



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA
LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE CONTROL
POR MEDIO DE LA RED ELÉCTRICA Y DISEÑO
DE UN MANDO A DISTANCIA BAJO EL
CONCEPTO DE PLT”**

VIVIANA DEL PILAR CARREÑO BRAVO

ROBERTO SEBASTIAN CID LIZAMA

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRÓNICA

CONCEPCIÓN – CHILE

2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA
LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE CONTROL
POR MEDIO DE LA RED ELÉCTRICA Y DISEÑO
DE UN MANDO A DISTANCIA BAJO EL
CONCEPTO DE PLT”**

VIVIANA DEL PILAR CARREÑO BRAVO

ROBERTO SEBASTIAN CID LIZAMA

GUSTAVO SANHUEZA GARRIDO

PABLO SÁEZ SRAIN

JOHN CORREA TOLOZA

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO 1: CONCEPTO DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES POR MEDIO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS Y ESTÁNDARES ASOCIADOS AL TEMA.	3
1.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN X10	6
1.2 ESTRUCTURA DE UN MENSAJE EN PROTOCOLO X-10	9
1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN PLC “POWER LINE COMMUNICATION	11
1.4 TECNICA DE TRANSMISIÓN EMPLEADA POR LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS	12
CAPITULO 2: ALTERACIONES PRESENTES EN LA RED ELÉCTRICA	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 DISTURBIOS DE LA RED ELÉCTRICA	14
2.3 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LAS LÍNEAS ELECTRICAS	19
2.4 FUENTES DE RUIDO PRESENTES EN LA RED ELÉCTRICA	24
CAPITULO 3: SET UP, PROCEDIMIENTOS E INTERFAZ DE ACOPLO PARA LA MEDICIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS	25
3.1 INTRODUCCIÓN	25
3.2 MÉTODO DE AISLACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA	26
3.2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLO PARA RED, APLICABLE A SISTEMAS DE DOMÓTICA CON BANDA DE 20 KHZ A 1 MHZ	27
3.2.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLO PARA RED, APLICABLE A SISTEMAS PLC 1MHZ A 30MHZ	30
3.2.3 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA ACOPLOS PLT	33
3.2.4 RESPUESTA EN FRECUENCIA ACOPLO DISEÑADO PARA EMPLEAR EN SISTEMAS DE DOMÓTICA CON BANDA DE 20 KHZ A 1 MHZ	35
3.2.5 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL ACOPLO DISEÑADO PARA EMPLEAR EN SISTEMAS PLC CON BANDA DE 1MHZ A 30MHZ	36
3.3 SET UP DE MEDICIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LA RED	37

CAPITULO 4: MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO DEL RUIDO PRESENTE EN LA RED ELÉCTRICA.	39
4.1 INTRODUCCIÓN	39
4.2 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO	40
4.3 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA	44
4.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ Y EL RANGO DE 1MHZ A 30 MHZ	48
4.5 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL TRANSCURSO DE UN DÍA ACADÉMICO NORMAL EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ	49
4.6 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL TRANSCURSO DE UN DÍA ACADÉMICO NORMAL EN EL RANGO DE 1MHZ A 30MHZ	51
CAPITULO 5: SET UP Y PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LA ATENUACIÓN Y DISTORSIÓN DE SEÑALES AL SER TRANSMITIDAS POR MEDIO DE LAS REDES ELÉCTRICAS.	53
5.1 INTRODUCCIÓN	53
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LAS LINEAS DE BAJA TENSIÓN	54
5.3 ESTUDIOS PREVIOS DE ATENUACIÓN PROVOCADA POR LA RED	57
5.4 SET UP DE MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN PROVOCADA POR LA RED ELÉCTRICA AL SER EMPLEADA COMO CANAL DE TRANSMISIÓN	59
CAPITULO 6: MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO DE LA ATENUACIÓN Y DISTORSIÓN DE SEÑALES AL SER TRANSMITIDAS POR LA RED ELÉCTRICA	60
6.1 INTRODUCCIÓN	60
6.2 ESTUDIO DE LA ATENUACIÓN Y DISTORSIÓN DE UNA SEÑAL DE AMPLITUD 5 V AL SER TRANSMITIDA 25 METROS POR LA RED	61
6.3 NIVELES DE ATENUACIÓN MEDIDOS EN EL TRANSCURSO DE UN DÍA ACADÉMICO CON ACTIVIDADES NORMALES EN TODO EL RANGO DE FRECUENCIAS (20KHZ A 25 MHZ)	65
CAPITULO 7: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE CONTROL, EN BASE A LOS ESTUDIOS REALIZADOS	67

CAPITULO 8: DISEÑO DE APLICACIÓN PRÁCTICA, MANDO A DISTANCIA ON/OFF EMPLEANDO LA RED ELÉCTRICA.	68
8.1 INTRODUCCIÓN	68
8.2 CONCEPTOS MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELÉCTRICA	68
8.3 TRANSMISOR DE SEÑALES PARA MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELÉCTRICA	71
8.4 RECEPTOR DE SEÑALES PARA MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELÉCTRICA	77
CAPITULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES RESPECTO DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE ALTA FRECUENCIA POR MEDIO DE LA RED ELÉCTRICA	86
REFERENCIAS	88
ANEXOS	89

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta un estudio de la factibilidad técnica para la transmisión de señales de alta frecuencia, por medio de la red eléctrica ya sea en ambientes residenciales o comerciales. Este estudio permite conocer y establecer las condiciones reales en las que trabaja esta tecnología, en un espectro que va desde los 20Khz a 30 Mhz.

El trabajo comienza con un estudio del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de ingeniería de la UBB, ubicada en la Octava región, Chile. Se realizan mediciones en terreno de las alteraciones y del ruido presente en las líneas eléctricas del establecimiento, empleando equipos de medición digitales tales como osciloscopio y un analizador de espectro, de modo de caracterizar el canal a utilizar en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Adicionalmente se emplea un generador de funciones junto a 2 circuitos de acoplo para enviar señales de alta frecuencia por medio de la red eléctrica, con el fin de estudiar la distorsión y atenuación que se producen al emplear un medio no diseñado para la trasmisión de señales de control.

En base a las mediciones realizadas en el DIEE, se obtienen conclusiones y recomendaciones respecto de la tecnología PLT o “Power Line Transmission”, para este caso. Finalmente se diseña un mando a distancia a modo de ejemplo de aplicación práctica. Este circuito emplea la red eléctrica como un canal de transmisión de señales de control, que permitan realizar acciones en base a la detección de frecuencia.

INTRODUCCIÓN:

En la actualidad las redes eléctricas presentes en la universidad del Bio Bio solo son utilizadas para la distribución de la energía correspondiente a 220v/50 hz, sin embargo la capacidad de uso de estas redes va mucho más lejos que la aplicación para la cual fueron creadas inicialmente, lo que abre una posibilidad de usos alternativos o complementarios.

Los usos complementarios propuestos para estas redes, son amplios. Entre ellos destacan las aplicaciones en domótica donde se encuentra la implementación de mandos a distancia, control de acceso, alarmas etc. Algunas aplicaciones más avanzadas han llegado a emplear la red eléctrica para la transmisión de paquetes de información tales como Internet, ampliando las redes Ethernet existentes o complementándolas, como al extender una red WI-FI. Todas estas tecnologías aportan una solución al usuario final, logrando obtener un mejor provecho de las redes, sin necesidad de alterarla o implementar cableados anexos que aumentan los costos y tiempos de implementación.

La tecnología PLT o “Power line transmission” enfrenta diversos retos, ya que se busca trabajar en un medio que no fue diseñado para la transmisión de señales de alta frecuencia, lo que ocasiona que no existan las condiciones optimas, presentándose un canal muy ruidoso, con alta atenuación y donde sus características están variando en el tiempo de acuerdo con los equipos conectados a la red.

Todo esto hace que sea necesario realizar un estudio de la red donde se desea implementar tecnología PLT, a modo de caracterizar el canal, establecer las condiciones de trabajo y concluir si es posible desarrollar la transmisión de señales, aún estando en un medio tan problemático. Para ello se evalúa los niveles de contaminación de la red o ruido electrónico y en forma complementaria se realiza un estudio de la atenuación de las señales que son enviadas por la red eléctrica en base a su frecuencia. Ambos estudios permiten tomar decisiones respecto de qué niveles de voltaje y frecuencia es más conveniente trabajar para la transmisión de señales, seleccionando un voltaje adecuado superior a los niveles de ruido y con una frecuencia apartada de la frecuente del ruido impulsivo presente en la red.

CAPITULO 1: CONCEPTO DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES POR MEDIO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS Y ESTANDARES ASOCIADOS AL TEMA

Se trata fundamentalmente de la transmisión de señales de frecuencia muy por sobre los 50 hz de la red eléctrica. Hace muchos años, empresas e ingenieros han trabajado esta idea donde se intenta aprovechar la infraestructura de una red ya existente para controlar equipos conectados a ella y últimamente para establecer comunicaciones.

El concepto técnico de la transmisión de señales de control por medio de las redes eléctricas es sencillo, sobre la tensión de red se “monta” una señal de alta frecuencia definida según el diseño y se transmite a múltiples puntos utilizando la red eléctrica. Este concepto se muestra a continuación.

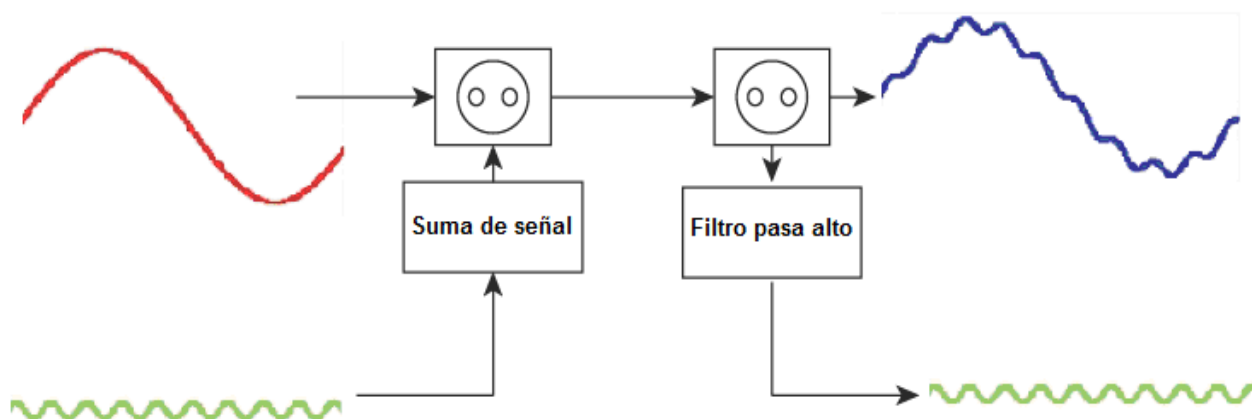


Figura 1.1 Esquema de transmisión de señal por la red eléctrica.

En el esquema anterior se puede apreciar en color rojo la señal de 220 v y 50 Hz existente en el cableado, a esta señal se superpone una señal de alta frecuencia, la cual se encuentra en color verde, la suma de señales es llevada a cabo por medio de un circuito de acoplo, obteniendo como resultado la señal a transmitir montada sobre la señal de 50 Hz, transportándose ambas señales por la red eléctrica. Tras propagarse por el cableado, la señal deberá ser extraída por medio de un filtro, que permita solo el paso de las frecuencias altas, las cuales son utilizadas para la transmisión de la información, y bloquee las frecuencias bajas, propias del suministro eléctrico o armónicos de este.

Esta técnica permite transmitir una señal de control, datos e incluso servicios de banda ancha hacia cualquier punto donde llegue la red eléctrica, no siendo necesario crear una nueva red cableada para la aplicación específica que se desee implementar.

De acuerdo a los estándares existentes, la frecuencia utilizada para transmitir señales a través de la red eléctrica en sistemas de domótica se encuentra entre los 3 KHz. y los 148,5 KHz., a partir de los 4 Mhz. se reserva espectro para aplicaciones de transmisión de datos, es decir PLC. (Power line Communications). El espectro de frecuencias para los distintos usos de las redes eléctricas se representa en la siguiente gráfica.

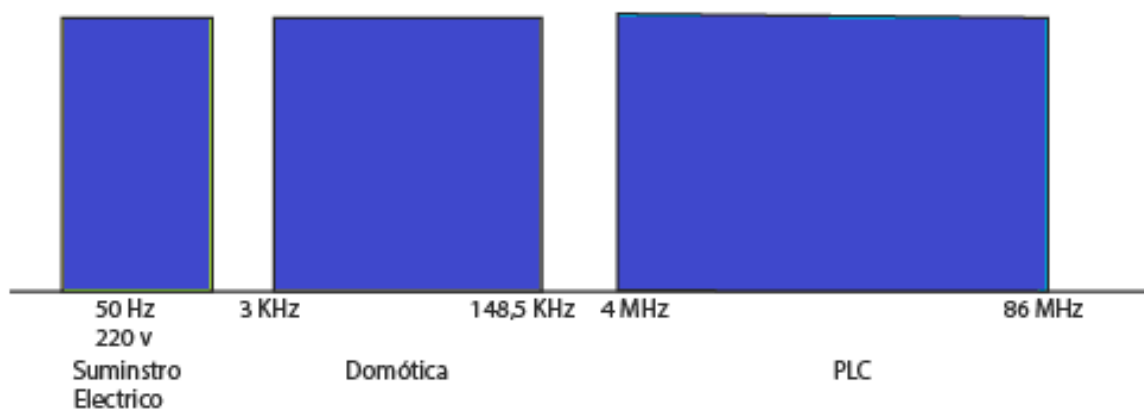


Figura 1.2 Regulación de espectro para la transmisión de señales por medio de la red eléctrica

Como se puede ver, existe una reserva del espectro, entre los 3 KHz y los 148,5 KHz, para aplicaciones de control de sistemas de domótica y a partir de los 4 MHz se reserva espectro para aplicaciones de transmisión de datos. En ambos casos son frecuencias que difieren mucho de la frecuencia de la red eléctrica convencional (50 - 60 Hz) esto supone que la posibilidad de interferencias entre ambas señales sea prácticamente nula.

El concepto de transmisión mencionado, se basa en conectar a un punto del conexasión o red eléctrica presente dentro de un ambiente residencial/comercial, un equipo transmisor de señales, que genere una señal de control, con una frecuencia y voltajes específicos obtenidos en base a un estudio de la red eléctrica y que estas señales de control sean transmitidos a través de circuitos de acoplo a toda la red eléctrica convencional de baja tensión (220v), logrando llegar a receptores que detecten la señal en base a su frecuencia. El hecho de obtener estas transmisiones permite generar múltiples aplicaciones, entre ellas un mando a distancia, permitiendo activar o desactivar distintos equipos. El siguiente esquema representa el concepto de transmisión a emplear.

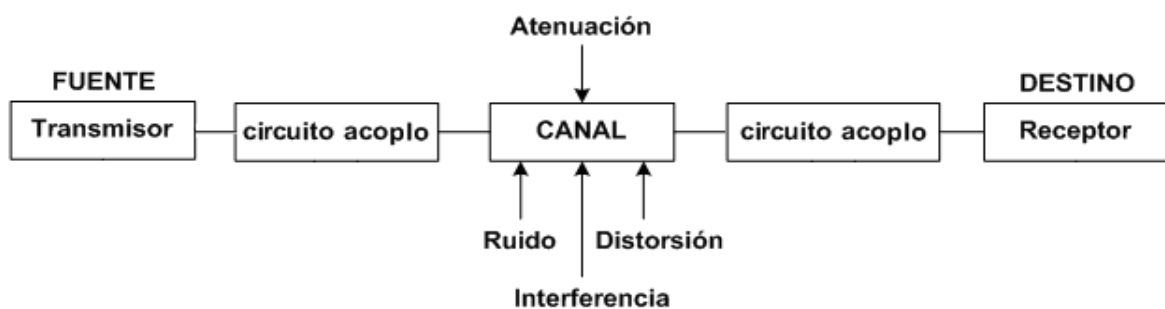


Figura 1.3 Diagrama de transmisión de señales por medio de la red eléctrica

De acuerdo al esquema anterior para lograr la transmisión de señales se emplea en un punto de la red un circuito transmisor, encargado de generar y enviar las señales, esta operación se realiza por medio de un circuito de acoplo, el cual es un filtro cuya función es permitir el paso de las señales de frecuencias altas y a su vez atenuar las señales de baja frecuencia correspondiente a los 220v/50hz, llegando a niveles del orden de los mili volts, de esta forma es posible transmitir señales hacia la red eléctrica y evitar daños en el equipo transmisor.

Las condiciones de la red eléctrica representan el principal problema de esta tecnología, esto se debe a que al ser utilizada como canal de transmisión se generan condiciones adversas, como atenuación, interferencias, distorsión y niveles de ruido considerables. Todo este estudio y análisis del canal de transmisión se presenta en los siguientes capítulos, logrando finalmente establecer si es factible la transmisión de señales de control o portadoras por medio de la red eléctrica y bajo qué condiciones reales operan tecnologías ya implementadas en el mercado, como es el caso de el protocolo X10 en domótica y de la tecnología PLC para la transmisión de banda ancha.

1.1 SISTEMA DE TRANSMISION X10

La tecnología X10 es un protocolo empleado en domótica que utiliza como medio de transmisión la red eléctrica de 220V y 50Hz para enviar las órdenes de control a distintos puntos de la red. Entre sus principales características destaca el hecho de que no hace falta un cableado específico para la domótica ya que los comandos de control viajan a través del cable de la instalación eléctrica, conectándose tan solo a un enchufe o toma corriente.

Esta tecnología es uno de los protocolos más antiguos, de hecho en el año 1978 se presentó la tecnología X10 al público para ser usando en aplicaciones de domótica y fue diseñado con el objetivo de transmitir comandos por las líneas de baja tensión a muy baja velocidad, del orden de los 60 bps . Actualmente los dispositivos X10 que se encuentran en el mercado son solo para uso individual y en entornos domésticos de hasta 250 m², dada su limitación en ancho de banda y en el número máximo de dispositivos a controlar (256).

Las señales de control de la tecnología X10 se basan en la transmisión de ráfagas de pulsos de RF a una frecuencia de 120 KHz. que representan información digital o niveles lógicos, estos pulsos se sincronizan en el cruce por cero de la señal de red o señal de corriente alterna (AC, 50 Hz ó 60 Hz), inicialmente solo se operaba enviando señales en frecuencia, pero debido a los niveles de contaminación de la red los creadores del sistema propusieron sincronizar las transmisiones de la línea de conducción eléctrica con el punto de cruce cero de la línea AC, debido a que es el punto con menores niveles de ruido y de este modo inhibir en parte los efectos de este. Las transmisiones X - 10 se sincronizan con el paso por cero de la corriente alterna y a partir de ese momento el retraso máximo desde el paso por cero de la señal hasta que un módulo transmite la información codificada es de 100µs.

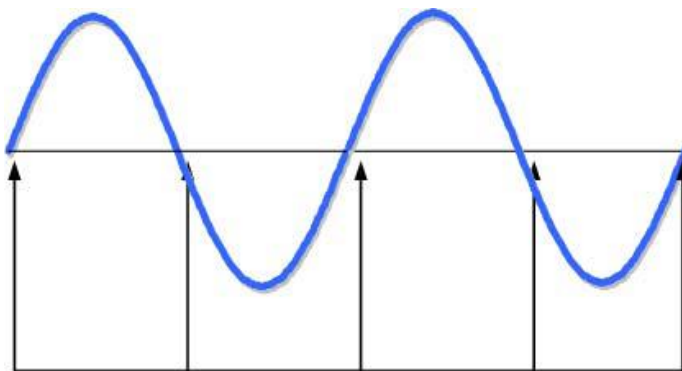


Figura 1.4 Diagrama de sincronización con el paso por cero de la corriente alterna

El protocolo requiere de 1 ciclo de la onda de 50 hz para crear un bits “1” o “0”, si al momento de partir un ciclo de red se detecta la presencia de un pulso de 120Khz en el primer semiciclo y la ausencia de pulso en el semiciclo siguiente se representa un '1' lógico y a la inversa si al momento de partir un ciclo de red no se detecta la presencia de un pulso en el primer semiciclo, pero en el segundo semiciclo se detecta el pulso de 120Khz se representa un '0'.

La representación de los niveles lógicos en el protocolo X-10 se codifica de la siguiente manera:

- BIT 1: El 1 binario se representa con el envío del tono de 120 kHz durante 1 ms en el primer semiciclo, luego durante el segundo semiciclo no se transmite pulso.

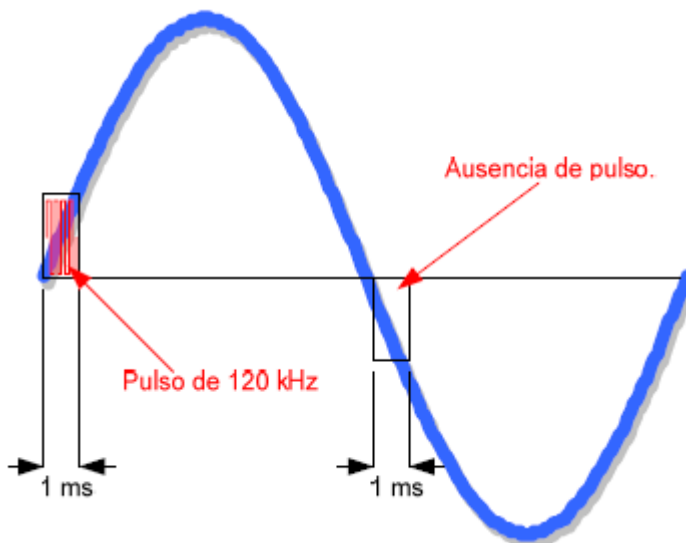


Figura 1.5 Diagrama de envío de un Bit 1.

- BIT 0: El cero binario se representa con la ausencia del tono o pulso durante el primer semiperiodo, pero en el segundo periodo inmediatamente después del paso por cero, se transmite un tono de 120 kHz y 1ms

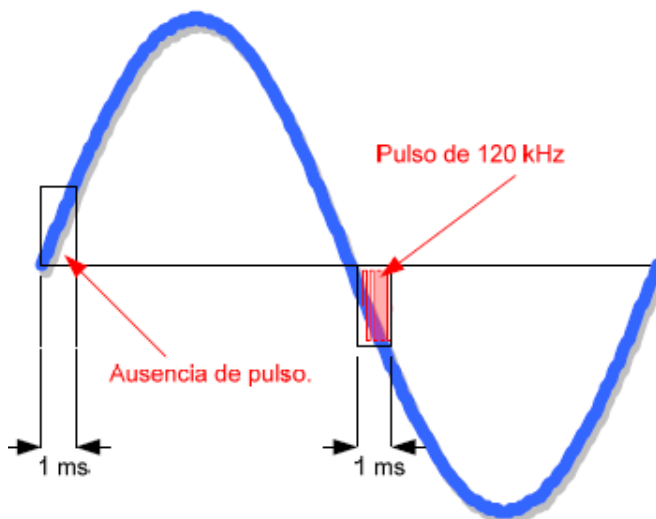


Figura 1.6 Diagrama de envío de un Bit 0

Con el fin de poder detectar errores producidos por ruido en la red eléctrica, el sistema replica invertida la señal en el siguiente paso por cero, de este modo puede observarse que para enviar un “1”, en el primer semiperiodo se envía el “1” y en el siguientes semiperiodo un “0”. Además de permanecer durante 1 ms el tono de 120 kHz, este tono se repite hasta tres veces por semiperiodo para provocar que coincidan con el paso por cero de las otras tres fases.

