - ✓ **Distancia:** Al igual que el anterior la distancia atenúa la señal de comunicación.
 - ✓ **Temperatura:** este factor afecta el nivel de señal/ruido en la línea de energía eléctrica.
 - ✓ **Humedad:** Este factor también afecta el nivel de señal/ruido en la línea de energía eléctrica correspondiendo su valor a la humedad relativa
 - ✓ **Estado Climático:** Afecta a los niveles de señal/ruido en la línea.
 - ✓ **Nivel de Transmisión:** Este factor se mide con un osciloscopio en la terminal TX del equipo TXP-FRT y se expresa en volts pico a pico.
 - ✓ **Ruido de Transmisión:** Al igual que el anterior se mide con un osciloscopio en la terminal TX del equipo TXP-FRT y se expresa en volts pico a pico
 - ✓ **Nivel de Recepción:** Este factor se mide con un osciloscopio en la terminal RX del equipo RXP-FRT y se expresa en volts pico a pico.

- ✓ **Ruido de Recepción:** Al igual que el anterior se mide con un osciloscopio en la terminal RX del equipo RXP-FRT y se expresa en volts pico a pico.
- ✓ **Observaciones:** Aquí se indica cualquier información adicional.

- El sistema determina en forma automática la tasa de BER del ensayo realizado y lo guarda con la información siguiente:
 - ✓ **Número de Ensayo**
 - ✓ **Estado:** el sistema identifica diferentes estados de comunicación según como se haya recibido la trama enviada
 - No se ha producido un enlace
 - Se ha producido un enlace pero la trama recibida es incorrecta
 - Se ha producido un enlace y la trama recibida es correcta

El BER es determinado en los dos últimos casos teniendo en cuenta la trama recibida versus la trama que debe recibirse la cual se encuentra prefijada en los firmwares de los equipos TXP-FRT y RXP-FRT.

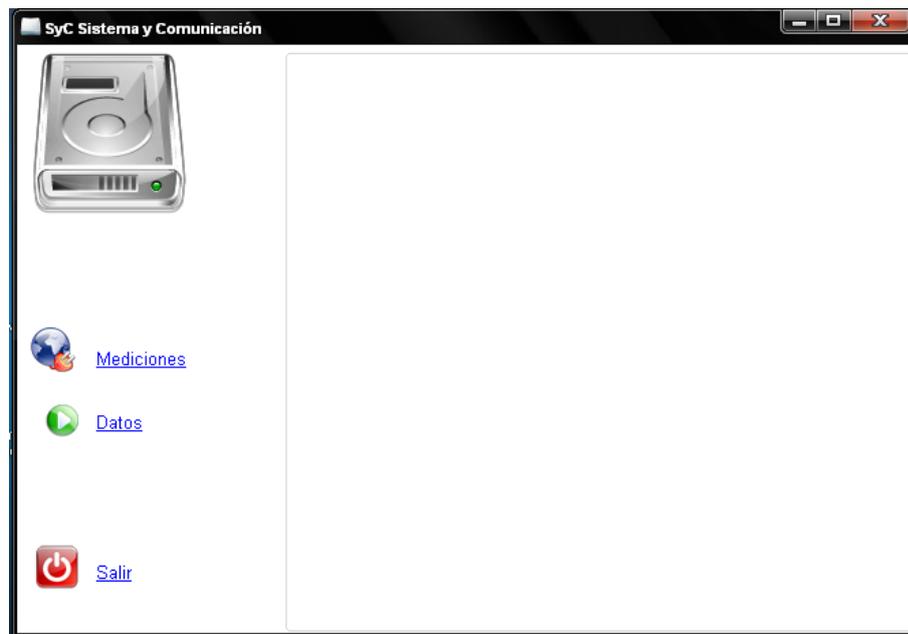
 - ✓ **Trama:** Muestra el valor en decimal de la trama recibida
 - ✓ **BER:** Muestra el BER calculado por el sistema en forma porcentual

- Permite la exportación de los datos registrados a herramientas de Office tales como Microsoft Excel.

Una vez instalado el sistema SyC se presentan las siguientes pantallas:



El programa tiene dos áreas principales de trabajo, los ensayos y los datos debiendo seleccionarse en esta pantalla en cual se trabajará .



Cuando se selecciona la opción de mediciones, el software busca automáticamente en todos los puertos COM y USB de la PC el equipo TXP-FRT para validar las opciones de

ensayo del mismo. Si no se encuentra conectado aparecerá un mensaje de error y las opciones de ensayo estarán deshabilitadas.