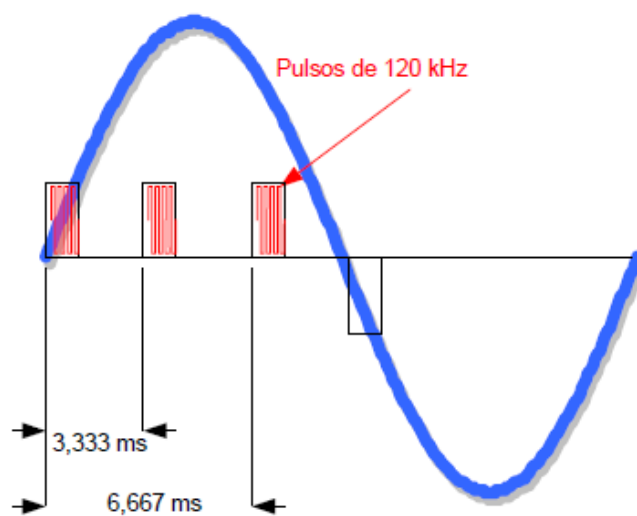


Figura 1.7 Diagrama de detección de errores

1.2 ESTRUCTURA DE UN MENSAJE EN PROTOCOLO X-10.

CODIGO DE INICIO: Para proporcionar un punto de comienzo predecible, cada estructura de datos empieza siempre con al menos seis cruces por cero sin pulsos. Después se transmite un código de inicio constituido por tres pulsos y ausencia de pulso; todos ellos sin balancear ('1110'), balancear se refiere a cuando en un semiciclo se realiza una acción y en el siguiente semiciclo se realiza el inverso, trabajando durante 1 ciclo, y sin balancear corresponde a trabar solo durante los semiciclos.

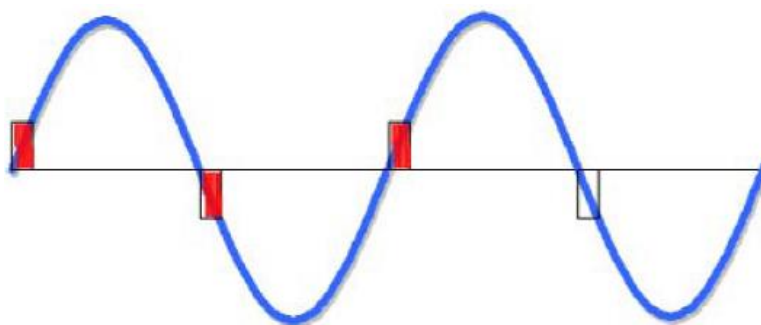


Figura 1.8 Diagrama de envío del código de inicio "1110"

CODIGO DE CASA: Una vez enviado el código de inicio se transmite el primer grupo de cuatro bits, a estos cuatro bits se les asocia un código de letras, llamado códigos de casa, esta asignación no sigue el código binario, se asocian de forma aleatoria en base a una tabla de equivalencias. Los códigos de casa se envían balanceados de modo que cada bit se envía en un periodo completo de la onda senoidal (20ms), en el primer periodo va el bit y en el segundo la inversa de ese bit.

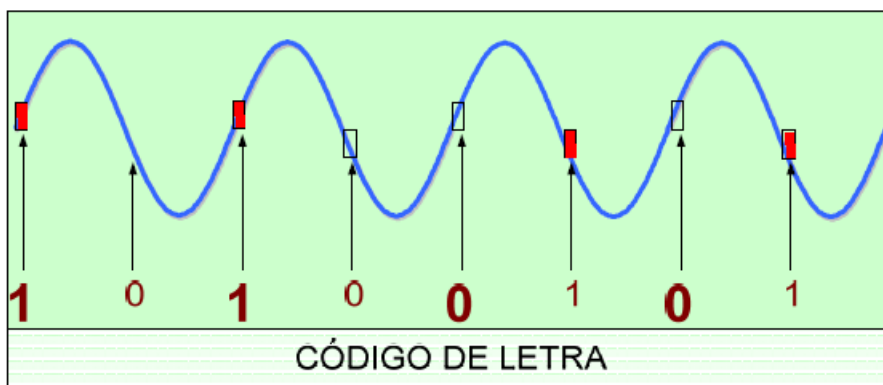


Figura 1.9 Diagrama de envío del código de letra P=1100

CODIGO DE FUNCION: El segundo grupo de cuatro bits proporciona la segunda mitad de la dirección, y corresponde a los códigos de instrucción o acciones a realizar en el sistema, por ejemplo la activación de un módulo especificado, activar todos los módulos, apagar todos los módulos etc. El último bit aparenta ser una parte del código de número, pero en realidad es un bit funcional.



Figura 1.10 Diagrama de envío del código de función 2=11100

Por razones de redundancia, exactitud y para acomodar repetidores de línea, se transmite cada estructura de datos dos veces, y siempre que los datos o instrucciones cambien, las estructuras de datos deben estar separadas por al menos seis cruces por cero sin pulsos, de este modo la secuencia de seis ceros resetea los registros de desplazamiento. Finalmente la estructura de transmisión de datos por medio de la tecnología x10 es la siguiente, la cual es transmitida dos veces.

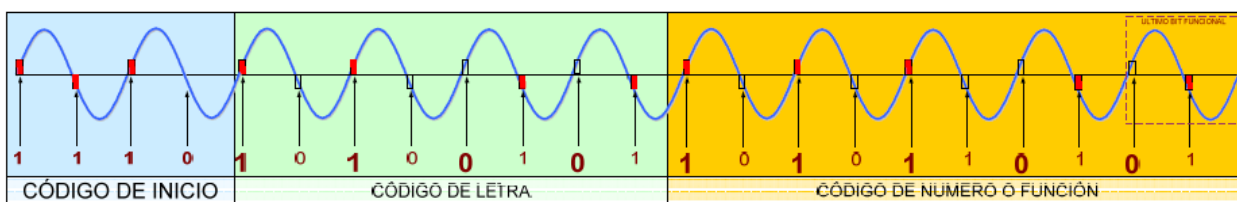


Figura 1.11 Diagrama la estructura de un mensaje X-10.

1.3 SISTEMA DE TRANSMISION PLC “POWER LINE COMMUNICATIONS”

Esta tecnología permite transmitir voz, datos o servicios de banda ancha hacia cualquier punto donde llegue la red eléctrica, no siendo necesario crear una nueva red para ser usada en el mundo de las comunicaciones. La señal utilizada para transmitir datos a través de la red eléctrica suele ser de 1,6 a 30 MHz, y corresponde a una portadora modulada en frecuencia o en amplitud, donde además emplea la tecnología *OFDM*, correspondiente a la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.

Actualmente en Concepción, Chile la empresa VTR ofrece servicios en base a equipos con tecnología PLC, pero su uso actual se encuentra enfocado a complementar las redes de cable e inalámbricas, lo que ofrece la empresa es la instalación de un MODEM convencional en un lugar central del domicilio, con conexión LAN hacia un equipo PLC, el cual transmite sus servicios de Internet a toda la red eléctrica existente en el domicilio. De este modo la empresa permite extender la red de forma sencilla y sin cables, encontrando inclusive dispositivos que permiten extender la red de wi-fi, hacia zonas donde la red inalámbrica pierde potencia debido a paredes u obstáculos.

Sin embargo la empresa asume que esta solución está sujeta a un estudio de factibilidad técnica, ya que la instalación eléctrica presente en el domicilio se debe encontrar en óptimas condiciones, además ambos equipos PLC deben estar conectados al mismo circuito eléctrico y administrados por el mismo tablero, así como además advierte que el equipo debe ser conectado directamente al enchufe y no por intermedio de alargadores o extensiones eléctricas múltiples, condiciones en las que simplemente el sistema no opera.

1.4 TÉCNICA DE TRANSMISIÓN EMPLEADA POR LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS.

La transmisión de datos por medio de la red eléctrica emplea la modulación en base a OFDM, o Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales [13] la cual es una Multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la que a su vez es modulada en QAM (Modulación de amplitud en cuadratura) o en PSK (Modulación por desplazamiento de fase).

OFDM es una técnica compleja de modulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones con condiciones “no ideales”, en ella se modula la información en múltiples frecuencias portadoras ortogonales donde cada una esta modulada en amplitud y fase. Esta modulación es la técnica usada en sistemas PLC por su gran tolerancia al ruido, permite manejar de mejor forma los cambios de impedancia de la red y las reflexiones ocasionadas por las múltiples trayectorias para la señal, otra de sus grandes ventajas es que posee la habilidad para usar o dejar de usar cualquier canal o frecuencia, evitando de esta forma interferencias y a su vez cumplir con las normas regulatorias del espectro.

A continuación se presentan algunos sistemas que utilizan la modulación OFDM para su operación.

- Las normas de televisión digital terrestre
- La radio digital
- El protocolo de enlace DSL
- El protocolo de red Wireless LAN
- El sistema de transmisión inalámbrica de datos WiMAX
- El sistema Power Line Communications (PLC)
- Telefonía móvil 4G LTE

La Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), consiste en dividir el espectro en varios canales de información separados en el mismo circuito de comunicación sin interferirse entre sí, en base a esto, FDM consiste en separar un espectro de frecuencia en varios canales diferentes con anchos de banda más pequeños, con espacio de guarda suficiente entre ellos para no interferirse.

La técnica OFDM, es un esquema de modulación digital en el cual se realiza la división del espectro disponible en varios subcanales, al igual que FDM, pero en vez de dejar espacio de guarda entre subportadoras, en OFDM se encuentran cercanas y ortogonales entre sí, haciendo que su ancho de banda se sobreponga.

Lo interesante de OFDM es que las señales portadoras individuales son ortogonales entre sí, y esto hace que las señales portadoras apenas pueden influir en los demás, por ortogonalidad se produce una superposición de los espectros de las distintas portadoras pero sin verse afectadas entre si.

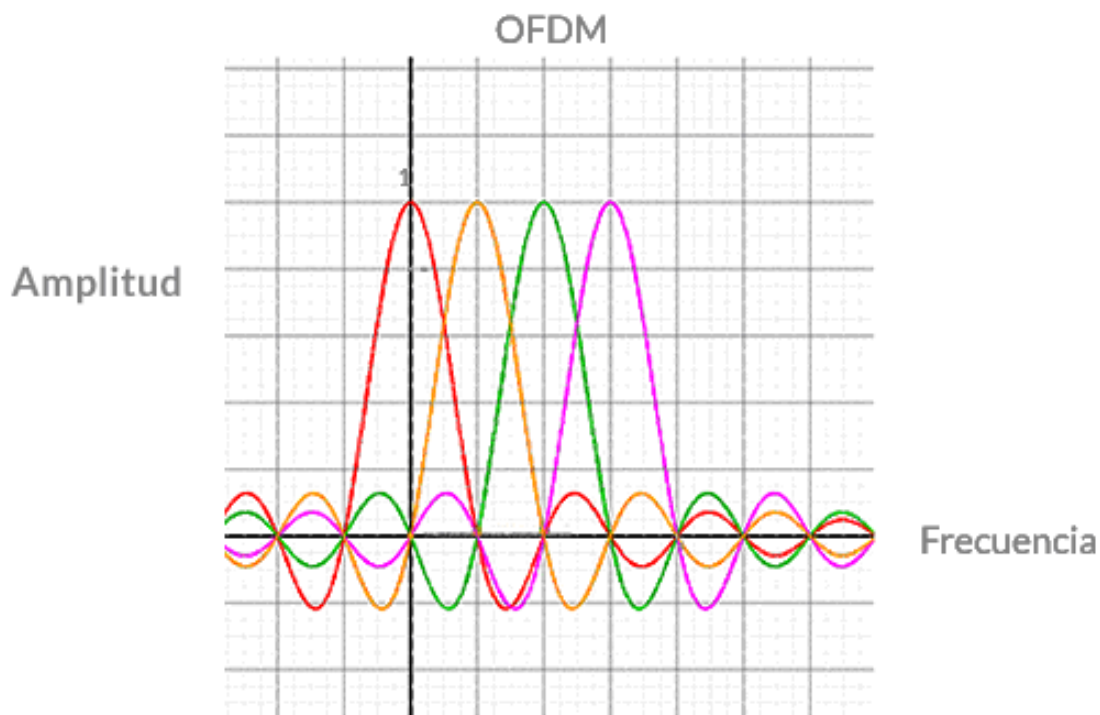


Figura 1.12 Portadoras ortogonales en OFDM

CAPITULO 2: ALTERACIONES PRESENTES EN LA RED ELÉCTRICA

2.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de la transmisión de señales de alta frecuencia por la red eléctrica es el hecho de ésta, no es un canal de transmisión apropiado debido a que posee una serie de perturbaciones o condiciones no deseadas, donde la principal es el ruido existente. A lo largo de este capítulo se definen algunos disturbios de la red, principalmente el ruido y las fuentes que lo generan. Para entender como se pueden hacer mediciones referentes al ruido, se presenta de forma muy sencilla las principales características de los distintos tipos de ruido, y la forma gráfica de como realizar su caracterización al realizar las mediciones en terreno.

2.2 DISTUBIOS DE LA RED ELECTRICA

Los disturbios en la red eléctrica son alteraciones en el suministro que no deberían existir, sin embargo en las redes reales esto ocurre. Estas alteraciones en la red eléctricas son provocadas principalmente por los equipos que son conectados a ella y fallas en la red de distribución, a continuación se presentan los disturbios más comunes en las líneas de distribución de energía:

- **Peak de Voltaje:** Es un incremento en el nivel de voltaje con una duración de microsegundos. Es causada principalmente por fallas en la red eléctrica, descargas atmosféricas y switcheo de grandes cargas.

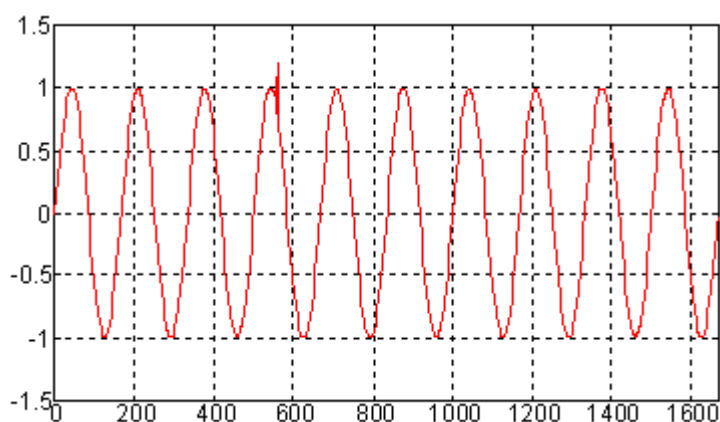


Figura 2.1 Peak de voltaje en la red eléctrica

• **Depresión de Voltaje:** Es un decremento de varios ciclos de duración en el nivel de voltaje. Es provocada por la conexión de grandes cargas y fallas en la red.

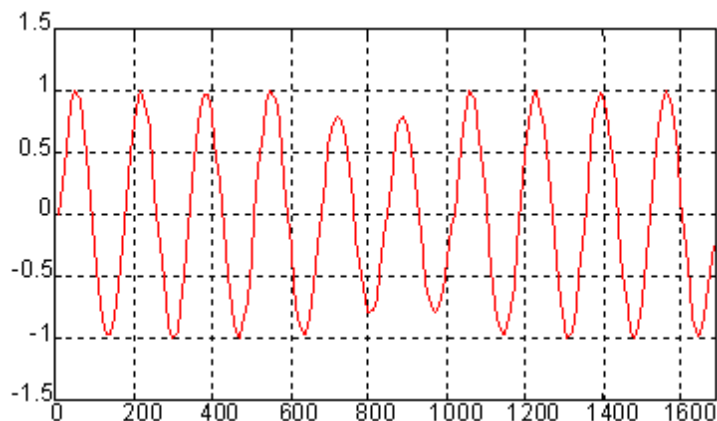


Figura 2.2 Depresión de voltaje en la red eléctrica

• **Dilatación de Voltaje:** Es un incremento del voltaje de varios ciclos de duración, ocasionado por la desconexión de grandes cargas.

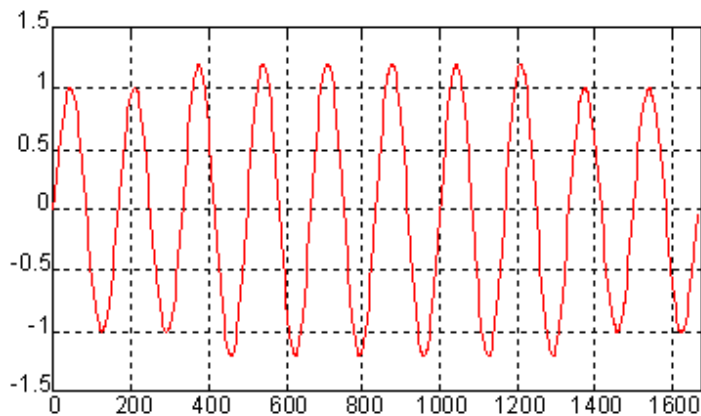


Figura 2.3 Dilatación de voltaje en la red eléctrica

- **Sobrevoltaje:** Es una condición de voltaje elevado por arriba del valor nominal del mismo. Es causado por una pobre regulación de voltaje.

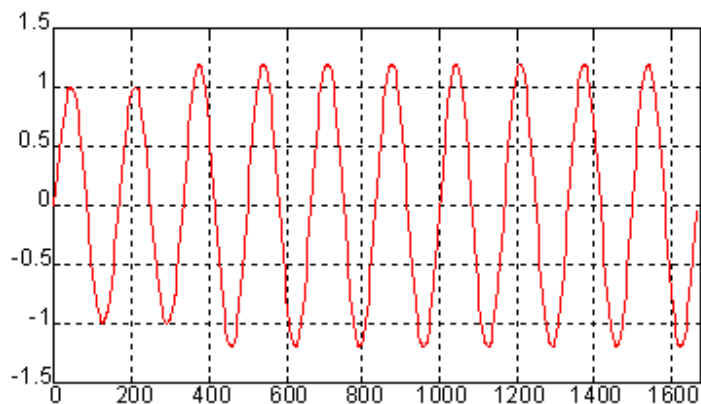


Figura 2.4 Sobre voltaje en la red eléctrica

- **Parpadeo:** Corresponde a fluctuaciones en el nivel de voltaje nominal y se suelen producir por la conexión de cargas cíclicas como hornos eléctricos o por oscilaciones sub. Armónicas.

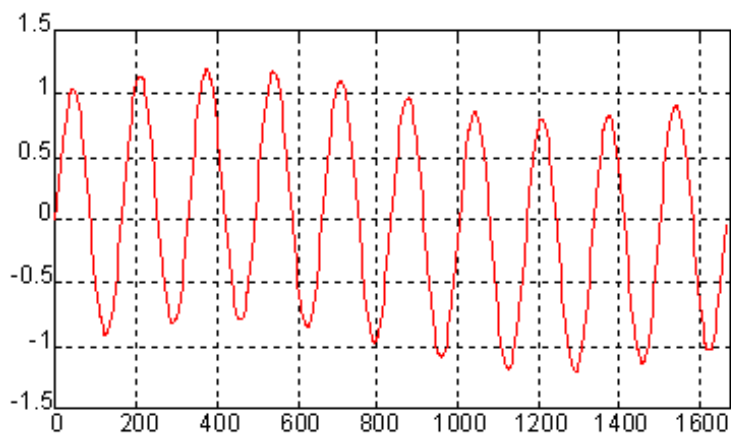


Figura 2.5 Parpadeo de voltaje en la red eléctrica

• **Interrupciones de energía:** Es la pérdida total de potencia. Se considera interrupción cuando el voltaje ha decrecido a un 15% del valor nominal o menos, se debe a apertura de líneas, daño de transformadores, operación de fusibles etc.

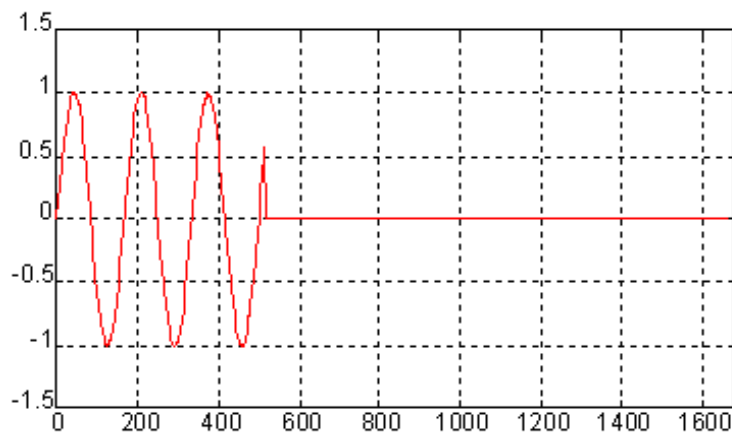


Figura 2.6 Interrupciones de energía en la red eléctrica

• **Distorsión Armónica:** Es la distorsión periódica de la forma de onda sinusoidal del voltaje o corriente. Generalmente es causada por la operación de equipos y cargas no lineales, este es un fenómeno en estado estable.

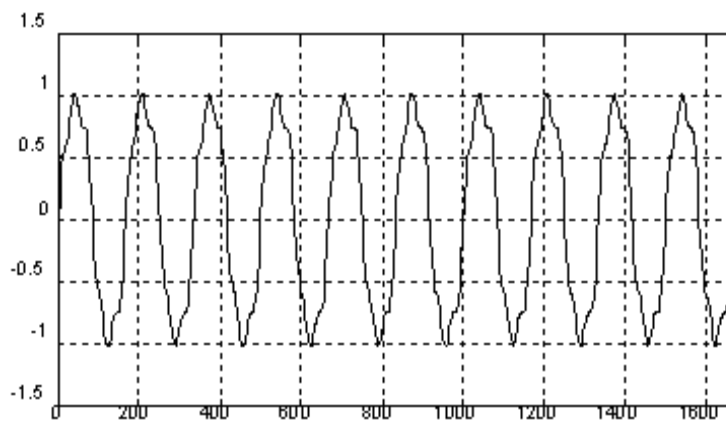


Figura 2.7 Distorsión armónica de la red eléctrica

- **Ruido Eléctrico:** Es la distorsión de la forma sinusoidal del voltaje, producto de switcheos, transmisores de radio y principio de funcionamiento propio de los equipos conectados a la red.

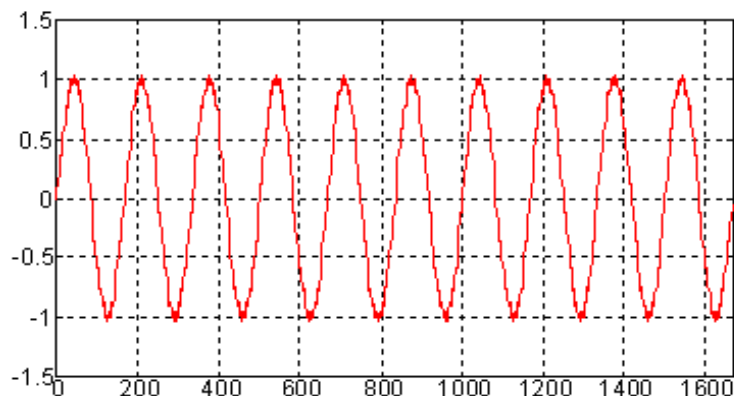


Figura 2.8 Ruido eléctrico presente en la red eléctrica

El ruido eléctrico presente en la red se clasifica de acuerdo a sus características en:

- **Ruido de fondo:** Consiste principalmente de la suma de numerosas fuentes de ruido de baja potencia, se encuentra de forma permanente en la red y es de bajo valor.

- **Ruido periódico – asíncrono con la frecuencia de la red:** Son impulsos individuales ocasionados por eventos aleatorios de encendido y apagado, cuya frecuencia no tiene relación con la frecuencia de la red.

- **Ruido periódico – síncrono con la frecuencia de la red:** Ruido periódico sincronizado con las frecuencias principales de 50-60Hz o múltiplos de ella.

- **Ruido impulsivo:** Ruido aleatorio de gran amplitud, que presenta peak con duraciones en el rango de microsegundos a unos milisegundos.

2.3 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS.

Para poder trabajar sobre las características de un canal ruidoso, es necesario primero saber que es el ruido y los tipos de ruido más comunes que puedan presentarse. Se denomina ruido eléctrico o interferencias a todas aquellas señales, de origen eléctrico, no deseadas y que están presentes en la red eléctrica, produciendo efectos perjudiciales y que alejan la posibilidad de utilizar la red eléctrica como canal para la transmisión de señales o como canal de comunicación.

El ruido presente en las líneas eléctricas domiciliarias o comerciales provienen de fuentes electrónicas, electromecánicas e inducidas conectadas a las mismas líneas de poder y las características del ruido pueden ser dependientes tanto del tiempo como de la frecuencia, así como también depender de la ubicación del transmisor y del receptor en la infraestructura de la línea eléctrica. El canal se puede describir como aleatoriamente variante en el tiempo y el rango de frecuencias de interés para transmisión de señales de control se encuentra por sobre los 20 Khz, donde el ruido es principalmente de tipo impulsivo.

Dentro de las fuentes de ruido destacan los reductores de luz o dimmers y los aparatos que utilizan triac, generadores de frecuencia, motores en mal estado, fuentes conmutadas, juntas corroídas del cableado en la red, además algunas fuentes pueden generar ruido de banda ancha, tal como los motores eléctricos que se encuentran en licuadoras, taladros, extractores de aire entre otros. En cuanto a las perturbaciones más perjudiciales de la señal de 220v/50hz, éstas son causadas principalmente por bruscas variaciones de intensidad en el proceso de conexión y desconexión de los equipos de mayor consumo presentes en la red.

Las líneas de transmisión eléctrica constituyen un ambiente poco favorable para la transmisión de señales de alta frecuencia, por ello es imprescindible un estudio del ruido presente en las líneas eléctricas domiciliarias o comerciales en base a mediciones y a través de ellas identificar los parámetros que caracterizan de mejor manera el comportamiento de este nuevo canal de transmisión y lograr tomar decisiones respecto a diseños.

El estudio del ruido no se puede dar por alto, esto debido a que si la cantidad de las señales que interfieren son demasiado grandes, con respecto a la señal atenuada y a la señal distorsionada, los receptores tendrán dificultades para detectar la frecuencia de la señal de control que es enviada, esto genera que no exista una confiabilidad suficiente, generando que el mando a distancia deje de funcionar durante intervalos de tiempo, debido al ruido presente en el instante específico.

A continuación se describen los 4 tipos de ruidos que se pueden presentar dentro de una red eléctrica [1]:

1) Ruido de fondo: Exhibe una amplitud o niveles de voltaje bajos, variando con la frecuencia y consiste principalmente de la suma de numerosas fuentes de ruido de baja potencia. La amplitud promedio observada varía lentamente en el tiempo en términos de minutos a horas, se produce principalmente por motores presentes en cualquier tipo de herramienta o equipo, donde su uso causa corrientes de conmutación que dependen de la velocidad del motor.

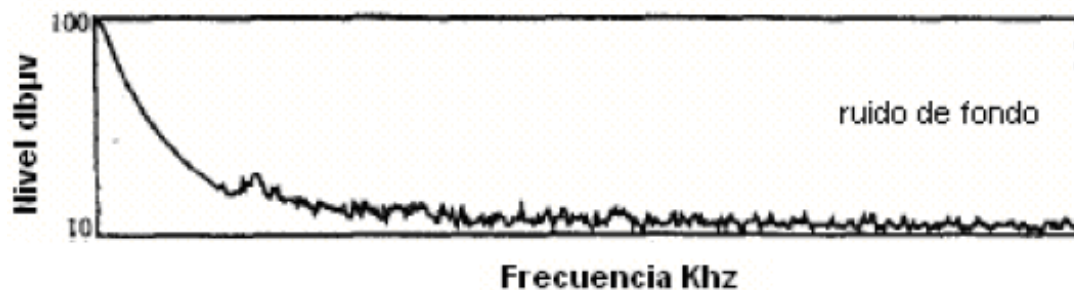


Figura 2.9 Características del Ruido de fondo.

2) Ruido periódico, asíncrono con la frecuencia de la red: Es un ruido imprevisto de gran magnitud cuya duración es periódica y cuya frecuencia es distinta a la frecuencia de la red o a los múltiplos de ella, la fuente más común de este tipo de ruido son las pantallas que usan el principio de los tubos de rayos catódicos, puesto que produce tonos en múltiplos de la frecuencia de barrido horizontal.

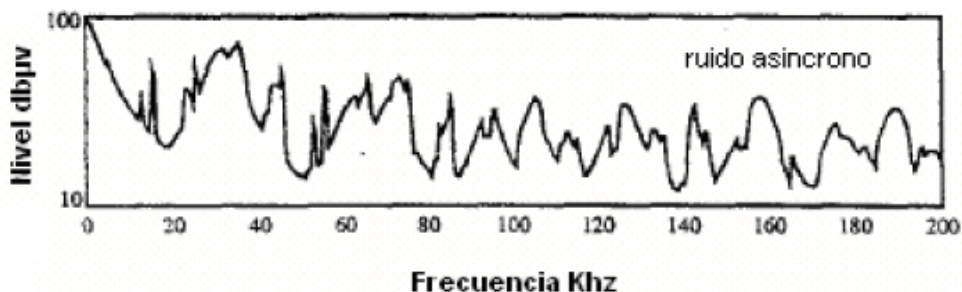


Figura 2.10 Características del Ruido asíncrono

3) Ruido periódico sincronizado con la frecuencia de la red: Este es el ruido provocado por dispositivos de conmutación, tales como los rectificadores controlados de silicio y algunas fuentes de alimentación. Un SCR cambia de estado cuando el voltaje atraviesa un determinado valor, dado que el voltaje es cíclico, el SCR cambia cada 50 Hz o un múltiplo de 50 Hz, esto hace que este ruido sea síncrono con la red eléctrica.

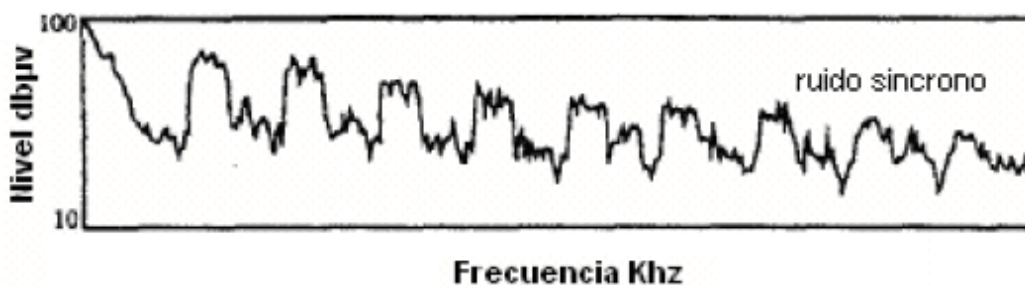


Figura 2.11 Características del Ruido síncrono

4) Ruido impulsivo: Esta clase de impulsos de ruido es causado por transientes en la red y equipos de conmutación, presenta duraciones en el rango de microsegundos a unos milisegundos, ocurriendo en forma aleatoria.

El ruido impulsivo es un tipo de ruido que se presenta imprevisto, con gran magnitud que dura un intervalo de tiempo muy pequeño y que se distribuye por igual para todas las frecuencias. Este tipo de ruido se caracteriza como una forma de pulso al azar cuya amplitud es mucho más alta que el ruido del fondo, los principales responsables de la generación de esta clase de ruido son dispositivos externos conectados a la línea de poder como: motores eléctricos, rectificadores de silicio controlado.

En general la tasa de ocurrencia de impulsos es bastante alta, pero el porcentaje de tiempo total en que se sucede algún evento impulsivo es del orden del 1 % debido a las duraciones del orden de los microsegundos.

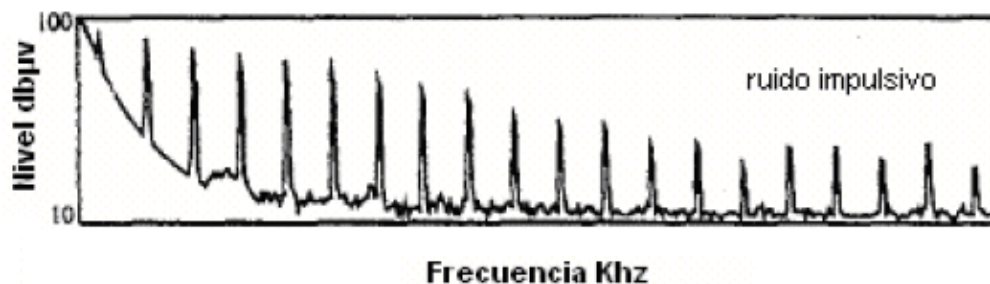


Figura 2.12 Características del Ruido impulsivo

Para distinguir o diferenciar el ruido de fondo del ruido impulsivo se considera que la amplitud del ruido impulsivo debe ser diez veces mayor que la amplitud del ruido de fondo. Es importante destacar que en el rango de frecuencias de interés, el ruido es principalmente dominado por ruido impulsivo.

En base a lo observado las redes eléctricas analizadas, predomina el ruido de fondo y el ruido impulsivo, en cuanto al ruido de fondo solo es posible caracterizarlo en base a su amplitud máxima que alcanza, en cambio el ruido impulsivo se puede caracterizar en base a sus niveles y además en base a su comportamiento temporal.

El ruido impulsivo se puede caracterizar con los siguientes parámetros:

- Duración del impulso (D.I.).
- Duración de la ráfaga del ruido impulsivo (D.R.I.).
- Intervalo entre 2 ráfagas de ruido impulsivo (I.R.I.) o tasa de repetición (T.R.).
- Amplitud del impulso (A.I.).
- Amplitud impulso positivo ($A.I+$) y Amplitud impulso negativo ($A.I-$)

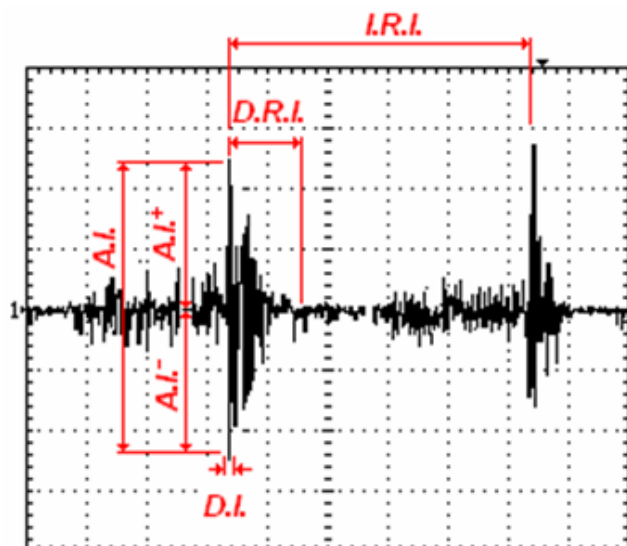


Figura 2.13 Comportamiento del ruido impulsivo

2.4 FUENTES DE RUIDO PRESENTES EN LA RED ELECTRICA.

En base a [2], se puede considerar como fuentes de ruido en la red eléctrica todo el equipo electrónico y eléctrico conectado a ella, ya sean electrodomésticos, iluminación, herramientas, motores etc. El ruido producido se debe a la recepción de señales no deseadas provenientes de fuentes comunes, tales como contactos defectuosos, dispositivos eléctricos compuestos por motores, alumbrado fluorescente, televisores, fuentes conmutadas presentes en computadores portátiles etc. Este tipo de ruido, idealmente se podría evitar si se identifica y elimina la fuente que lo produce, entre ellas destacan:

Barrido de pantallas de TV: Las elevadas intensidades que se manejan en la etapa de barrido horizontal de los televisores y pantallas de computadores, especialmente en los equipos de pantalla plana y cuello corto, junto con el uso de una onda en diente de sierra y a la longitud de las conexiones internas, hace que esos circuitos sean unos potenciales emisores de señales de alta frecuencia, las que se propagan por conducción sobre las líneas de suministro de energía.

Fuentes conmutadas: Por razones de eficiencia eléctrica, peso y coste, todos los ordenadores personales y los televisores construidos en los últimos diez años alimentan los distintos circuitos haciendo uso de fuentes conmutadas. Estas fuentes se basan en la interrupción de una tensión continua obtenida a expensas de rectificación de la red, generando a su vez un elevado contenido armónico. Los armónicos de esa señal de conmutación pueden propagarse a la red y alcanzar niveles importantes si el sistema de filtro pasa bajos de red (que obligatoriamente deben equipar todos los ordenadores y televisores) no es lo bastante eficaz.

Circuitos de control “recortadores”: Numerosos dispositivos alimentados con corriente alterna como motores, calefactores y lámparas de incandescencia regulan su potencia mediante circuitos de control que “recortan” la onda senoidal de la red, de forma que la energía se aplica sólo durante una parte del ciclo. Ese corte brusco de la energía produce armónicos hasta frecuencias muy elevadas, las que si no son filtradas eficazmente, circulan por los cables de la instalación eléctrica.

CAPITULO 3: SET UP, PROCEDIMIENTOS E INTERFAZ DE ACOPLO PARA LA MEDICION DEL RUIDO PRESENTE EN LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS.

3.1 INTRODUCCIÓN

Para poder estudiar las instalaciones eléctricas domiciliarias o comerciales y caracterizar su uso como medio de transmisión de señales se deben realizar mediciones a modo de obtener el comportamiento de la red tanto en el dominio del tiempo, como en el dominio de la frecuencia.

Para ello se debe medir el ruido presente en las líneas de baja tensión, utilizando un osciloscopio y analizador de espectros, estos instrumentos básicamente se clasifican en analógicos y digitales eligiéndose este último tipo principalmente por su menor tamaño, por la comodidad de almacenamiento vía USB y fácil manipulación de la información obtenida.

3.2 MÉTODO DE AISLACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA

Para poder utilizar los instrumentos de medición descritos anteriormente, primero que nada se debe aislar la red eléctrica de los 220 V, a esto se le denomina desacoplo físico de la red, ya que una mala medición podría resultar en daños a los equipos.

Uno de los componentes fundamentales de cualquier sistema de transmisión de señales por la red eléctrica, es el circuito de interfase o circuito de acople con la red, el cual es usado para inyectar una señal de alta frecuencia a la línea eléctrica, el acople actúa como un filtro pasa-altos, evitando la baja frecuencia y alto voltaje de la línea eléctrica (220 V y 50 Hz) y dejando pasar las altas frecuencias y bajos voltajes de los sistemas de transmisión.

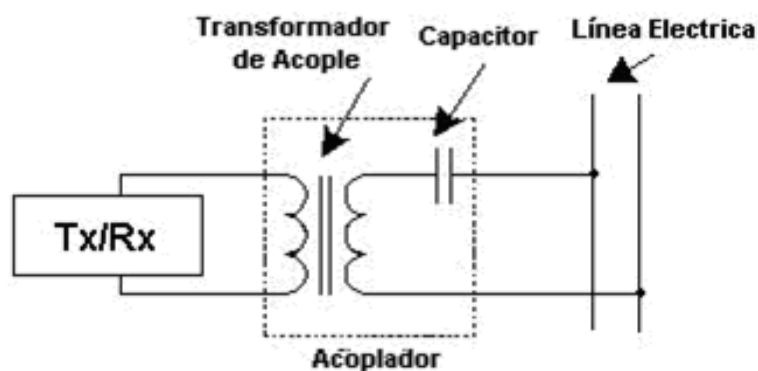


Figura 3.3 Circuito de acople de la red eléctrica

El circuito de acople debe proveer al transmisor y receptor el aislamiento galvánico necesario de la línea eléctrica, el cual se lo puede lograr a través de acoplamientos inductivos o capacitivos. El acoplamiento inductivo se caracteriza por tener un poco de pérdidas de algunos dB sin embargo evita una conexión física con la red eléctrica lo que lo hace más seguro y más fácil de instalar que los de tipo capacitivo y de acuerdo a algunos textos [7], este tipo de circuitos puede ser complementado con diodos de alta frecuencia como protección destinada a los dispositivos de recepción o medición.

3.2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLO PARA RED, APLICABLE A SISTEMAS DE DOMÓTICA CON BANDA DE 20 KHZ A 1 MHZ.

Para esta banda de frecuencia se emplea un transformador integrado del fabricante VAC, modelo T60403-K5024-X044. Las principales características del transformador se describen a continuación:

Modelo: T60403-K5024-X044

Relación de vueltas: 1:1

Inductancia: 1 mH

Rango de frecuencias: 10 Khz. a 1 Mhz.

Test HV: 5,5 KV de aislamiento.

Encapsulado: 8 pines/montaje superficial.

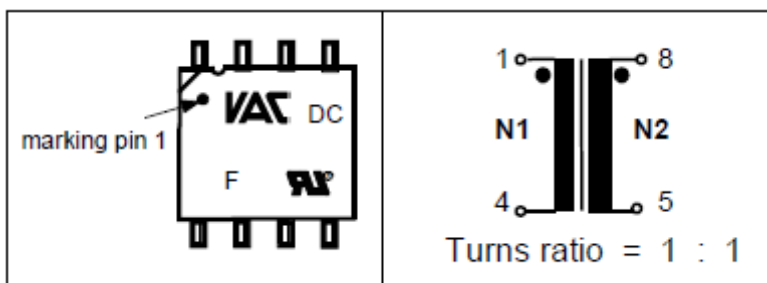


Figura 3.4 Detalles físicos VAC T60403-K5024-X044

Un circuito de acople típico usando transformadores VAC de frecuencias desde 10 Khz s 1Mhz, emplea un capacitor de alto voltaje para filtrar la forma de onda de la señal eléctrica de alta potencia y su valor depende de la inductancia del transformador de acople, en este caso 1mH y de la frecuencia de corte elegida.

De este modo se consigue que el acople pueda dejar pasar señales sobre 10 Khz. bloqueando la señal eléctrica a 50 Hz, asegurando un desacople físico de la red y protegiendo los instrumentos de medida que se van a utilizar. Cabe destacar que este circuito es aplicable solo a sistemas de hasta 1 Mhz, ya que es la frecuencia límite de operación recomendada por el fabricante.

La siguiente imagen corresponde al circuito de acoplo diseñado, donde la línea segmentada en el transformador hace referencia a que posee un núcleo de ferrita.

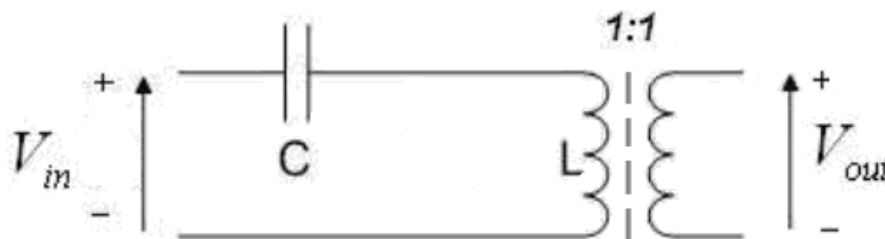


Figura 3.5 Circuito de aislación de la red eléctrica

Debido a que se desea trabajar con frecuencias del orden de los KHz. y atenuar la señal de 220v de la red con frecuencia de 50 Hz y sus principales armónicos, se fija la frecuencia de corte del circuito en 16khz, donde de acuerdo a los valores comerciales de condensadores se logra obtener la frecuencia de corte deseada, de acuerdo a los siguientes cálculos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{1m \cdot 0,1\mu}}$$

$$f_c = 16 \text{ KHz}$$

En base a los cálculos realizados, al emplear el transformador VAC de 1mH y un condensador de poliéster de 0,1 uF se obtiene una frecuencia de corte de 16 KHz., la cual corresponde a la frecuencia de corte deseada, considerando los valores de componentes disponibles comercialmente.

De acuerdo a lo anterior, la respuesta en frecuencia teórica del filtro LC es la siguiente:

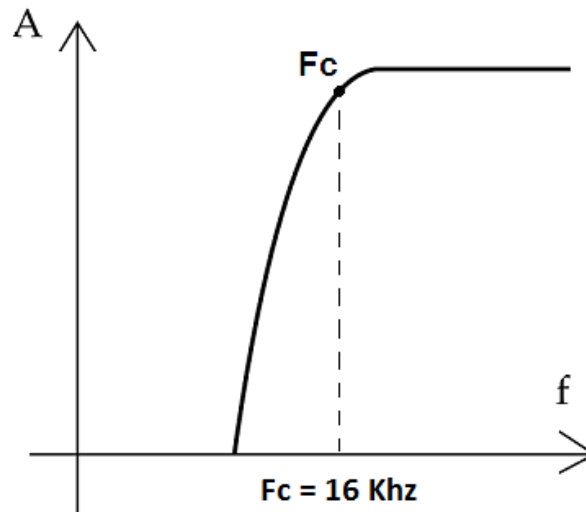


Figura 3.6 Respuesta en frecuencia teórica del circuito de aislamiento

Adicionalmente, al diseño del filtro LC se decide agregar un fusible de protección, este fusible protege el circuito de una corriente mayor a 250mA, minimizando los posibles daños a los equipos en caso de falla o una mala medición, en el anexo se adjunta la hojas de características técnicas del transformador VAC T60403-K5024-X044 empleado.

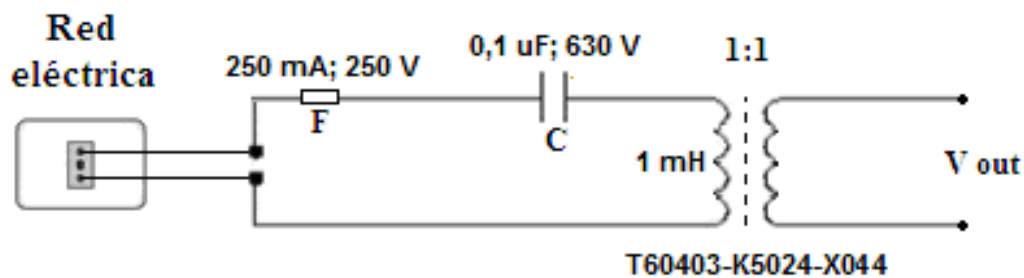


Figura 3.7 Circuito de acoplo diseñado

Finalmente el circuito anterior permite realizar la medición de ruido electrónico y además transmisión de señales de control dentro de un rango de frecuencias entre 16KHz y 1Mhz, rango de frecuencias destinado a la transmisión de señales por medio de la red eléctrica para aplicaciones de domótica.

3.2.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLLO PARA RED, APLICABLE A SISTEMAS PLC 1MHZ A 30MHZ.