Se hace click en Aceptar y se ingresa a la pantalla de ensayo pero no podrá efectuar ninguna acción en la misma todavía.

Mediciones

Número: 000005

Fecha: Lunes, 14 de Noviembre de 2011

Hora: 04:12:10 p.m.

Ubicación

Calle:

Localidad:

Nro. Divisiones:

Distancia:

Estado Tiempo

Temperatura:

Humedad Relativa:

Estado: Despejado

Transmisión:

Nivel Señal:

Nivel Ruido:

Recepción:

Nivel Señal:

Nivel Ruido:

Observaciones:

Ensayos

0

Enlaces

0

Sin Enlace

0

Tramas Incorrectas

0

Tramas Correctas

0

Estado Trama

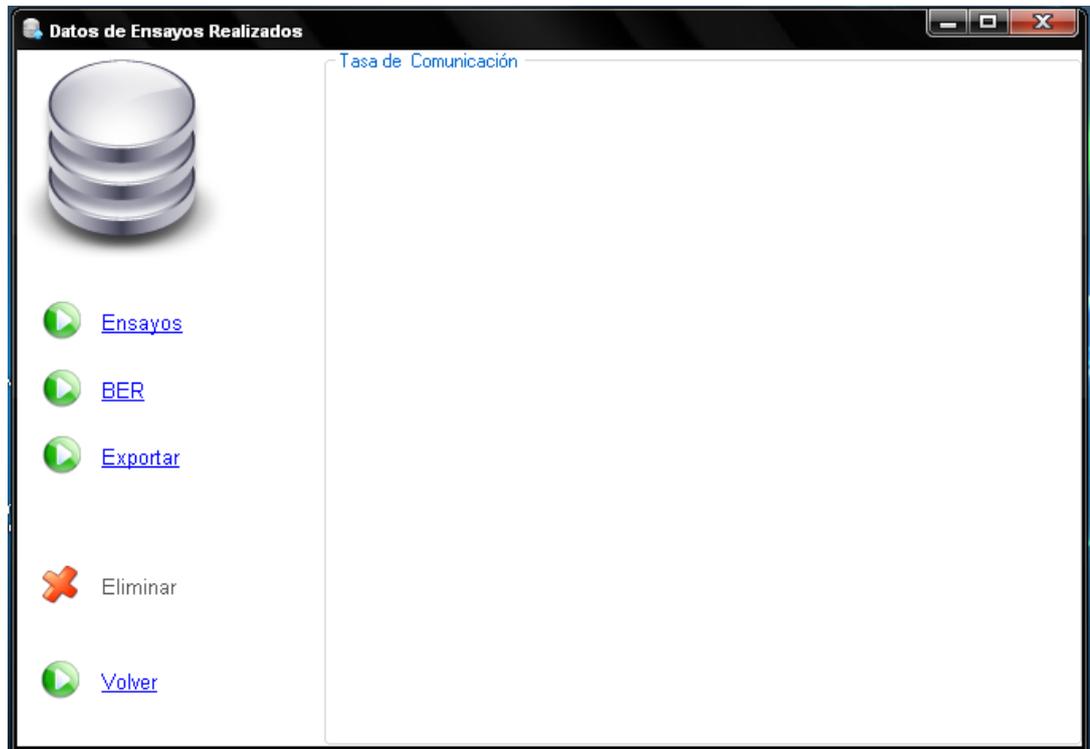
Test

Ensayo

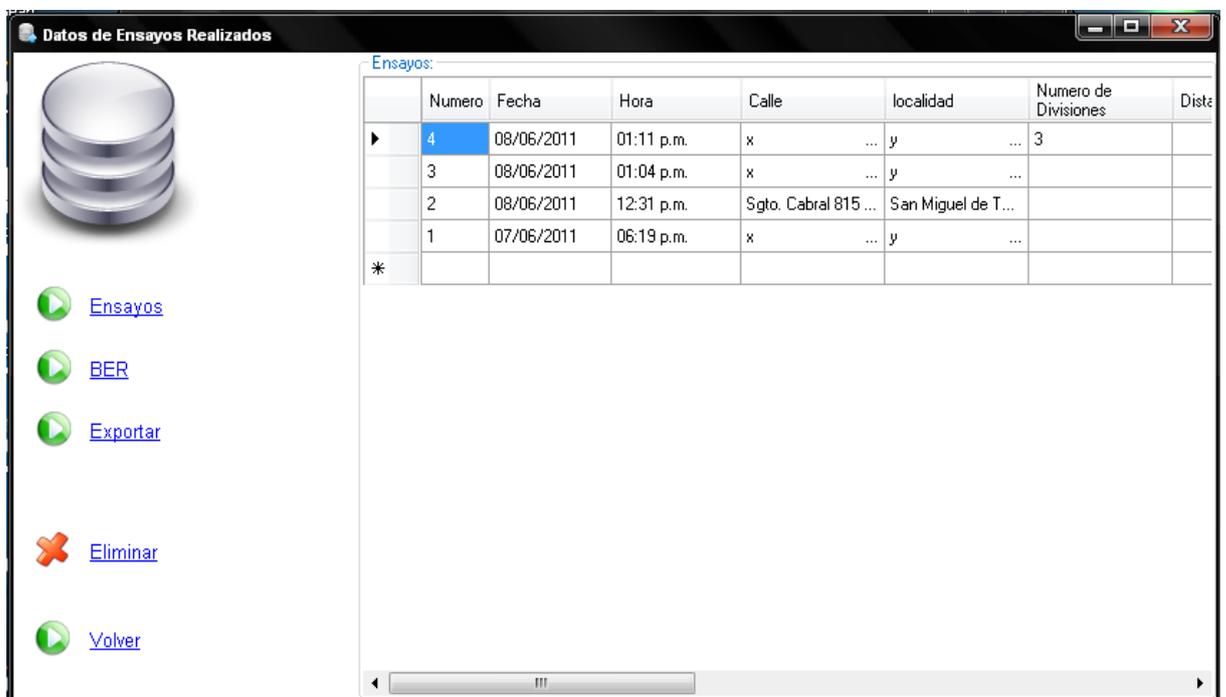
Guardar

Volver

La pantalla de datos siguiente, permite el acceso a la información recabada en campo para su análisis.



En esta pantalla se muestran todos los datos cargados en cada uno de los ensayos realizados con el sistema.



El sistema permite el ordenamiento de las celdas según un criterio determinado, por ejemplo si se desea ordenar de menor a mayor los números de ensayo basta con hacer click en número y seleccionar el ordenamiento adecuado.

	Numero ▲	Fecha
▶	1	07/06/2011
	2	08/06/2011
	3	08/06/2011
	4	08/06/2011
*		

En la pantalla siguiente se muestra la información correspondiente al BER del sistema.

The screenshot shows a window titled "Datos de Ensayos Realizados". On the left, there is a database icon and a list of buttons: "Ensayos", "BER", "Exportar", "Eliminar", and "Volver". The main area contains a table with the following data:

Intentos:	Estado	Trama	%BER
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
	Se ha recibido la trama correcta ...	35	0
*			

En la opción exportar, se envían los datos de ensayos realizados a un archivo de Microsoft Excel.

9.- Bibliografía