Para esta banda se emplea un transformador integrado de mayor frecuencia del fabricante VAC, modelo T60403-K5024-X023. Las principales características del transformador PLC VAC se describen a continuación:

Modelo: T60403-K5026-X023

Relación de vueltas: 1:1

Inductancia: 30 uH

Rango de frecuencias: 1 a 30 Mhz.

Test HV: 3 KV

Encapsulado: 16 pines/montaje superficial.

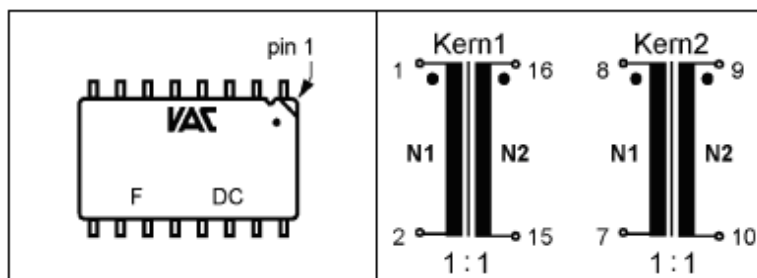


Figura 3.8 Detalles físicos VAC T60403-K5026-X023

Al diseñar un circuito de acople bidireccional de alta frecuencia se debe emplear un transformador distinto al modelo VAC T60403-K5024-X044, debido a que éste a sido diseñado para transiciones de señales solo hasta 1Mhz y con valores mayores a esta frecuencia el propio transformador produce atenuación de las señales que son transmitidas, resultando en mediciones y transmisiones poco confiables. Producto de esto el acople típico para aplicaciones de PLC con frecuencias por sobre 1Mhz debe emplear un transformador del modelo T60403-K5026-X023, el cual nos permitirá realizar estudios hasta 30 Mhz y obtener comparaciones entre las condiciones de trabajo en aplicaciones de domótica (3 KHz - 148,5 KHz) y aplicaciones de PLC (4 Mhz – 86 Mhz) evaluando los niveles de ruido presente en cada caso y la calidad de las transmisiones realizadas.

La siguiente imagen corresponde al circuito de acoplo diseñado:

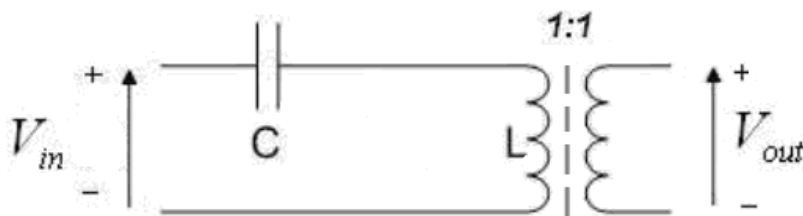


Figura 3.9 Circuito de aislación de la red eléctrica

Para evaluar sistemas PLC, se debe trabajar con frecuencias de entre 1 a 30 Mhz, evitando que el circuito de acople atenúe frecuencias dentro de este rango y solo lo haga a la señal de potencia de 220v/50 Hz , para lograr esto se fija la frecuencia de corte en 500khz, y producto de los valores comerciales de condensadores se logra obtener una frecuencia de corte de 456 KHz, esto en base a los siguientes cálculos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{30\mu \cdot 3,9n}}$$

$$f_c = 465 \text{ KHz}$$

De acuerdo a lo anterior, al emplear un transformador VAC de 30uH y un condensador de poliéster de 3.9 nF la respuesta en frecuencia teórica del filtro LC pasa altos es la siguiente:

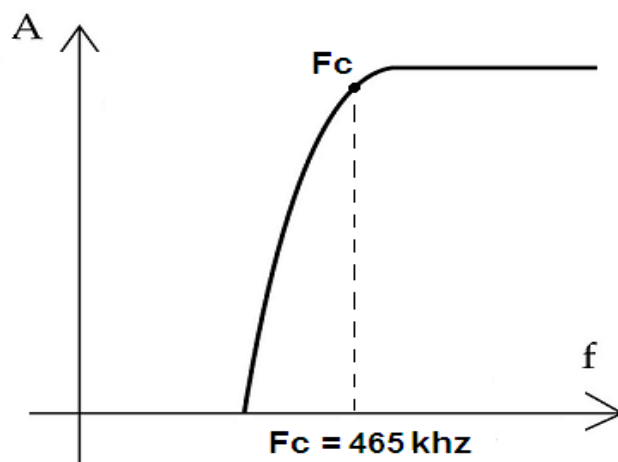


Figura 3.10 Respuesta en frecuencia teórica del circuito de aislación

Una vez diseñado el filtro de alta frecuencia se decide agregar un fusible, el cual protege el circuito de una corriente mayor a 250mA, minimizando los efectos sobre los equipos de medición en caso de falla, en el anexo se adjunta la hojas de características técnicas del transformador PLC modelo T60403-K5026-X023.

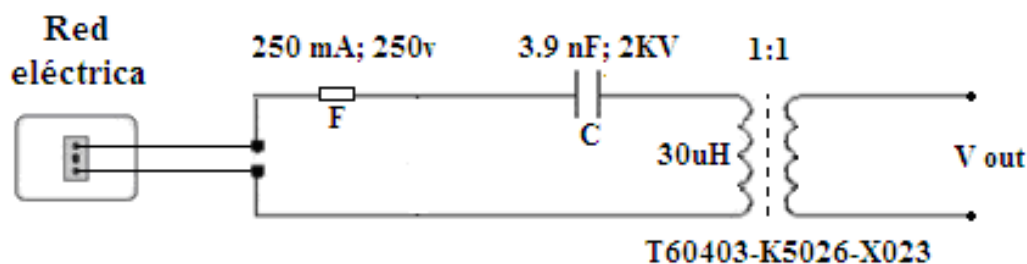


Figura 3.11 Respuesta en frecuencia del circuito de acoplo

Finalmente ambos circuitos de acoplo son construidos en placa de circuito impreso, donde su salida es entregada por medio de un cable BNC, de modo de conectar la interfaz de acoplo directamente a los equipos de medición, evitando la atenuación producidas al medir con 2 sondas.

Ambos circuitos son integrados en una carcasa de cargador comercial, de esta forma la entrada el acoplo es conectada a 220v y su salida a un cable BNC que facilita la conexión a equipos tales como osciloscopio, analizador de espectro y generador de funciones.



Figura 3.12 Forma física del circuito de acoplo diseñado.

3.2.3 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA CIRCUITOS DE ACOPLO DISEÑADOS.

Para comenzar con las pruebas es necesario caracterizar los acoplos que van a ser utilizados ya que estos son indispensables para separar los sistemas de medición de la red eléctrica de 220 v y la confiabilidad de las mediciones dependen en gran parte de la respuesta en frecuencia del circuito de acoplo, el cual no debe generar grandes atenuaciones en la frecuencia a trabajar.

Para comprobar el funcionamiento óptimo del circuito de acoplo construido, se utiliza el siguiente esquema y se realiza un barrido de frecuencias desde 10 hz hasta 1 Mhz en el caso del acoplo para aplicaciones de domótica y de 1Mhz a 25 Mhz en el caso de PLC. Cabe mencionar que el rango de frecuencia disponible para aplicaciones PLC es hasta 86Mhz, pero debido a limitaciones reales de los instrumentos, principalmente del generador de funciones se realizan estudios solo hasta 25 Mhz.

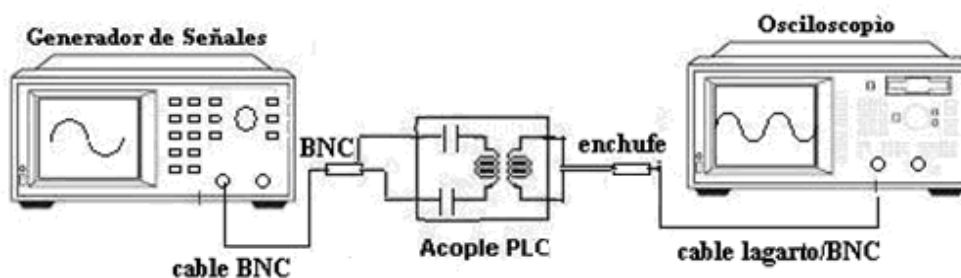


Figura 3.13 Esquema de conexión para pruebas del circuito de acoplo

Para afirmar que los circuitos de acoplo poseen una buena respuesta y su diseño es correcto, ambos deben atenuar en al menos 50 db las frecuencias de 50 Hz de la red eléctrica, de este modo la tensión de 220v volts será atenuada hasta un nivel del orden de los mili volts, además deben permitir el paso de las señales de alta frecuencia en ambos sentidos dentro de los rangos de trabajo de cada circuito, esto permitirá realizar la transmisión de señales de control por medio de la red eléctrica, anexamente los acoplos no deben atenuar las frecuencias que se encuentren dentro del rango de operación de cada uno, de este modo es posible medir los niveles de ruido dentro del rango de trabajo con un nivel de confiabilidad alto.

Para evaluar el comportamiento de los acoples se deben realizar los siguientes pasos:

- I. Implementar el circuito en base al esquema de conexión para pruebas de circuito de acoplo.
- II. Configurar y conectar el generador de señales a la entrada del acople y proporcionar una señal de 10 VPP , onda senoidal.
- III. Configurar y conectar el osciloscopio a la salida del acople, escala 5V/div y ajustar el tiempo o time/div según la frecuencia ingresada.
- IV. Realizar un barrido de frecuencia entre 10 hz hasta 1 Mhz en el caso del acople de domótica y de 1Mhz a 25 Mhz en el caso del acople PLC, proporcionando las señales por medio del generador RIGOL.
- V. Registrar los valores de voltaje de la señal de entrada como salida del acople para cada valor de frecuencia y calcular la ganancia o atenuación.
- VI. Calcular la ganancia o atenuación en decibeles, para ello se Aplica la fórmula $G(\text{dB})=20 \times \log(G)$.
- VII. Con los valores obtenidos graficar en planilla EXCEL la respuesta del circuito.

Al realizar las mediciones se utilizó el osciloscopio RIGOL y sonda original, la cual permite realizar mediciones hasta 7Mhz en sonda x1 y hasta 150 Mhz en sonda x10, este punto es de gran importancia ya que debido a efectos propios de la sonda principalmente producto de la capacitancia de entrada, se producen atenuaciones de las señales de alta frecuencia al efectuar mediciones con la sonda x1, por ello se respetó el rango de frecuencias x1 o x10 al realizar las mediciones.

3.2.4 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL ACOPLO DISEÑADO PARA EMPLEAR EN SISTEMAS DE DOMÓTICA CON BANDA DE 20 KHZ A 1 MHZ.

De acuerdo a los procedimientos realizados se obtuvo la ganancia o atenuación del circuito de acoplo en decibeles, luego estos valores fueron llevados a EXCEL para visualizar la respuesta en frecuencia obtenidaza cual se presenta en el siguiente gráfico:

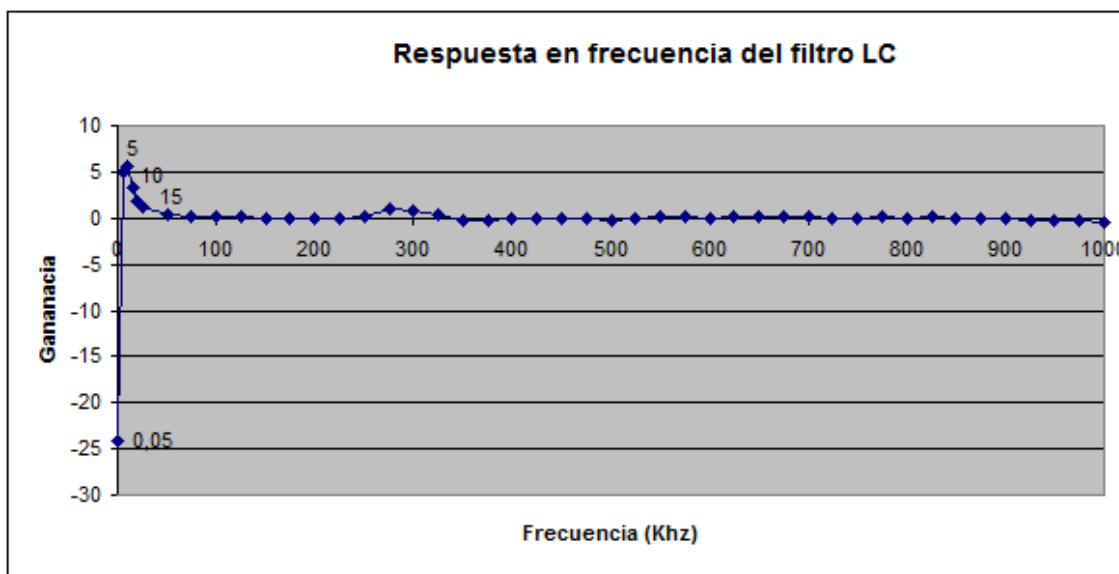


Figura 3.14 Respuesta en frecuencia del circuito de acoplo para aplicaciones de domótica

En la gráfica obtenida se observa que el circuito de acoplo logra el funcionamiento como filtro pasa altos deseado, atenuando en 53 dB la frecuencia de 50 Hz de la red y generando una frecuencia de corte de 15 KHz., bastante aproximada al valor de diseño, permitiendo el paso de señales por sobre la frecuencia de corte con niveles de atenuación por debajo de 1,8 dB.

El circuito posee una respuesta prácticamente lineal entre 20 KHz. y 975 KHz., el cual es el rango de frecuencias en el que se desea trabajar, generando una atenuación máxima a los 150 KHz. de aproximadamente 1,58 dB. Se observa además un efecto de gran importancia al trabajar en 1 Mhz, ya que se genera una gran atenuación cercana a los 3,4 dB, esto producto que el transformador modelo T60403-K5024-X080 está diseñado para aplicaciones de 10 KHz. a 1 Mhz, corroborando la información proporcionada por el fabricante.

3.2.5 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL ACOPLO DISEÑADO PARA EMPLEAR EN SISTEMAS PLC CON BANDA DE 1MHZ A 30MHZ.

De acuerdo a los procedimientos establecidos en el punto 3.3.3, se obtuvo la ganancia del circuito de acoplo en decibels, luego estos valores fueron llevados a EXCEL para graficar los valores obtenidos. La respuesta en frecuencia del circuito de acoplo en base a mediciones realizadas se presenta en el siguiente gráfico:

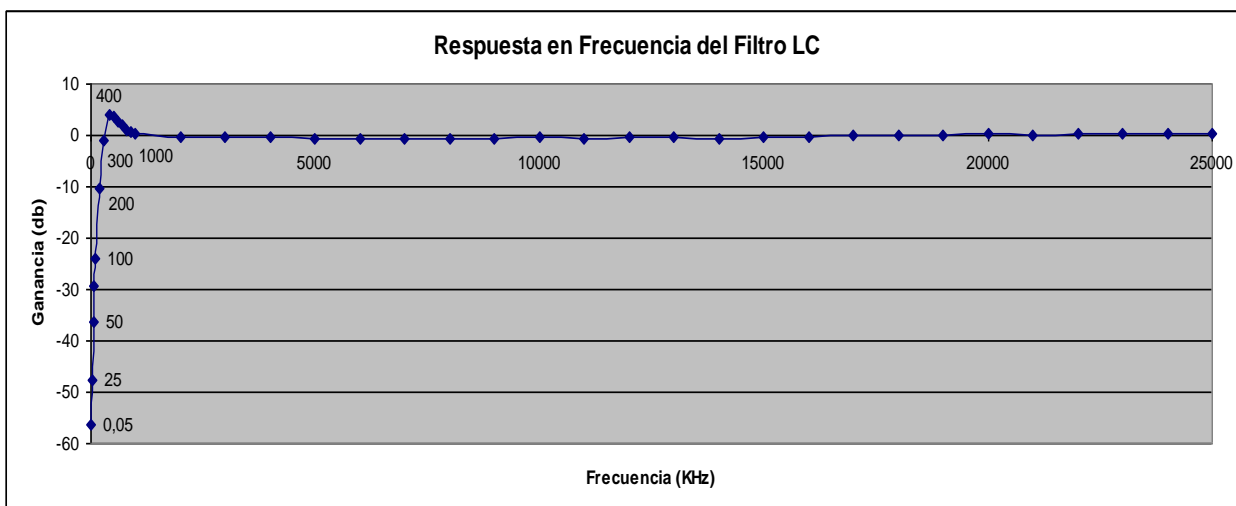


Figura 3.15 Respuesta en frecuencia del circuito de acoplo para aplicaciones PLC.

En la gráfica obtenida por medio del barrido de frecuencia se observa que el circuito de acoplo logra el funcionamiento como filtro pasa altos deseado, atenuando en 56 dB la frecuencia de 50 hz de la red y generando una frecuencia de corte de 400 KHz. bastante aproximada a la frecuencia de corte para el cual el circuito fue diseñado.

Además el circuito posee una respuesta prácticamente lineal entre 1Mhz y 30 Mhz, el cual es el rango de frecuencias en el que se desea trabajar, generando una atenuación máxima a los 9 Mhz de aproximadamente 1 dB. Producto de las limitaciones presentadas por el generador de funciones, solo se logró estudiar el comportamiento del circuito de acoplo hasta los 25 Mhz.

3.3 SET UP DE MEDICIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LA RED

Una vez comprobado el correcto diseño y respuesta de los circuitos de acoplo se procede a realizar por medio de ellos la medición de los niveles de ruido presentes en la red eléctrica para cada espectro de frecuencia en estudio.

- I. Conectar el circuito de acoplo diseñado a la red eléctrica a analizar.
- II. Conectar la salida del circuito de acoplo con terminal BNC al osciloscopio RIGOL DS1052E, para estudiar el comportamiento del ruido en el dominio de tiempo.

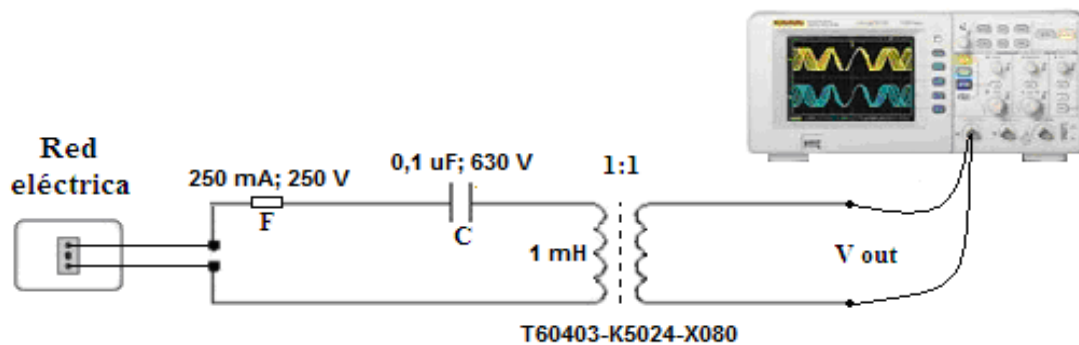


Figura 3.16 Esquema de medición con osciloscopio

- III. Configurar el osciloscopio, acoplo AC, escala 0.5 V/div y ajustar el tiempo o time/div según el ruido observado (no aplicar auto set).
- IV. Realizar la medición de ruido de la red por medio de ambos filtros, para ello se congela la medición presionando STOP, luego por medio de la opción CURSOR, se miden los parámetros del ruido, tales como
 - Duración del impulso (D.I.).
 - Duración de la ráfaga del ruido impulsivo (D.R.I.).
 - Intervalo entre 2 ráfagas de ruido impulsivo (I.R.I.) o tasa de repetición (T.R.).
 - Amplitud del impulso (A.I.).
 - Amplitud impulso positivo (A.I.□)
 - Amplitud impulso negativo (A.I.)

- V. Repetir las mediciones durante intervalos de 30 minutos durante un día en condiciones normales, para lograr elegir las mediciones que caractericen de mejor forma los niveles de ruido, con sus respectivos horarios, voltajes, frecuencias y fuentes probables.
- VI. Desconectar la salida del circuito de acoplo del osciloscopio RIGOL DS1052E, correspondiente al cable con terminal BNC y conectarlo al ANALIZADOR DE ESPECTRO HAMEG HMS1010, para analizar el comportamiento del ruido en el dominio de la frecuencia.

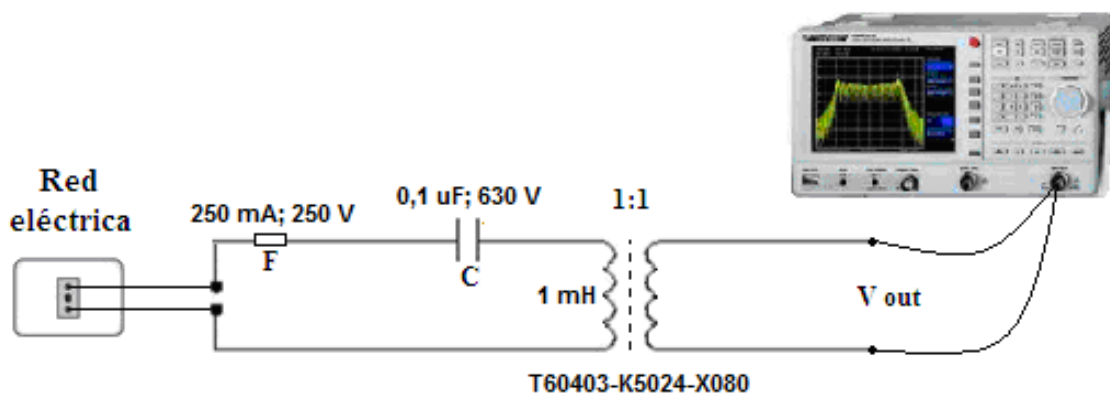


Figura 3.17 Esquema de medición con analizador de espectro

- VII. Configurar el ANALIZADOR DE ESPECTRO HAMEG HMS1010, nivel de referencia 0dBm, atenuación de 10dB, escala 10 dB/div logarítmica, frecuencia de inicio 100Khz, frecuencia fin 1 Mhz y con un frecuencia media de 500 Khz.
- VIII. Realizar la medición del comportamiento del ruido en frecuencia para ambos rangos o aplicaciones, para ello al observar el espectro del ruido se congela la medición presionando STOP, luego por medio de la opción CURSOR, se miden la amplitud del ruido máximo, la frecuencia en la cual se encuentra y en qué rango de frecuencia de concentra la mayor cantidad de ruido.
- IX. Finalmente se realiza un análisis de los resultados obtenidos en ambos rangos de frecuencia, se realizan comparaciones de los niveles y posteriormente se obtienen conclusiones o recomendaciones respecto del rango de frecuencia en estudio.

CAPITULO 4: MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO DEL RUIDO PRESENTE EN LA RED ELECTRICA.

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las mediciones del ruido presente en oficinas del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío Bío, en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Las mediciones son efectuadas en base a los procedimientos establecidos en el punto 3.4 “SET UP DE MEDICIÓN DEL RUIDO PRESENTE EN LA RED” y son realizadas durante un periodo de 12 horas, con un intervalo de 30 minutos entre ellas. Adicionalmente en base a las mediciones obtenidas se muestra las señales que representan los niveles de ruido con características de bajo y alto, durante un día común de actividades dentro del recinto universitario.

4.2 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

MEDICIONES DE RUIDO EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ.