Leon W. Couch II. Sistemas de comunicaciones digitales y analógicas. Prentice Hall. 1998.

Mischa Schwartz. Transmisión de la Información, Modulación y Ruido. HASA. 1968.

Eklas Hossain, Sheroz Khan, and Ahad Ali (2008). Modeling Low Voltage Power Line as a Data Communication Channel. Disponible en: <http://www.waset.org/journals/waset/v45/v45-27.pdf>

I. H. Cavdar, Member, IEEE (2004). Performance Analysis of FSK Power Line Communications Systems over the Time-varying Channels: Measurements and Modeling. Disponible en: <http://b-dig.iie.org.mx/BibDig/P04-0505/Files/PESGM2004-000171.PDF>

Gerrit Telkamp. A Low-Cost Power-Line Node for Domestic Applications (2006). Disponible en: http://www.isplc.org/docsearch/Proceedings/1997/pdf/0539_001.pdf

Zdenek Kaspar (2002). Power-Line Communication - Regulation Introduction, PL Modem Implementation and Possible Application. Disponible en: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/ra2007/archive/ra2002/pdf/41.pdf>

Fabián Montealegre Alfaro (2007). Instalacion, puesta en funcionamiento de tarjeta de BER (razón de bits erroneos) en generador de alta frecuencia y elaboración de practicas de laboratorio de Telecomunicaciones. Universidad de Costa Rica. Disponible en: http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb07_II/pb0724r.pdf

Victor Hugo Serna (2011). Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC. MAXIM. Disponible en: http://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf

EN 61334-4-512:2002. Disponible en: http://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:110:4030976638355117:::FSP_PROJECT,FSP_LANG_ID:13446,25

Normas de CENELEC - European Committee for Electronical Standardization (2011). Disponible en: <http://www.cenelec.eu>

Ira

Juan Carlos COLOMBO

Director del Proyecto