La siguiente imagen corresponde al ruido medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 13:00 horas.**

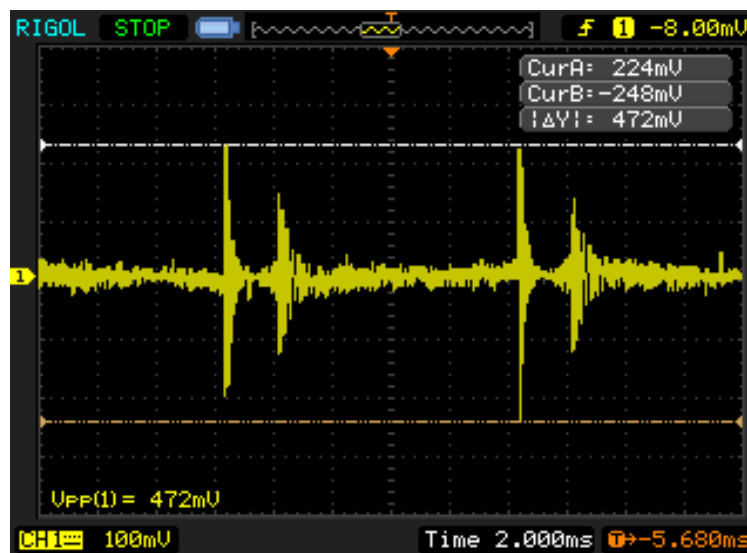


Figura 4.1 Ruido característico de nivel bajo

La figura anterior muestran claramente un ruido de fondo, cuya amplitud es cercana a 50mV y un ruido impulsivo cuya amplitud total (A.I.) varía entre 436mV a 472 mV, la amplitud impulsiva positiva ($A.I.^+$) es de 228 mV, la amplitud impulsiva negativa ($A.I.^-$) varía entre 204 mV y 252 mV, la duración de la ráfaga de ruido impulsivo (D.R.I.) fluctúa entre 320 μ s y 440 μ s. Se observa que el ruido impulsivo tiene una tasa de repetición de 10 ms, generando de esta forma una serie de pulsos con una tendencia a generar una frecuencia de 100 hz.

De acuerdo al comportamiento observado el ruido impulsivo medido no representa un gran problema para la implementación de un sistema de control en base a frecuencia, ya que estos sistemas operan desde los 100 KHz.

La siguiente imagen corresponde al ruido medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 11:00 horas.**

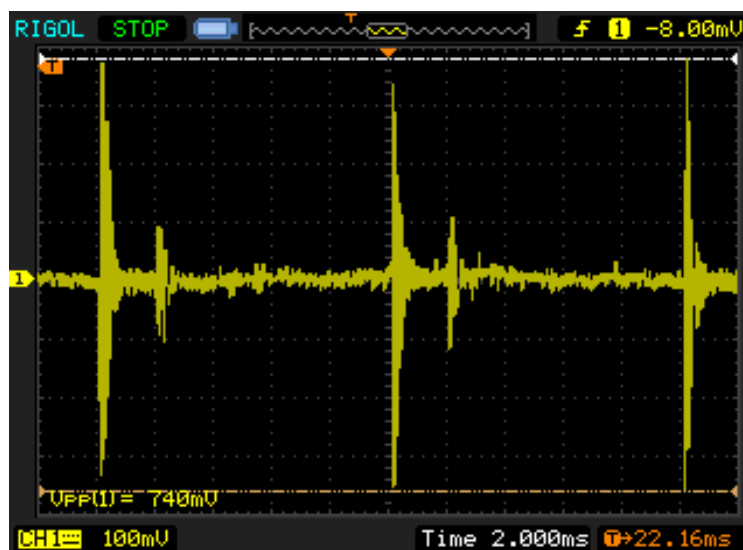


Figura 4.2 Ruido característico de nivel alto

La gráfica del ruido obtenida a las 11:00 no presenta grandes diferencias con la medición realizada a las 13:00, el tipo de ruido impulsivo que se observa es el mismo, con una tasa de repetición similar, sin embargo se produce una gran diferencia en cuanto a los niveles máximos que alcanza el ruido impulsivo, llegando en este caso a los 740mV, casi el doble del ruido caracterizado como bajo.

La amplitud del ruido de fondo medido es cercana a 44mV, se observa un ruido impulsivo cuya amplitud total (A.I.) varía entre 704mV a 696 mV, la amplitud impulsiva positiva ($A.I^+$) es de 368 mV, la amplitud impulsiva negativa ($A.I^-$) es de 356mv, la duración de la ráfaga de ruido impulsivo (D.R.I.) fluctúa entre 800 μ s y 480 μ s. Se observa que el ruido impulsivo mantiene siempre una tasa de repetición de 10 ms, este punto es de gran importancia, ya que los dispositivos más simples como el LM567 empleado para mandos a distancia opera en base a frecuencia, de este modo si existiese ruido impulsivo con una frecuencia del orden de los Khz. sería perjudicial, debido a que al usar esta frecuencia o múltiplos de ella se genera interferencia, pudiendo activar o desactivar el control en momentos no deseados.

MEDICIONES DE RUIDO EN EL RANGO DE 1MHZ A 30MHZ

La siguiente imagen corresponde al ruido medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día. **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 18:00 horas.**

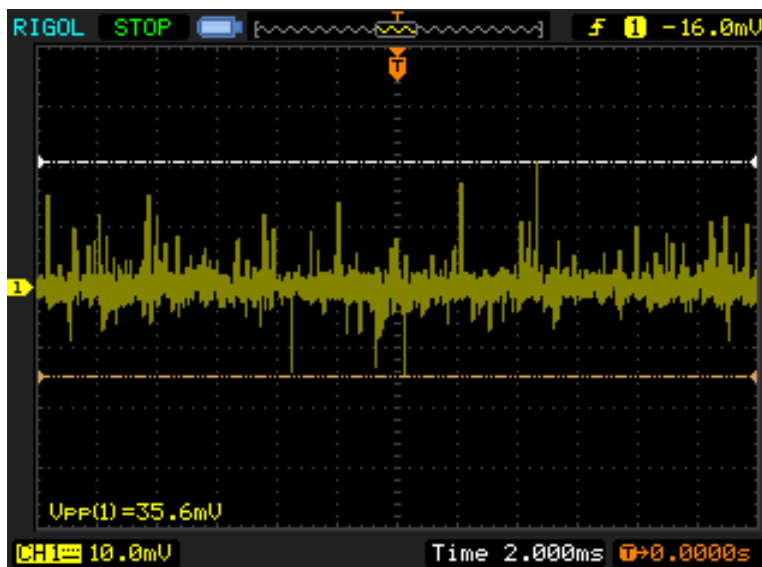


Figura 4.3 Ruido característico de nivel bajo

La figura anterior muestran claramente un ruido de fondo, cuya amplitud es cercana a 4,4 mV y un ruido impulsivo cuya amplitud total (A.I.) posee grandes variaciones, de entre 16mv hasta 35 mV, la amplitud impulsiva positiva ($A.I^+$) oscila entre 12 mV y 15 mV, observándose además Peak de hasta 18mV, la amplitud impulsiva negativa ($A.I^-$) varía entre 7mV y 14mV, la duración de la ráfaga de ruido impulsivo (D.R.I) fluctúa entre 80 μ s y 40 μ s.

Se observa que el ruido dentro de este rango de frecuencias se vuelve complejo de caracterizar, debido a que su comportamiento es altamente variable en el tiempo, el ruido impulsivo no posee valores constantes de voltaje o valores promedios, igualmente el ruido impulsivo no tiene una tasa de repetición constante, sin embargo se logra observar que destaca una tasa de repetición de 240 ms, generando de esta forma una serie de pulsos con una tendencia a generar una frecuencia de 4,17khz.

La siguiente imagen corresponde al ruido medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 14:00 horas**

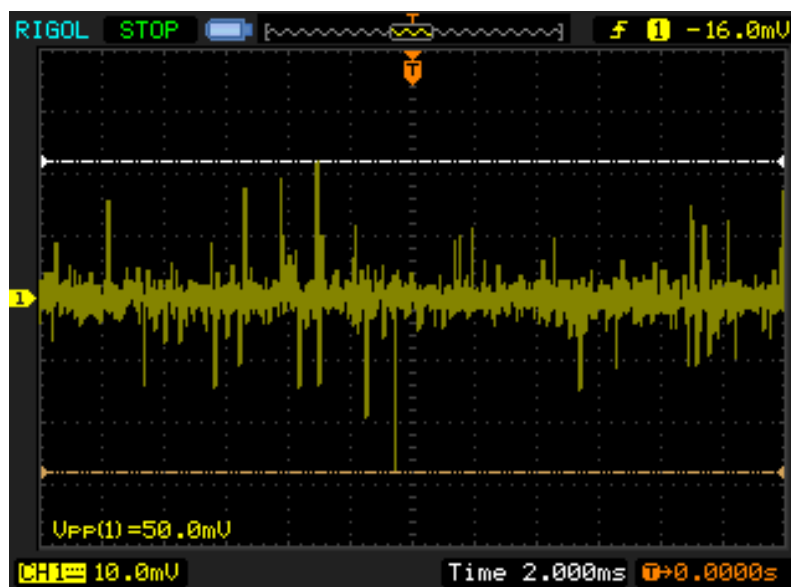


Figura 4.4 Ruido característico de nivel alto

La figura anterior muestran claramente un ruido de fondo, cuya amplitud es cercana a 6mV y un ruido impulsivo cuya amplitud total (A.I.) varía entre 36 mV y 50 mV, la amplitud impulsiva positiva ($A.I^+$) oscila entre 15 mV y 22 mV, la amplitud impulsiva negativa ($A.I^-$) varía entre 14 mV y 19 mV, observándose peak de hasta 28mV, la duración de la ráfaga de ruido impulsivo (D.R.I.) fluctúa entre 80 μ s y 40 μ s. Se observa que el ruido impulsivo tiene una tasa de repetición de 1,08 ms, generando de esta forma una serie de pulsos con una frecuencia de 926 hz, y en algunos puntos de 160 us, generando una frecuencia de 6,25 KHz.

Se observa que los niveles de ruido presentes dentro del rango de 1 Mhz a 30Mhz, son mucho menores que los obtenidos por debajo de 1 Mhz, se observa un canal mucho menos ruidoso, con niveles de tan solo 50mV o sea 0,05V lo que representa niveles muy por debajo de las tensiones usadas comúnmente para la transmisión de señales de control.

4.3 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

COMPORTAMIENTO EN FRECUENCIA DEL RUIDO EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ.

El siguiente comportamiento en frecuencia corresponde al ruido caracterizado como “RUIDO DE NIVEL BAJO”, medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 13:00 horas.**

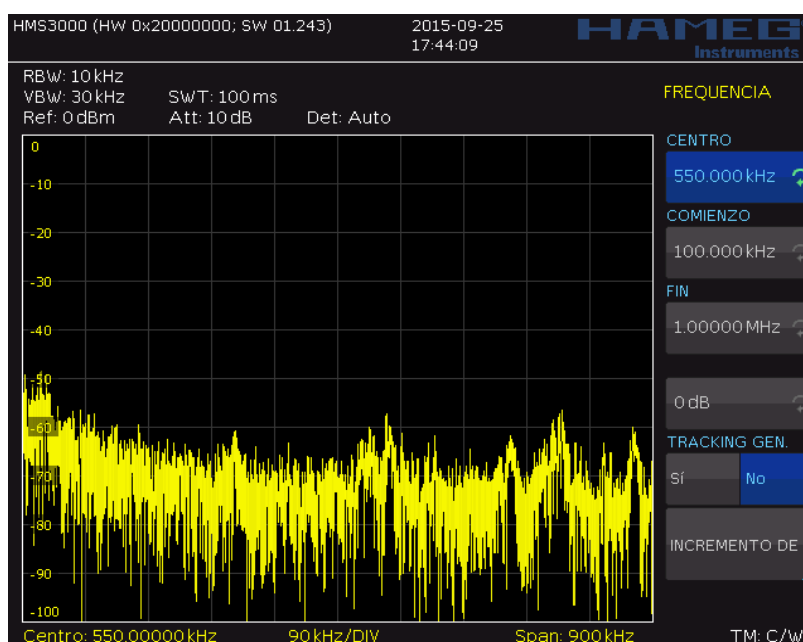


Figura 4.5 Comportamiento en frecuencia del Ruido de nivel bajo

En la figura anterior se observa que el ruido medido posee un comportamiento en magnitud decreciente con el aumento de la frecuencia, se aprecia además que la mayor amplitud del ruido se encuentra en los 600 KHz y 865 KHz, alcanzando una amplitud cercana a -58 dBm, en cuanto a los niveles más bajos de ruido estos se concentran en frecuencias entre 415 KHz y 550 kHz, frecuencias entre las cuales es conveniente trabajar, debido a que existe una menor posibilidad de interferencia. Cabe destacar que entre 415 KHz y 550 KHz se encuentra la menor cantidad de ruido, sin embargo esto no representa el comportamiento permanente de la red eléctrica o medio de transmisión, debido a que el comportamiento del ruido cambia conforme se conectan o desconectan distintas cargas.

El siguiente comportamiento en frecuencia corresponde al ruido caracterizado como “RUIDO DE NIVEL ALTO”, medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 11:00 horas.**

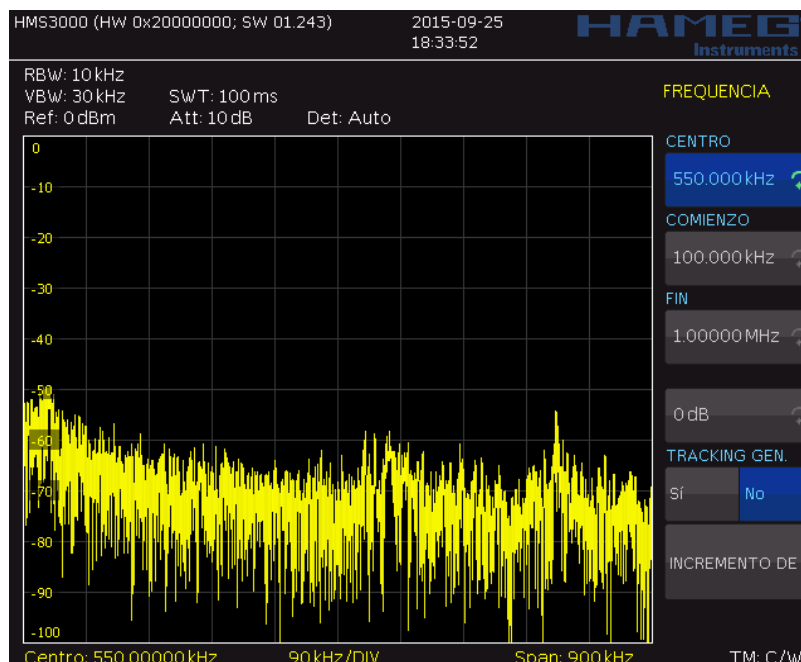


Figura 4.6 Comportamiento en frecuencia del Ruido de nivel alto

En la figura anterior se observa que el ruido medido presenta los niveles más altos a los 850 KHz., alcanzando un valor de -54dbm, su comportamiento ya no es decreciente conforme aumenta la frecuencia, ya que los mayores valores de amplitud del ruido se encuentran en los 110 KHz., luego a los 600KHz y finalmente a los 865 KHz.

En cuanto a los niveles más bajos de ruido estos se concentran en frecuencias por sobre los 870 KHz., lo cual lleva a comprobar que para el rango de frecuencias por sobre 1 Mhz los niveles de ruido son mucho menores, por lo tanto el canal de transmisión es más adecuado.

COMPORTAMIENTO EN FRECUENCIA DEL RUIDO EN EL RANGO DE 1MHZ A 30MHZ

El siguiente comportamiento en frecuencia corresponde al ruido caracterizado como “RUIDO DE NIVEL BAJO”, medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 18:00 horas**.

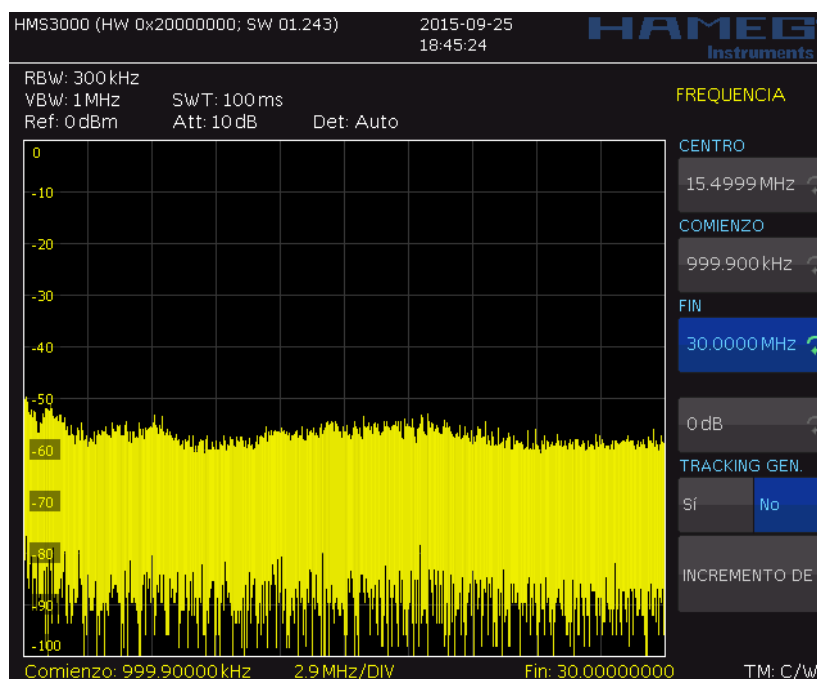


Figura 4.7 Comportamiento en frecuencia del Ruido de nivel bajo

En la figura anterior se observa que el ruido presente el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 18:00 horas** posee un comportamiento prácticamente uniforme dentro de todo el rango de frecuencias, excepto para frecuencias bajas cercanas a 1 Mhz, que es donde se presentan los mayores niveles del ruido.

Se obtiene que para todo el espectro de frecuencias la amplitud del ruido se mantiene constante en niveles entre 55dbm y 65dbm, no observándose peak altos o sobresalientes, respecto de estos niveles.

El siguiente comportamiento en frecuencia corresponde al ruido caracterizado como “RUIDO DE NIVEL ALTO”, medido desde la red eléctrica presente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 14:00 horas**.

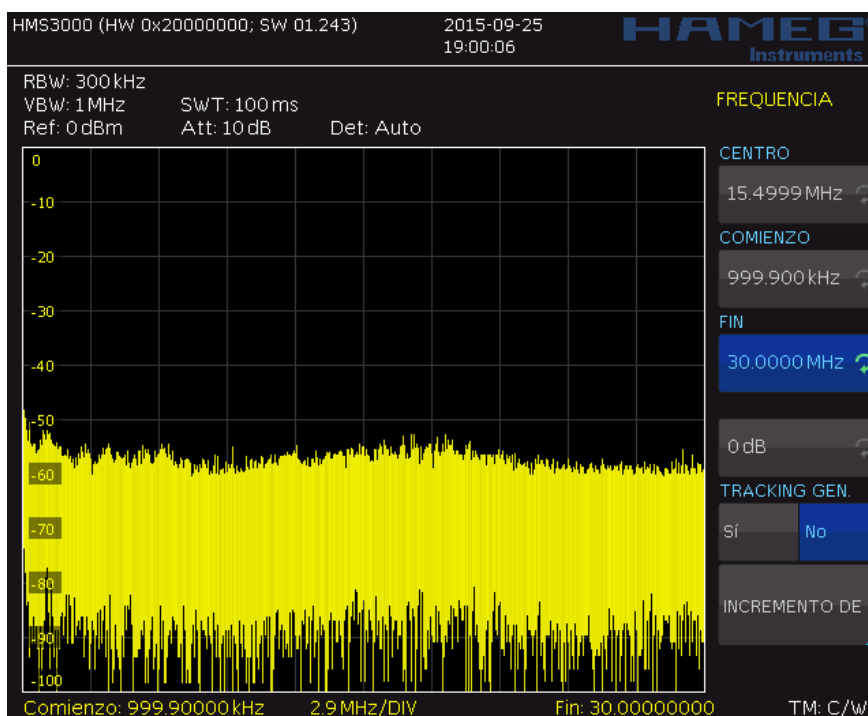


Figura 4.8 Comportamiento en frecuencia del Ruido de nivel alto

Al igual que en el caso del ruido medido el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 18:00 horas**, el ruido medido a las **14:00** posee un comportamiento prácticamente uniforme dentro de todo el rango de frecuencias, ecepto para frecuencias bajas cercanas a 1 Mhz, que es donde se presentan los mayores niveles del ruido.

Se obtiene que para todo el espectro de frecuencias la amplitud del ruido se mantiene constante en niveles entre 55dbm y 65dbm, no observándose peak altos o sobresalientes, respecto de estos niveles.

4.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ Y LOS NIVELES MEDIDOS EN EL RANGO DE 1MHZ A 30 Mhz.

La siguiente medición corresponde al ruido electrónico medido en rangos distintos, empleando 1 circuito de acoplo para cada caso, pero de forma simultanea empleando 2 canales de osciloscopio y utilizando el mismo punto de la red eléctrica. Estas mediciones fueron realizadas en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Bío-Bío, el día **VIERNES 25 DE SEPTIEMBRE DE 2015 A LAS 15:00 horas.**

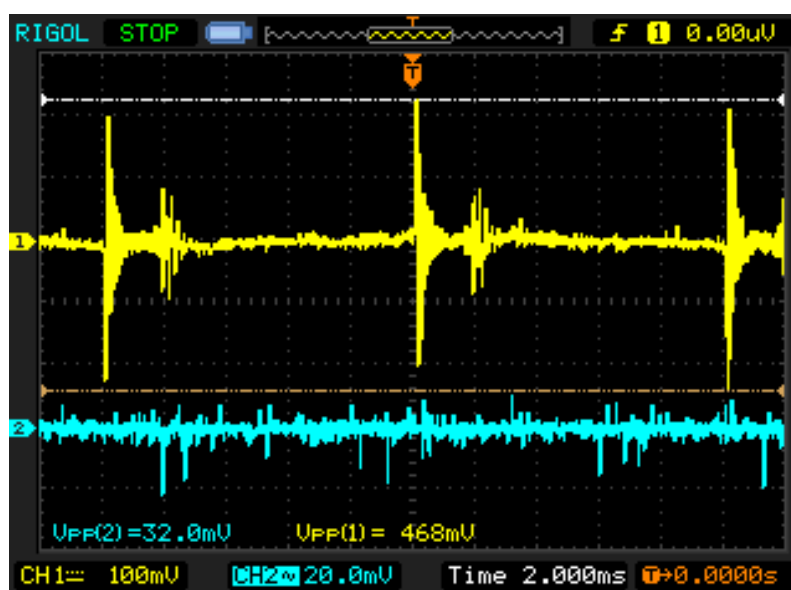


Figura 4.9 Comparación entre ambos niveles de ruido

En la imagen anterior en color amarillo se presenta el ruido medido empleando un acoplo para el rango de 20Khz a 1Mhz, en la parte inferior en color celeste se encuentra el ruido medido empleando un acoplo para frecuencias desde 1 Mhz a 30 Mhz. En la base a la medición realizada se observa claramente que el ruido bajo 1 Mhz es mucho mayor obteniendo ruido electrónico con niveles de 468mV, mientras que el ruido en el rango por sobre 1 Mhz tan solo alcanza 32mV, produciéndose una gran diferencia no observada por trabajos realizados anteriormente en la universidad. De este modo y en base a las mediciones de los niveles de ruido es oportuno afirmar que el rango de trabajo más confiable para la transmisión de señales por medio de la red eléctrica se encuentra por sobre 1 Mhz y hasta 30 Mhz, considerando las limitaciones de los equipos, ya que a mayor frecuencia los equipos elevan sus costos.

4.5 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL TRANCURSO DE UN DÍA ACADÉMICO CON ACTIVIDADES NORMALES EN EL RANGO DE 20KHZ A 1MHZ

A continuación se muestran los valores promedio de los parámetros de ruido en la línea eléctrica de baja tensión durante el transcurso de un día, considerando actividades académicas normales y empleando un circuito de acoplo con rango de 20Khz a 1 Mhz.

Tabla N°1 Comportamiento promedio del Ruido presente en la red en el rango de 20Khz a 1 Mhz.

Hora	Ruido impulsivo Duración Media de la ráfaga [us]	Ruido Impulsivo Amplitud Media [mV]	A.I. ⁺ Media [mV]	A.I. ⁻ Media [mV]	Ruido de Fondo Amplitud Media [mV]
7.30	240us	370mV	170mV	200mV	40mV
8.00	220us	412mV	213mV	199mV	40mV
8.30	300us	428mV	219mV	209mV	38mV
9.00	280us	500mV	247mV	253mV	44mV
9.30	300us	423 mV	213mV	210mV	42mV
10.00	220us	687mV	346mV	341mV	46mV
10.30	400us	722mV	369mV	353mV	43mV
11.00	640us	740mV	368mV	356mV	44mV
11.30	500us	700mV	348mV	352mV	48mV
12.00	540us	735mV	367mV	368mV	48mV
12.30	360us	564mV	284mV	280mV	52mV
13.00	228us	454mV	228mV	252mV	50mV
13.30	300us	478mV	240mV	238mV	48mV
14.00	320us	540mV	269mV	271mV	46mV
14.30	280us	520mV	262mV	258mV	42mV
15.00	500us	567mV	285mV	282mV	45mV
15.30	430us	600mV	302mV	298mV	51mV
16.00	390us	597mV	300mV	297mV	49mV
16.30	280us	587mV	290mV	297mV	49mV
17.00	240us	612mV	302mV	310mV	43mV
17.30	280us	610mV	307mV	303mV	44mV
18.00	265us	578mV	287mV	291mV	42mV
18.30	260us	550mV	279mV	271mV	42mV
19.00	270us	558mV	277mV	281mV	42mV
19.30	310us	589mV	290mV	299mV	46mV
20.00	240us	567mV	285mV	282mV	48mV

Los datos obtenidos de la tabla anterior son graficados, obteniendo la respuesta o amplitud del ruido impulsivo a lo largo del transcurso del día, considerando las mediciones de ruido dentro de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica en actividades académicas normales.

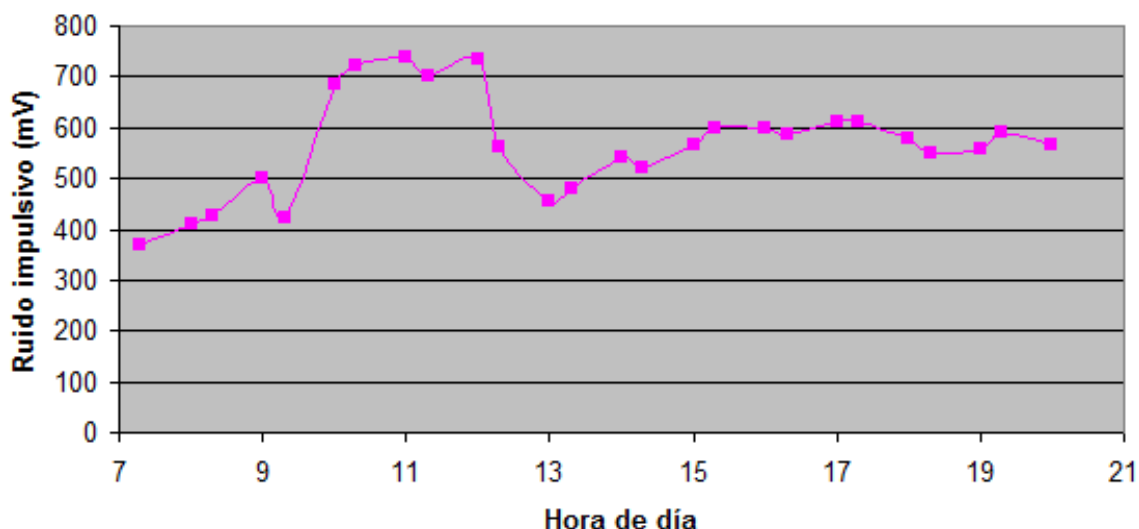


Figura 4.10 Comportamiento del ruido en el rango de 20Khz a 1 Mhz, durante una jornada de actividades académicas normales

En cuanto a la gráfica obtenida es correcto afirmar que los menores niveles de ruido se concentra desde las 7:30 de la mañana hasta las 9:30 de la mañana esto se debe a que dentro de ese horario es donde se encuentra la menor cantidad de usuarios en el edificio, por consecuencia se encuentran conectados la menor cantidad de cargas en la red eléctrica, las cuales son las fuentes de ruido habituales.

Posteriormente se observa que los mayores niveles de ruido se concentran desde las 9:30 de la mañana hasta las 13:00 horas, esto se debe a que en este horario se concentra la mayor cantidad de personas, se usan los laboratorios, la sala de estudio en este horario posee la mayor cantidad de estudiantes, los cuales hacen uso de la red conectando principalmente notebook.

A las 13:00 horas se produce una baja en los niveles de ruido, ya que corresponde al horario de colación, después de las 14:00 el ruido mantiene sus niveles prácticamente constantes y cercanos a los 600 mV.

**4.6 NIVELES DE RUIDO MEDIDOS EN EL TRANCURSO DE UN DÍA
ACADÉMICO CON ACTIVIDADES NORMALES EN EL RANGO DE 1MHZ A
30MHZ.**

A continuación se muestran los valores promedio de los parámetros de ruido en la línea eléctrica de baja tensión durante el transcurso de un día, considerando actividades académicas normales y empleando un circuito de acoplo con rango de 1 Mhz. A 30Mhz.

Tabla N°2 Comportamiento promedio del Ruido presente en la red en el rango de 1 Mhz. A 30 Mhz.

Hora	Ruido impulsivo Duración Media de la ráfaga [us]	Ruido Impulsivo Amplitud Media [mV]	A.I. + Media [mV]	A.I. - Media [mV]	Ruido de Fondo Amplitud Media [mV]
7.30	58us	28mV	13mV	15mV	5mV
8.00	60us	30mV	16mV	14mV	5mV
8.30	58us	32mV	14mV	18mV	4.8mV
9.00	62us	30mV	14mV	16mV	5.1mV
9.30	62us	33mV	16mV	17mV	5mV
10.00	62us	33mV	15mV	18mV	5.3mV
10.30	61us	33mV	14mV	19mV	5mV
11.00	60us	38 mV	19mV	19mV	5mV
11.30	63us	36mV	19mV	17mV	5.6mV
12.00	58us	38mV	18mV	20mV	4.8mV
12.30	57us	40 mV	19mV	21mV	4.9mV
13.00	57us	40mV	21mV	19mV	4.8mV
13.30	60us	41mV	23mV	18mV	5.5mV
14.00	60us	43mV	19mV	24mV	6mV
14.30	59us	42mV	23mV	19mV	5.2mV
15.00	57us	39mV	20mV	19mV	5.4mV
15.30	61us	35mV	19mV	16mV	4.6mV
16.00	64us	33mV	15mV	18mV	4.5mV
16.30	62us	29mV	17mV	12mV	4.4mV
17.00	61us	27mV	15mV	12mV	4.9mV
17.30	61us	27mV	14mV	13mV	4.5mV
18.00	60us	26mV	14mV	12mV	4.4mV
18.30	60us	28mV	13mV	15mV	4.5mV
19.00	60us	30mV	17mV	13mV	4.7mV
19.30	62us	29mV	17mV	12mV	4.9mV
20.00	64us	29mV	16mV	13mV	5mV

Los datos obtenidos de la tabla anterior son graficados, obteniendo la respuesta o amplitud del ruido impulsivo a lo largo del transcurso del día, considerando las mediciones de ruido dentro de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica en actividades académicas normales.

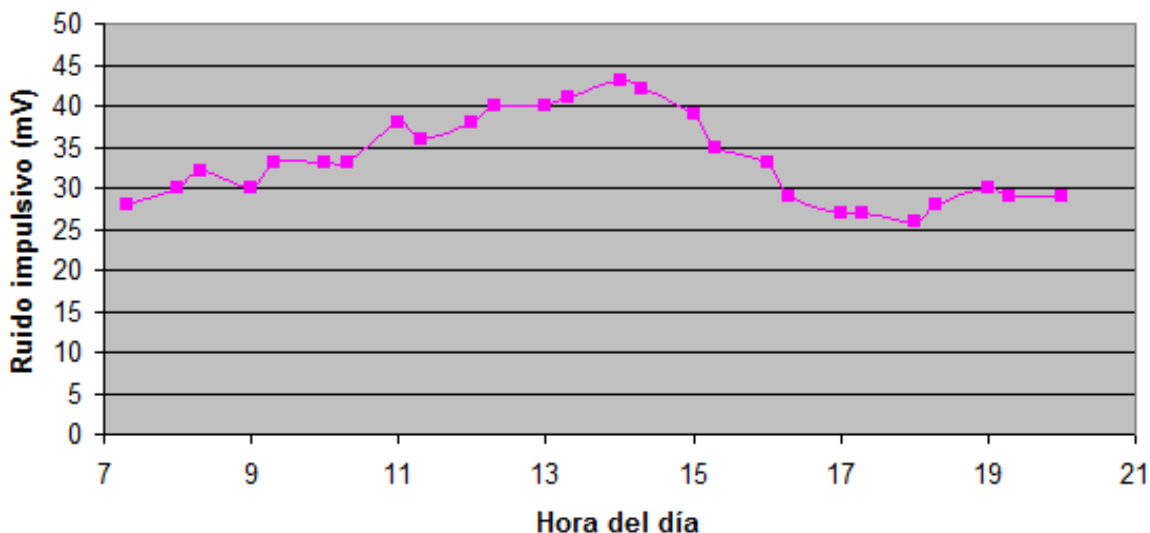


Figura 4.11 Comportamiento del ruido en el rango de 1 Mhz a 30 Mhz, durante una jornada de actividades académicas normales

En cuanto a la gráfica obtenida es correcto afirmar que en el rango de frecuencias de 1 a 30 Mhz el ruido impulsivo es mucho menor que en el rango de frecuencias por debajo de 1Mhz, donde se observa claramente que los niveles se mueven entre los 25 mV como mínimo y 44 mV como máximo, manteniendo un nivel de ruido prácticamente constante.

Se observa que los mayores niveles de ruido se concentran a las 14:00 horas, alcanzando los 44 mV, esto se debe a que en este horario se concentra la mayor cantidad de personas y por lo tanto es el instante donde la red se encuentra más saturada de cargas eléctricas que contaminan la red.

CAPITULO 5: SET UP Y PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LA ATENUACIÓN Y DISTORSION DE SEÑALES AL SER TRANSMITIDAS POR MEDIO DE LAS REDES ELÉCTRICAS.

5.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a [8] en las telecomunicaciones, se denomina atenuación de una señal a la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión. Al introducir una señal eléctrica con una potencia P1 en un circuito pasivo, como en un conductor eléctrico en el caso de la tecnología PLT, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito se obtendrá una potencia P2, obviamente de menor valor que P1.

La atenuación (α) será igual a la diferencia entre ambas potencias, pero expresada en unidades logarítmicas (decibeles). Por lo general la cantidad de atenuación varía en función de la frecuencia, en función de la distancia y se eleva en presencia de una red eléctrica en mal estado. La atenuación se expresa en decibelios de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\alpha = 10 \times \log \frac{P_1}{P_2}$$

Para la transmisión de señales por la red eléctrica la atenuación es de gran interés, ya que esta relacionada directamente con las pérdidas de señal, generando una conexión no confiable, con fallas en el control, desconexiones etc. Siguiendo la ley de conservación de la energía, parte de la señal que entra al medio de transmisión, se transforma en otro tipo de energía, lo que conlleva a que la señal se atenúe y se pierda, la pérdida total será igual a la suma de todas las pérdidas o atenuaciones que hayan ocurrido a lo largo del trayecto, entre el emisor y el receptor sea cual sea la tecnología empleada en las transmisiones.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LAS LINEAS DE BAJA TENSIÓN

Las pérdidas en las líneas de transmisión se pueden clasificar como:

- Pérdidas en Conductores
- Pérdidas por Radiación
- Pérdidas por Calentamiento del Dieléctrico
- Pérdidas por Acoplamiento

Las pérdidas en el conductor se producen debido a dos situaciones, la primera tiene que ver la resistencia óhmica del conductor que produce que parte de la señal sea disipada, provocando el calentamiento del conductor, lo cual cumple con lo establecido por la ley de ohm, donde cabe mencionar que la resistencia de los conductores metálicos aumenta linealmente con el aumento de temperatura.

$$W = \frac{I^2}{\Omega}$$

La segunda esta relacionada con un fenómeno conocido como “Efecto piel” o “skin” [9], que hace que a mayor frecuencia la corriente fluye más fácil por la superficie exterior del conductor, por la auto inductancia que genera al centro de éste. Esto genera alto valor resistivo, ya que todas las señales de alta frecuencia circularán únicamente por la superficie elevando las pérdidas, de este modo la resistencia de los conductores es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia.

$$\Omega \rightarrow \sqrt{f(\text{Hz})}$$

En cuanto a las pérdidas por radiación, éstas son despreciadas a bajas frecuencias pues están relacionadas con la separación entre los conductores y su relación con la longitud de onda (λ), esto quiere decir que a medida que aumente la frecuencia los campos electrostáticos y electromagnéticos que rodean al conductor hacen que la línea actúe como una antena y transfiera energía a materiales conductores cercanos o incluso al medio aéreo.

Las pérdidas por calentamiento del dieléctrico o aislación son causadas por la diferencia de potencial entre dos conductores de la línea de transmisión, ya que parte de la energía que se propaga a lo largo de la línea se transforma en energía calórica, generando las denominadas pérdidas por calentamiento del dieléctrico. Cabe destacar además que éste fenómeno tiende a agravarse con la frecuencia, donde a mayor frecuencia se incrementan las pérdidas.

Finalmente las pérdidas por acoplamiento ocurren cuando una conexión se hace desde o hacia una línea de transmisión usando elementos con distintos valores de impedancia o cuando las conexiones son discontinuas y se realizan con materiales diferentes, éstas discontinuidades tienden a calentarse, radiar energía y disipar potencia afectando enormemente a las señales de alta frecuencia que se desean transmitir por la red eléctrica.

Respecto del tema de la impedancia de la red eléctrica, es un tema complejo, ya que no es posible realizar un estudio para definir un valor fijo o constante que caracterice o represente a todas las redes eléctricas. La impedancia en las líneas de distribución según la literatura especializada se determina por las cargas conectadas a la red, la impedancia de las líneas y por la impedancia del transformador de distribución, donde la peor condición es dada por las cargas presentes ya que se conectan y desconectan constantemente a la red, entregando la característica de aleatoria.

Nicholson y Malack [12] estudiaron la impedancia característica de las líneas de energía en el rango de frecuencias entre 20 kHz y 30 MHz, los resultados obtenidos por medio de su investigación son fundamentales para establecer al menos un rango de valores entre los cuales varíe la impedancia, ya que como se a mencionado anteriormente el valor de la impedancia es de carácter dinámico y varía en el tiempo, por lo que solo es posible establecer un rango o margen de valores.

A continuación se presenta la impedancia característica obtenida por los estudios de Nicholson y Malack.

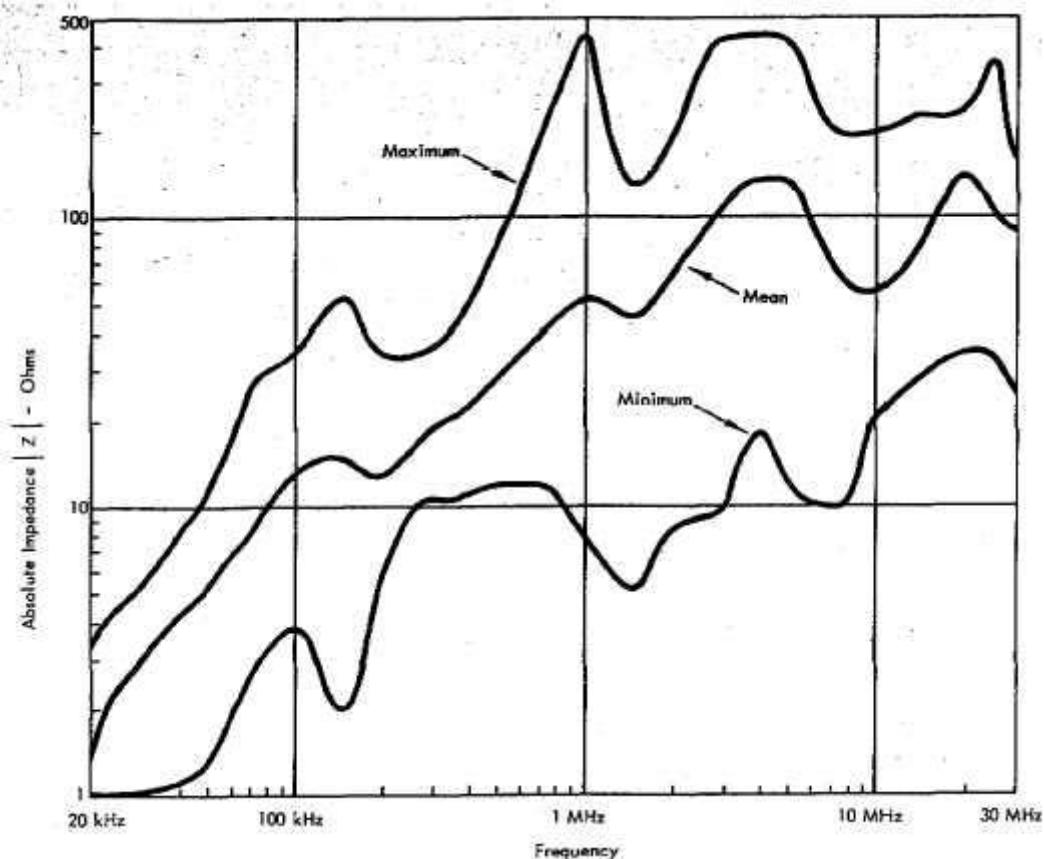


Figura 5.1 Impedancia absoluta medida por Nicholson y Malack.

La impedancia media de la línea de energía varía de 2 a 75 ohm para frecuencias menores a 1MHz y entre 75 ohm y 150 ohm para frecuencias mayores que 1 Mhz, una gran variación considerando que en comunicaciones se utiliza como referencia una impedancia de 50 Ω . En general las impedancias de la red son muy difíciles de predecir y para lograr una máxima transferencia de potencia se requiere que las impedancias del transmisor y el canal sean iguales.

De igual forma en el diseño de los circuitos de acoplo se emplea una sonda con conector BNC, en base a lo mencionado y a la impedancia de los equipos se decide emplear una sonda de 50 ohm, para de este modo minimizar las pérdidas por desacoplo de señales.

5.3 ESTUDIOS PREVIOS RESPECTO DE LA ATENUACIÓN PROVOCADA POR LA RED ELÉCTRICA.

Existen variados estudios respecto de la atenuación en las líneas eléctricas de baja tensión, uno de ellos fue realizado por Morgan H.L. Chan el cual en su publicación [10] presenta mediciones de atenuación de la línea eléctrica en circuitos de distribución domiciliarios, en el rango 20 -240 kHz, realizando un análisis de la atenuación de la línea con y sin cargas.

Los resultados del estudio de Morgan muestran claramente que para el sistema sin carga la atenuación para el canal en fase (I) es aproximadamente constante en el rango de frecuencias dadas.

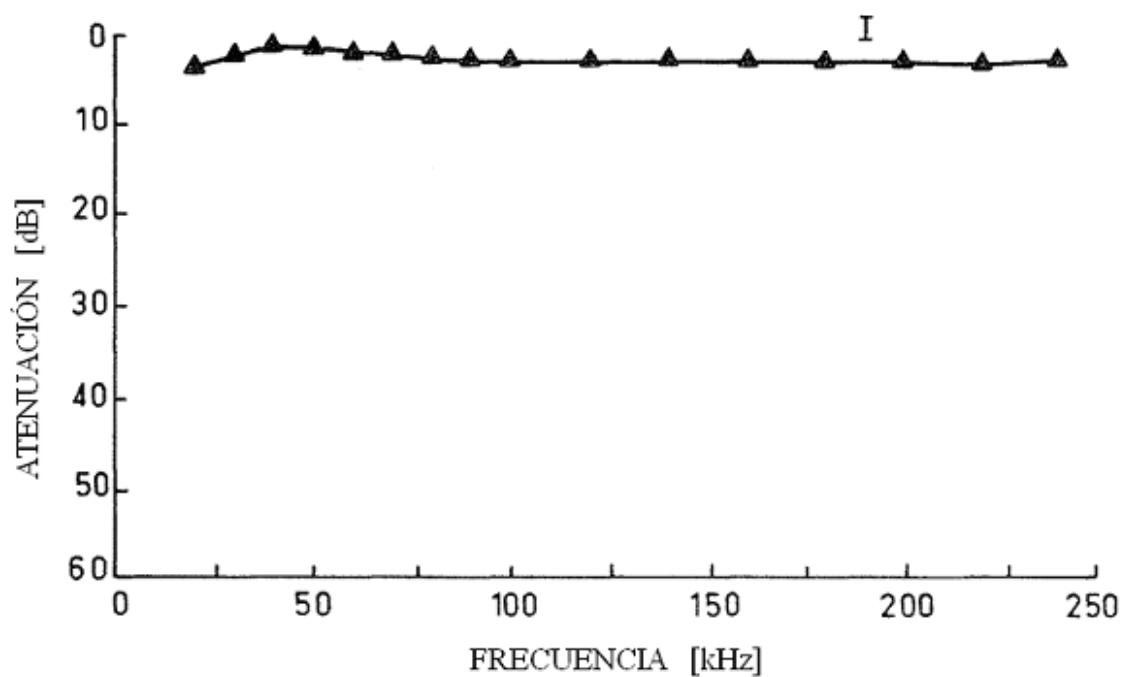


Figura 5.2 Atenuación de la línea eléctrica domiciliaria sin carga.

En cambio para el sistema con cargas presentes el canal no muestra una atenuación constante, sino más bien una variación en ésta, este cambio en la atenuación muestra un aumento progresivo al incrementar la frecuencia de la señal para diversos artefactos eléctricos, pero su comportamiento se ve afectado por instantes de conexión y desconexión de las cargas presentes en la red.

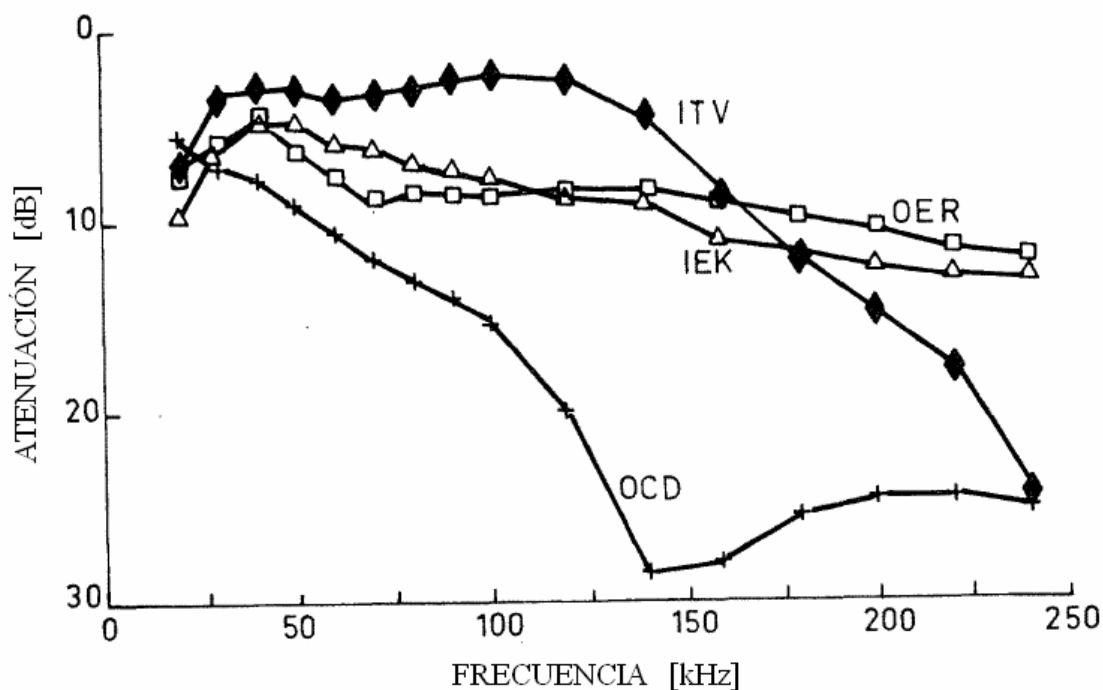


Figura 5.3 Atenuación versus frecuencia de la línea eléctrica domiciliar con cargas, donde I, O denotan los canales en fase y fase opuesta respectivamente con cargas: TV - Televisor, EK- hervidor eléctrico, ER- horno eléctrico, CD-secadora de ropa.

El siguiente sep up de mediciones propuesto contempla una medición de la atenuación y distorsión sufrida por las señales de control al ser enviadas por medio de la red eléctrica. Cabe destacar que las mediciones a realizar consideran las condiciones reales del medio de transmisión, provocadas por los propios conductores eléctricos, las cargas típicas conectadas a la red y el efecto de la energía presente en los conductores.

5.4 SET UP DE MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN PROVOCADA POR LA RED ELÉCTRICA AL SER EMPLEADA COMO CANAL DE TRANSMISIÓN.

- I. Se implementa el siguiente esquema de conexión, utilizando la red eléctrica existente en la Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica.

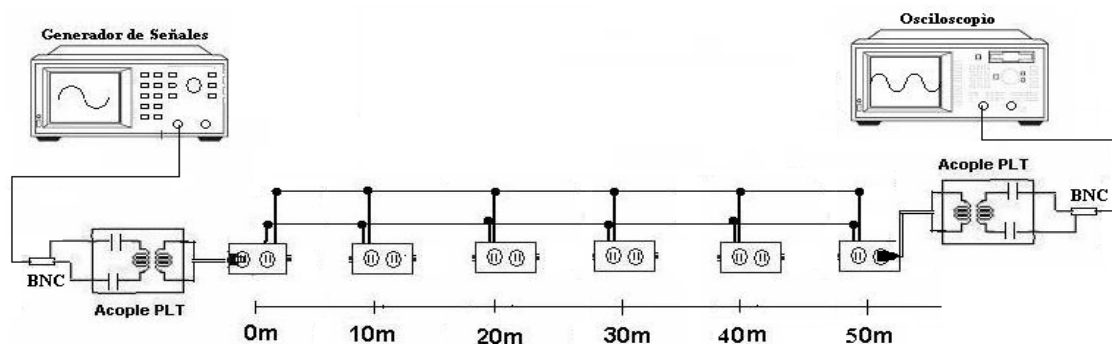


Figura 5.4 Esquema de medición para atenuación de conductores

- II. Configurar y conectar el generador de señales al circuito de acoplo y el otro extremo del acoplo a un extremo de la red, aplicar una señal 10 VPP, onda cuadrada.
- III. Configurar el osciloscopio, acoplo AC, escala 0.5 V/div, ajustar el tiempo o time/div según la frecuencia ingresada (no aplicar auto set) y conectar en un punto de la red que sea de interés, midiendo el voltaje Vpp de entrada y salida.
- IV. Generar un barrido de señales en el rango de frecuencias de interés (20Khz - 1 Mhz).
- V. Medir y registrar el voltaje Vpp de entrada a la red, y en el punto de salida.
- VI. Elaborar una tabla con los datos de voltaje obtenidos y calcular la atenuación en dB, usando la siguiente expresión:

$$A(dB) = 20 \times \log \left(\frac{V_{OUTpp}}{V_{INpp}} \right)$$

- VII. Repetir los pasos y mediciones para distancias de 40m, 30 m, 20m, 10m y 5m. Con los valores obtenidos graficar en EXCEL la relación Atenuación v/s Distancia.

CAPITULO 6: MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO DE LA ATENUACIÓN Y DISTORSIÓN DE SEÑALES AL SER TRANSMITIDAS POR LA RED ELECTRICA.

6.1 INTRODUCCIÓN

Como se a mencionado anteriormente, la red eléctrica no a sido diseñada para la transmisión de señales de alta frecuencia, por ende sus conductores tampoco han sido creados pensando en este tipo de aplicaciones. En base a lo anterior es de suma importancia lograr establecer el comportamiento tanto de los conductores en sí, como de la red eléctrica ya energizada frente a señales de alta frecuencia, debido a que si las señales que son enviadas por medio de la red sufren demasiada atenuación o distorsión no serán detectadas en el receptor.

Una de las condiciones más difíciles de abordad es el hecho de que las redes eléctricas existentes, posee una topología tipo árbol, con un gran número de ramas, nodos, cambios en la sección de conductores y además transportan energía, todos estos factores provocan que la atenuación y distorsión generada por los conductores NYA 1,5 MM sea muy distinta a lo que realmente sucede al transmitir señales de control por medio de una red eléctrica presente en un edificio con múltiples conexiones, gran cantidad de cargas, altos niveles de ruido y atenuación.

La medición de la atenuación que sufren las señales de control al ser enviadas por la red es una medición real y objetiva de la atenuación y distorsión que sufrirán estas señales. Además permiten establecer las distancias máximas a las que se logra transmitir empleando esta tecnología, logrando establecer además qué rango de frecuencias son las que se ven menos afectadas por el comportamiento de la red.

Para lograr estudiar la red eléctrica como medio de transmisión se procede a enviar un tren de pulsos rectangulares de 5 V de amplitud, a través de la línea eléctrica, a diferentes frecuencias, 100Khz. hasta 1 Mhz para aplicaciones de domótica y de 1Mhz a 30Mhz para aplicaciones PLC, utilizando una distancia de 25 metros, ya que estudios previos permitieron establecer que ésta es la distancia máxima a la cual se pueden enviar señales de control sin riesgo de pérdidas de señal.

6.2 ESTUDIO DE LA ATENUACION Y DISTORSIÓN DE UNA SEÑAL DE AMPLITUD 5 V AL SER TRANSMITIDA 25 METROS POR LA RED

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 100 KHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 100 KHz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos enviado, con una amplitud de 5,12v y en el extremo inferior el recibido, de este último se aprecia que a una distancia de 25 metros solo es posible obtener peak en los cambios de nivel con amplitud de 3,04 V y se aleja bastante de la señal cuadrada enviada.

Sin embargo los peak se producen correctamente al producirse los cambios de nivel, por lo que no se genera una alteración en frecuencia de la señal obteniendo 100Khz en el receptor, pero la señal original enviada se encuentra altamente distorsionada.

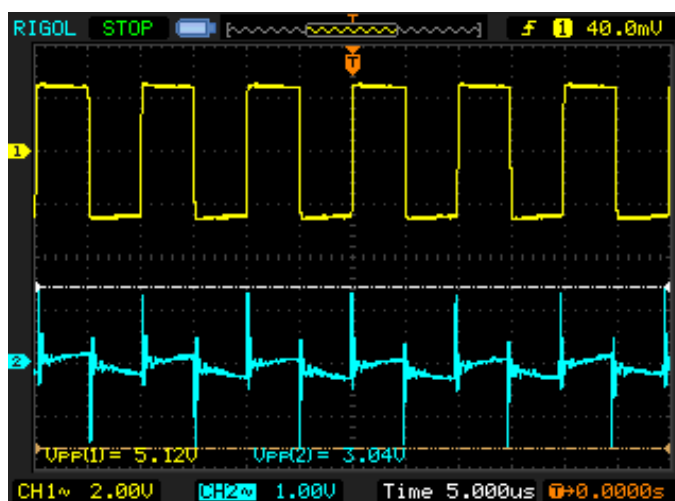


Figura 6.1 Transmisión de tren de pulsos de 5 v y 100 KHz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 250 KHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 250 KHz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos enviado, con una amplitud de 5,12v y en el extremo inferior el recibido, de este último se aprecia que al igual que en el caso anterior a una distancia de 25 metros solo es posible obtener peak en los cambios de nivel con amplitud de 3,04 V y se aleja bastante de la señal cuadrada enviada, ya que se encuentra altamente distorsionada.

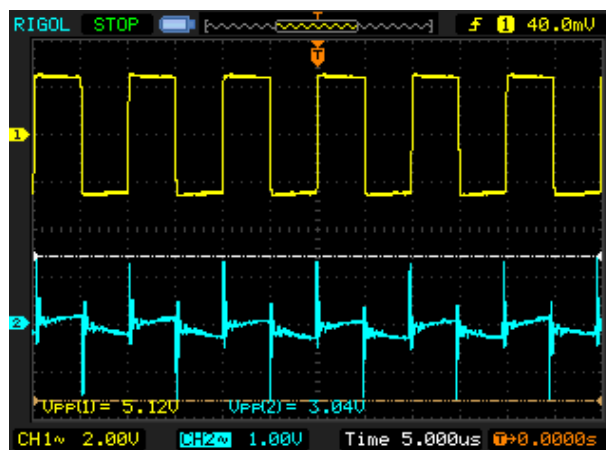


Figura 6.2 Transmisión de tren de pulsos de 5 v y 250 KHz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 500 KHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 500 KHz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos enviado y en el extremo inferior el recibido, de este último se aprecia que su amplitud es de 3,2 V y se ve fuertemente influenciado por la distorsión.

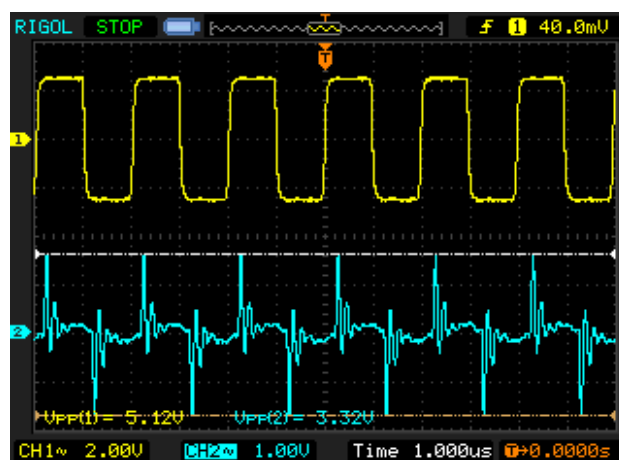


Figura 6.3 Transmisión de tren de pulsos de 5 v y 500 KHz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 1 MHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 1 Mhz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos de 5 v enviado y en el extremo inferior el recibido, de este último se aprecia que su amplitud es de 3,52 V y se ve fuertemente influenciado por la distorsión, generando peak en cada cambio de nivel y restos de señal atenuada durante el resto del semiperiodo.

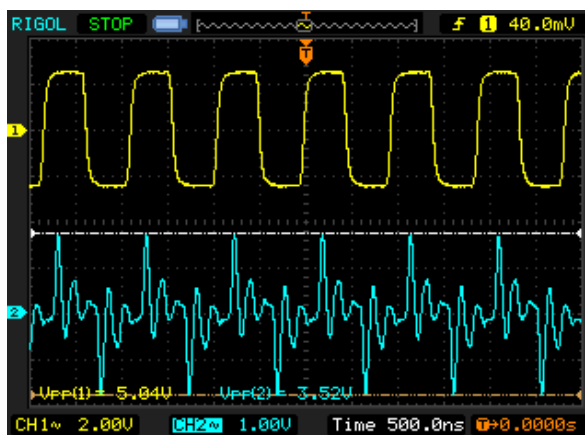


Figura 6.4 Transmisión de tren de pulsos de 5v y 1 Mhz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 2 MHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 2 Mhz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos de 4,96 v enviado y en el extremo inferior la seña recibida, donde se aprecia que su amplitud es de 4,88 V y presenta una mejor distorsión de la señal, pero aún es considerable.

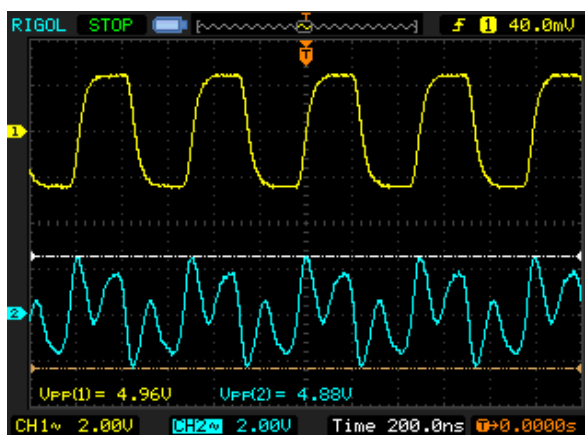


Figura 6.5 Transmisión de tren de pulsos de 5v y 2 Mhz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 2.5 MHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 2,5 Mhz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos de 5,04 V enviado y en el extremo inferior el recibido, de este último se aprecia que su amplitud es de 3,52 V y se ve fuertemente influenciado por la distorsión.

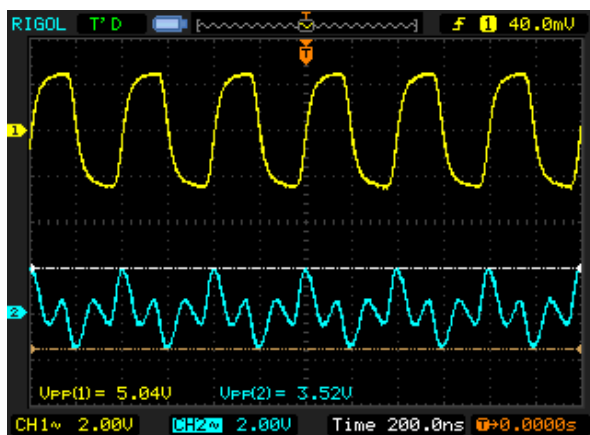


Figura 6.6 Transmisión de tren de pulsos de 5v y 2.5 Mhz.

ATENUACION DE SEÑAL DE AMPLITUD 5 V Y 5 MHZ.

La figura muestra la señal transmitida a una frecuencia de 500 Khz. en el extremo superior se ubica el tren de pulsos enviado con 4,8 V de amplitud y en el extremo inferior se aprecia la señal recibida de 3,9 V de amplitud, la cual se observa mucho menos distorsionada, si bien la señal recibida se encuentra distorsionada, se puede operar en base a frecuencia, ya que ésta no sufre alteraciones, manteniendo la frecuencia de 5 Mhz original.

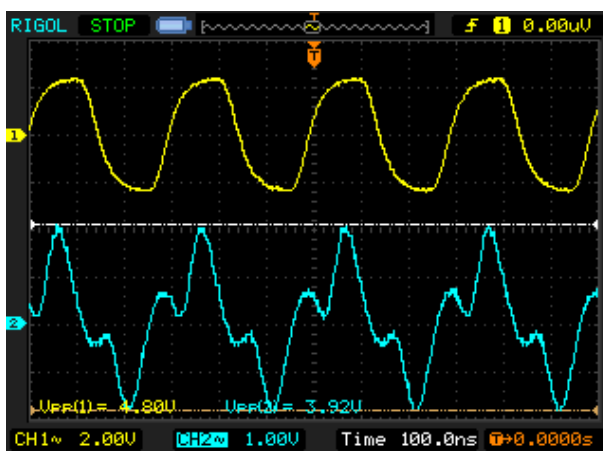


Figura 6.7 Transmisión de tren de pulsos de 5v y 5 Mhz.

6.3 NIVELES DE ATENUACIÓN MEDIDOS EN EL TRANCURSO DE UN DÍA ACADÉMICO CON ACTIVIDADES NORMALES EN TODO EL RANGO DE FRECUENCIAS (20KHZ A 25 MHZ)

De las mediciones presentadas en la sección anterior se elabora la siguiente tabla la cual contiene la amplitud del tren de pulsos recepcionado junto con la atenuación que sufre la señal para cada frecuencia transmitida por medio de la red eléctrica.

Tabla. N°3 Atenuación provocada por la línea eléctrica de baja tensión.

FREC. [kHz]	V in [mV]	V out [mV]	Aten. [mV]	Aten. [%]
20	5040	800	4240	84.1
30	5040	1100	3940	78.2
40	5040	1000	4040	80.2
50	5040	720	4320	85.7
60	5040	560	4480	88.9
70	5040	1440	3600	71.4
80	5040	1360	3680	73
90	5040	2400	2640	52.4
100	5120	3040	2080	40.6
200	5040	3200	1840	36.5
300	5120	3040	2080	40.6
400	5040	3260	1780	35.3
500	5120	3320	1800	35.1
600	5040	3300	1740	34.5
700	5040	3300	1740	34.5
800	5040	3450	1590	31.5
900	5040	3490	1550	30.8
1000	5040	3520	1520	30.2
2000	4960	3880	1080	21.8
3000	5040	3520	1520	30.2
4000	5000	3920	1080	21.6
5000	4800	4400	4000	8.3

De la tabla anterior se elabora un gráfico de la atenuación sufrida por la señal transmitida a través de la línea eléctrica de baja tensión versus la frecuencia de la señal enviada.

ATENUACION V/S FRECUENCIA EN BASE A UNA SEÑAL DE 5V

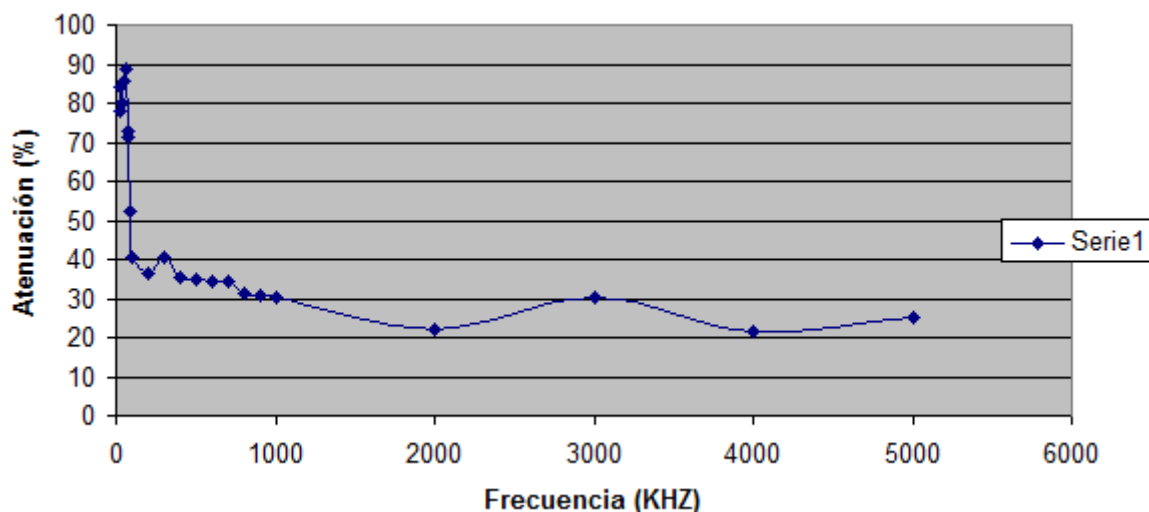


Figura 6.10 Atenuación porcentual sufrida por señal 5 V en función de la frecuencia.

De la gráfica obtenida es posible afirmar que los niveles típicos de atenuación que sufren las señales de control es de entre un 20% y un 40%, los mayores niveles de atenuación se observan en baja frecuencia, cercanos a el valor de la frecuencia de corte del circuito de acoplo (20Khz), es por ello que dicha atenuación se le adjudica a la interfaz de acoplo. Los niveles de atenuación se encuentran prácticamente constantes a medida que aumenta la frecuencia, se observan los menores niveles de atenuación en frecuencias de 2Mhz y 4Mhz, alcanzando solo un 20% de atenuación de la señal original que es transmitida. Estos resultados son favorables, ya que indican que pese a la distorsión sufrida por las señales de control, éstas si se propagan con facilidad por la red eléctrica, siendo recibidas con un nivel adecuado para su detección de frecuencia.

Cabe destacar que las mediciones de transmisión de señales solo fueron realizadas hasta 5 Mhz y no a 30Mhz como se planteaba originalmente, esto debido a que los generadores de funciones existentes en la universidad no permiten generar señales cuadradas de mayor frecuencia.

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE CONTROL, EN BASE A LOS ESTUDIOS REALIZADOS.

En cuanto a las mediciones de ruido realizadas dentro del rango de 20Khz y 1Mhz se concluye que es óptimo realizar transmisiones de señales de control con valores de frecuencia de entre 400Khz y 550 Khz., ya que en este rango de frecuencias es donde se concentran los menores niveles de ruido, con amplitudes cercanas a los 700mV. En base a lo anterior es factible emplear una señal de control de 500Khz y 5Vpp sin problemas.

Respecto a las mediciones de ruido realizadas dentro del rango de 1Mhz a 30 Mhz se concluye que es óptimo realizar transmisiones de señales de control con valores de frecuencia entre todo el espectro, ya que los niveles de ruido son despreciables, sin embargo y producto de la atenuación es recomendable trabajar a frecuencias cercanas a los 5Mhz ya que se observan los menores niveles de atenuación. Es factible emplear señales de control de 5Vpp y 5Mhz, sin embargo dentro de este rango la tecnología PLC emplea OFDM, usando múltiples frecuencias portadoras. Se destaca la ventaja de trabajar dentro del rango de 1Mhz a 30Mhz, ya que se observan niveles de ruido un 93% menor al ruido dentro del rango de 20Khz a 1 Mhz.

El análisis de los resultados muestra que, en general la tasa de ocurrencia del ruido impulsivo es bastante alta. El porcentaje de tiempo total en que se sucede algún evento impulsivo es del orden del 1 %. Esto significa que, en un ambiente fuertemente perturbado con ruido de naturaleza impulsiva, cerca del 99 % del tiempo un canal esta libre de interferencias y, con un debido conocimiento, se puede utilizar en forma óptima con fines de comunicación. La razón para este bajo porcentaje de tiempo en el cual el canal se encuentra “mas contaminado” se debe a la corta duración de los impulsos, del orden de los microsegundos. Cabe recalcar que las conclusiones obtenidas de las pruebas de laboratorio pueden no representar la atenuación de las señales característica de todas las instalaciones eléctricas de baja tensión, pero experimentalmente puede ser tomado como una medida de referencia para los mismos.

CAPITULO 8: DISEÑO DE APLICACIÓN PRÁCTICA, MANDO A DISTANCIA ON/OFF EMPLEANDO LA RED ELÉCTRICA.

8.1 INTRODUCCION

Un mando a distancia on/off empleando en la red eléctrica consiste en un dispositivo electrónico que permite realizar una operación remota o control a grandes distancias sobre equipos o consumos conectados a la misma red, permitiendo el encendido o apagado de ellos.

A lo largo de este capítulo se analiza el concepto y los elementos fundamentales que requiere un mando a distancia empleado por medio de la red eléctrica, se presenta de forma muy sencilla las principales etapas que componen este sistema de control y además se realiza un completo diseño de éste, en base a las observaciones obtenidas en los estudios previos, obteniendo un diseño confiable y con distancias máximas de control considerables.

8.2 CONCEPTOS DE MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELECTRICA.

Esta técnica de control consiste en transmitir un numero ilimitado de señales codificadas en frecuencia, a través de la red eléctrica existente, utilizándola como canal o vía de transmisión. Este sistema es conocido comúnmente como “control por onda portadora”; por medio de un circuito se generan señales de radio frecuencia, las cuales se inyectan a la red de energía o PL (Power Line), actuando como transmisor, mientras que en el punto de control se utiliza un receptor y un detector de frecuencia el cual detecta la señal enviada en base a su valor de frecuencia ejecutando a su salida una activación o desactivación de equipos o dispositivos auxiliares de potencia como triacs o relés.

El sistema de telemando por onda portadora propuesto, consta de dos partes: Un transmisor en poder del usuario y un receptor conectado a la red eléctrica en un punto donde se desee controlar la energía entregada de forma on/off, ya sea en la misma habitación, o dentro de toda la extensión del recinto, siempre y cuando los equipos se encuentren conectados a la misma fase de la red.

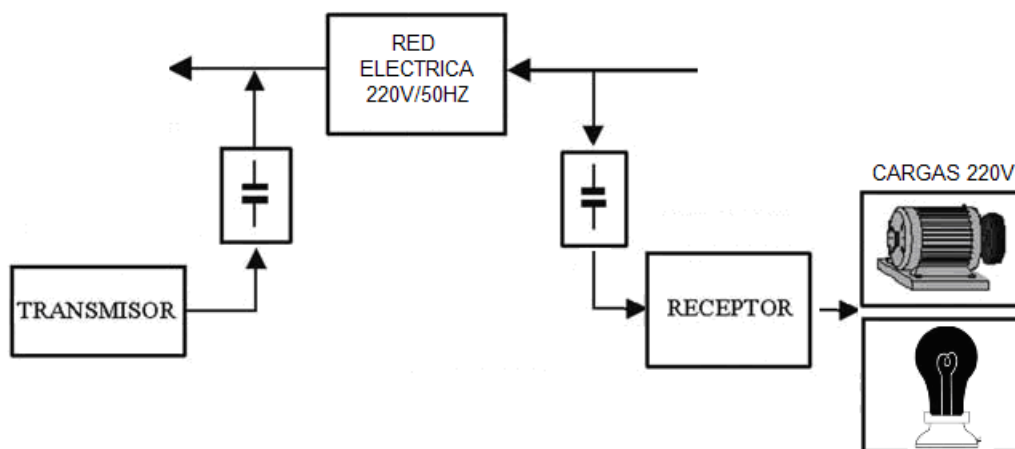


Figura 8.1 Esquema de concepto de mando a distancia por onda portadora

El transmisor corresponde a un circuito oscilador de alta frecuencia, compuesto por un integrado 555, capaz de generar una señal de frecuencia ajustable, la cual es amplificada y posteriormente inyectada a la red eléctrica por medio del acoplo PLT diseñado.

El receptor en cambio es un circuito detector de frecuencia o tonos, compuesto por el integrado LM567, este circuito posee la capacidad de activar o llevar a nivel bajo su salida solo cuando en su entrada ingresa una señal de control cuya frecuencia corresponda a la frecuencia seteada previamente por medio de un capacitor y una resistencia. Al igual que el transmisor, el receptor se encuentra acoplado a la red eléctrica a través de un filtro PLT.

Finalmente el elemento crítico y fundamental de esta técnica corresponde al medio de transmisión de señales, el cual en este caso es la red eléctrica de 220v/50hz. La tensión de esta red es atenuada por medio de filtros o circuitos de acoplo bidireccionales, los cuales tiene como función permitir el paso solo de las señales de control o alta frecuencia en ambos sentidos, pero atenuar las señales de potencia o 50 Hz de la red, formando un filtro pasa altos.

En base a lo estudiado anteriormente la red eléctrica es un medio hostil para la transmisión de señales de alta frecuencia o de control, esto debido a que dentro de ella se encuentran una serie de perturbaciones que afectan la transmisión, entre ellas destacan los altos niveles de ruido que generan distorsión, y la atenuación propia de la red sobre señales de alta frecuencia, con valores muy por sobre la frecuencia de 50 hz.

Es por ello que el estudio realizado previamente nos permite decidir cuales son los niveles de voltaje y rango de frecuencia el la cual es adecuado transmitir las señales de control, sin embargo en base a lo observado no es posible decidir cual es el rango adecuado porque no existe. Solo es posible definir frecuencias específicas que no coinciden con la frecuencia del ruido promedio presente en la red, de este modo se evita interferencias al momento de conectar una carga que genere ruido de una frecuencia igual a la frecuencia de la señal de control múltiplos de ella.

Además el estudio previo permite establecer que valores de frecuencia son atenuadas y distorsionadas en menor valor por la red eléctrica, esto se obtuvo al transmitir señales de frecuencia por medio de generadores de funciones. En base a esto es posible definir valores de frecuencia específicos que posean los menores índices de atenuación y que a su vez sean distorsionadas lo menos posible.

Todo lo anterior es un análisis requerido, debido a que no es posible enviar de forma inmediata una señal de control de 5v/40khz por ejemplo, ya que ésta al ser una frecuencia crítica se distorsionará llegando solo Peak de tensión los cuales alcanzarán 40 mv, todo esto genera que el detector de tonos LM567 no posea la capacidad de detectar la señal de control que le es enviada.

La falla en el receptor en este caso será producto de 2 causantes; en primer lugar el nivel de voltaje recibido en su entrada será demasiado bajo, cercano a los niveles constantes de ruido de la red y en segundo lugar debido a la distorsión extrema de la señal, el receptor no es capaz de comparar la frecuencia de ésta con la frecuencia seteada previamente en su oscilador interno, provocando que el sistema simplemente no opere.

8.3 TRANSMISOR DE SEÑALES PARA MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELECTRICA.

El circuito transmisor del mando a distancia empleado en la red eléctrica es la etapa encargada de generar los pulsos o señales de control a transmitir, sus niveles de salida de voltaje y frecuencia son fundamentales ya que posteriormente deben ser inyectados hacia la red eléctrica y deben tener la capacidad de viajar y transmitirse largas distancias superando los inconvenientes de atenuación, ruido e interferencia presentes.

El circuito transmisor corresponde a un oscilador de alta frecuencia, generado por un circuito integrado LM555 y configurado como oscilador astable. Este dispositivo contiene circuitos de temporización de precisión capaz de producir oscilaciones donde la frecuencia y el ciclo de trabajo pueden controlarse independientemente con dos resistencias externas y un solo capacitor externo, además debe ser agregado un potenciómetro multi vuelta que permita el ajuste exacto de la frecuencia de oscilación.

OPERACIÓN ASTABLE

Este tipo de funcionamiento se caracteriza por una salida con forma de onda cuadrada (o rectangular) continua de ancho predefinido por el diseñador del circuito, donde la señal de salida tiene un nivel alto por un tiempo t_H y un nivel bajo por un tiempo t_L . La duración de estos tiempos, la frecuencia y el periodo dependen de los valores de R_A , R_B y C . y a su vez son independientes de la tensión de alimentación.

Es importante destacar que al momento de crear un generador con frecuencia variable, idealmente se debe variar la capacidad del condensador, ya que si el cambio se hace mediante los resistores R_1 y/o R_2 , también cambia el ciclo de trabajo o ancho de pulso (D) de la señal de salida.

La siguiente imagen muestra el circuito requerido para configurar un circuito NE555 como generador de frecuencia o multivibrador astable:

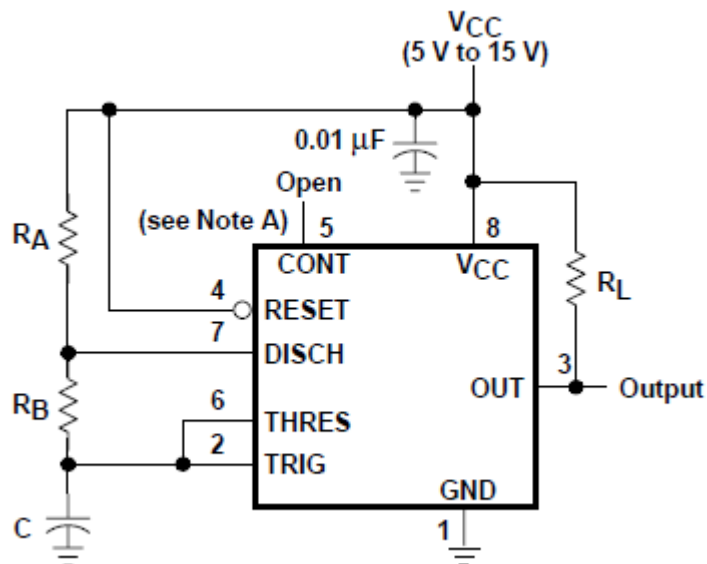


Figura 8.2 Esquema de configuración de CI NE555 como oscilador astable.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la señal de frecuencia proporcionada por este circuito posee características en el tiempo que dependen exclusivamente de los valores de R_A , R_B Y C , donde la duración del nivel alto de salida, de nivel bajo de salida, periodo y frecuencia se obtienen en base a las siguientes expresiones:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

$$\text{periodo} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

$$\text{frecuencia} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

NOTA A: El pin 5 o CONT, permite un desacoplamiento de tensión a tierra, por medio de un condensador, esto puede mejorar la operación pero debe ser evaluado para la aplicación individual.

BLOQUE 1: DISEÑO TRANSMISOR O GENERADOR DE FRECUENCIA

La frecuencia del tono de control es generada por un circuito integrado del tipo 555 bipolar (no sirve CMOS) dispuesto como oscilador astable y está determinada por los valores elegidos para las resistencias R1, R2, el condensador C1 y el potenciómetro ajustable P1, el cual permite el ajuste exacto de dicha frecuencia de oscilación.

De acuerdo a los valores de frecuencia definidos para la transmisión se decide diseñar el generador de frecuencia de manera de lograr ajustarlo para que genere una frecuencia desde 20Khz a 100Khz, empleando valores comerciales fueron definidos los siguientes componentes:

-R1= 2,2K ohm

-R2= 820 ohm

-C1= 3,6 nF

-Pot= 10 K ohm

Finalmente con los valores definidos y con las expresiones de frecuencia dispuestas por el fabricante se logra generar un oscilador capaz de entregar señales de frecuencia desde los 17 Khz hasta 104 Khz, empleando los siguientes cálculos y comprobados por medio del simulador.

$$\begin{aligned}
 \text{Frecuencia} &= \frac{1,44}{(R1 + 2 (R2+R \text{ pot}) C1} \\
 \text{Mínima} &= \frac{1,44}{(2,2k + 2 \times (R2+R \text{ pot}) 3,6n} \\
 &= \frac{1,44}{(2,2k + 2 \times (820+10k) 3,6n} \\
 &= 16,778 \text{ Khz} \\
 &\approx 17 \text{ Khz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Frecuencia} &= \frac{1,44}{(R1 + 2R2) C1} \\
 \text{Máxima} &= \frac{1,44}{(2,2k + 2 \times 820) 3,6n} \\
 &= 104,166 \text{ Khz} \\
 &\approx 104 \text{ Khz}
 \end{aligned}$$

De este modo y en base a los valores de componentes seleccionados el generador de frecuencia diseñado permite generar una frecuencia de control de 17 Khz. al girar el mando del potenciómetro P1 hasta el tope de forma que la flecha señale la resistencia R1 (R Pot=0 ohm) y en caso contrario es posible generar 104 Khz empleando la máxima resistencia del potenciómetro (10 K ohm).

La señal de frecuencia regulable es obtenida por medio del pin 3 del integrado, obteniendo una corriente de salida de 200 mA de acuerdo a su hoja de características. Esta señal de salida es amplificada por medio de un transistor 2n2222A para obtener niveles de voltaje y corriente directamente de VCC adecuados para transmitirse por medio de la red eléctrica y sobreponerse a los niveles de ruido y atenuación presentes. La señal de onda cuadrada sale por la patilla 3 del integrado y se aplica a través de la resistencia R3 a la base del transistor Q1 (que es de conmutación) y finalmente se trasmite a la red a través del condensador C3.

Adicionalmente se conecta un capacitor C2 al pin 5 que permite un desacoplamiento de tensión a tierra, esto puede mejorar la operación del integrado, además se conecta un diodo Led y una resistencia limitadora de corriente hacia el diodo, de este modo es posible visualizar cuando el circuito este energizado y funcionando normalmente.

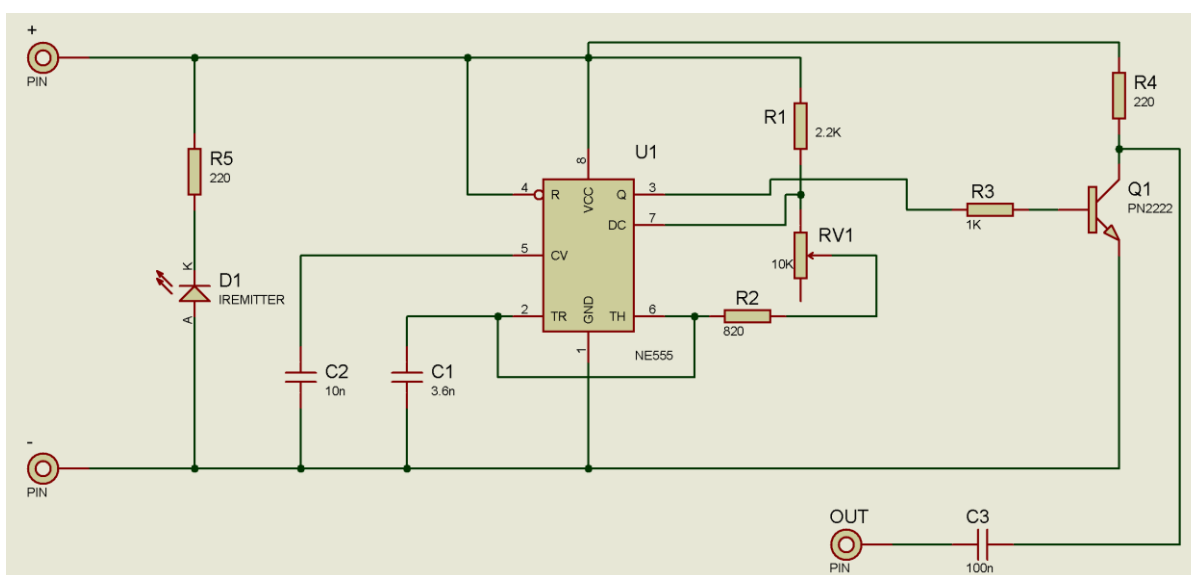


Figura 8.3 Transmisor de frecuencia diseñado en base a CI NE555 en modo astable.

El diseño realizado es dibujado por medio del software “Proteus” el cual permite realizar el conexionado del transmisor en base al generador de frecuencia NE555 y empleando valores comerciales de componentes disponibles en el mercado.

De forma posterior se exporta el diagrama de conexionado de modo de generar un Layout de la PCB con las dimensiones reales de los componentes, los componentes se distribuyen de tal forma que las pistas no queden cercanas entre si y respetando las dimensiones y limitaciones para la implementación real de la placa. De igual manera se busca generar la menor cantidad de puentes, usando solo uno en este caso y obteniendo la siguiente PCB para el circuito transmisor.

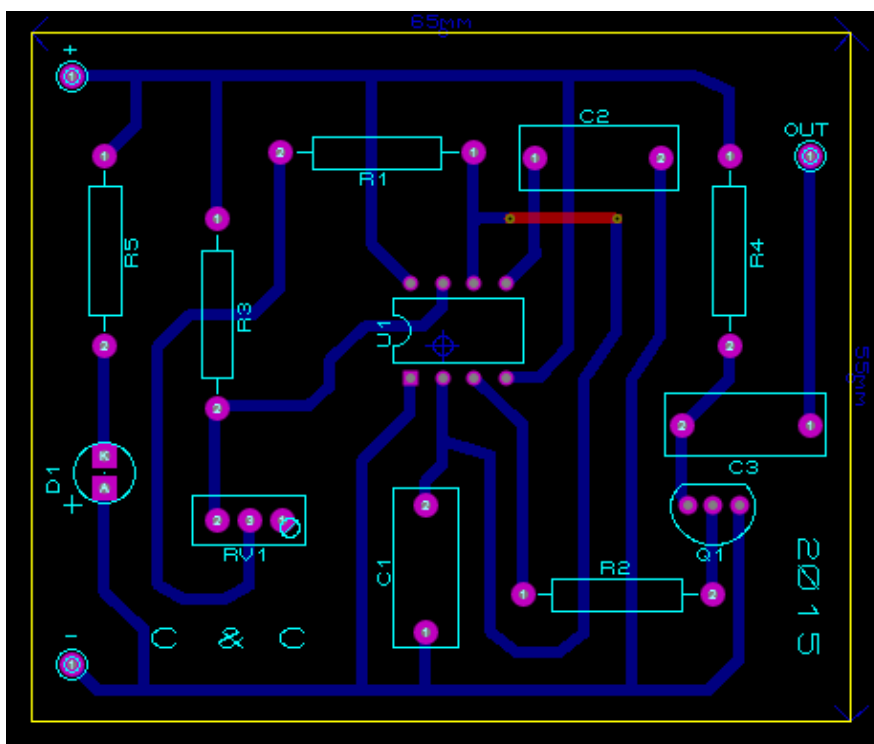


Figura 8.4 PCB circuito transmisor en base a CI NE555 en modo astable.

Es importante destacar que las librerías de componentes presentes en el software permiten entregar las dimensiones de los componentes a emplear, los cuales fueron debidamente corroborados con los componentes reales disponibles, ya que existen diferencias importantes entre un encapsulado u otro, tamaños distintos y distinta separación entre patillas.

Adicionalmente el software “Proteus” permite generar una visualización en 3D para comprobar que el diseño y el tipo de componentes que han sido usados sean los correctos en el circuito de simulación, estos componentes tienen que ser de la tecnología de agujero pasante THT, en sus siglas en inglés (Through-Hole Technology) ya que la placa es diseñada para este tipo de montaje. La vista 3D del circuito transmisor diseñado se presenta a continuación.

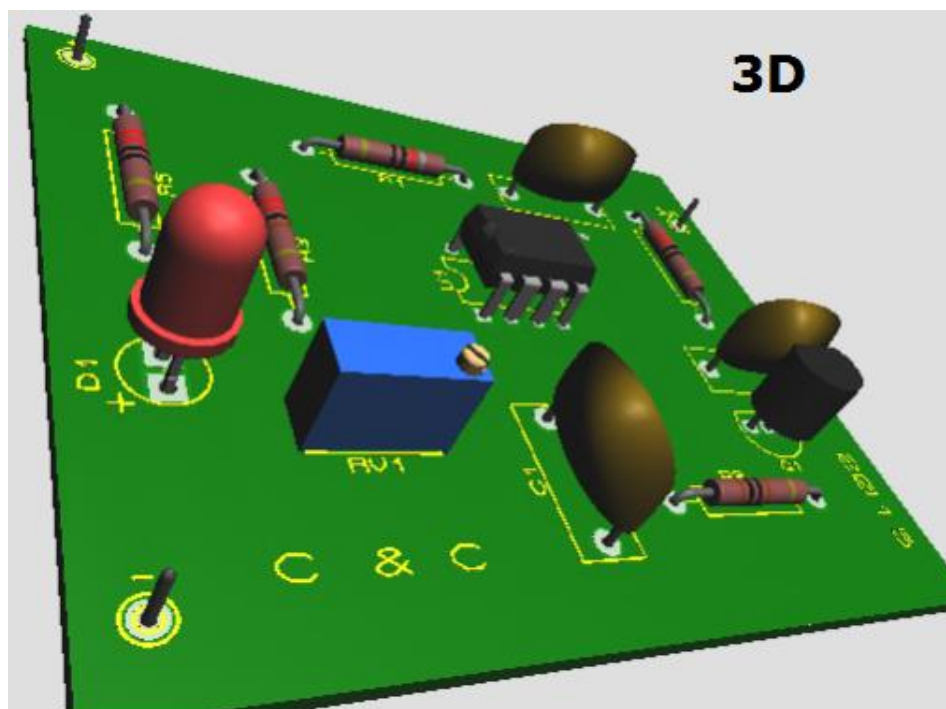


Figura 8.5 Vista 3D de PCB diseñada para el transmisor.

Una vez obtenida la vista 3D se comprueba que los componentes reales disponibles y los componentes usados en el diseño correspondan según su forma física, y además por medio de un pie de metro se procede a comprobar que las dimensiones de los pines de componentes reales y simulados sea iguales, de lo contrario se producirán problemas al momento del montaje. Una de las grandes ventajas de diseñar empleando Proteus es que se permite generar el conexionado, luego crear la PCB y tener una vista 3D de la placa diseñada, todo esto para finalmente exportar los archivos de placa hacia una máquina fresadora disponible dentro de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, perteneciente a la Universidad del Bio Bio, logrando generar placas de alta calidad.

8.4 RECEPTOR DE SEÑALES PARA MANDO A DISTANCIA EMPLEANDO LA RED ELECTRICA.

El circuito receptor del mando a distancia es la etapa encargada de detectar las señales de control que son enviadas por medio de la red eléctrica. Su forma de operación se basa en la detección de las señales de control en base a su frecuencia, el circuito receptor es calibrado previamente con un oscilador a una frecuencia propia, donde el dispositivo al momento que detecta que la frecuencia de la señal de control coincide con la frecuencia previamente seteada, cambia de estado su salida permitiendo la activación de equipos o consumos conectados a la red eléctrica de 220v.

El receptor corresponde a un detector de tonos, compuesto por un circuito integrado LM567 y configurado como detector de frecuencia, este dispositivo pertenece a la familia de decodificadores de tono de propósito general, diseñado para proporcionar un nivel bajo o tierra cuando una señal de entrada está presente dentro de la banda de paso. El integrado consta de un oscilador controlado por tensión que determina la frecuencia central del decodificador y donde los componentes externos se utilizan para ajustar independientemente la frecuencia central, ancho de banda y retardo de la salida.

OPERACIÓN COMO DETECTOR DE FRECUENCIA

El decodificador de tono LM567 es un dispositivo capaz de detectar si una señal de entrada está dentro de un rango seleccionable de detección, en base a la frecuencia de la señal. Cuando la señal de entrada está dentro de la banda de detección, la salida del dispositivo pasará a un estado BAJO, debido a que el integrado cuenta con una salida de transistor de colector abierto, por lo que además se requiere una resistencia externa para lograr niveles lógicos adecuados.

El LM567 posee un oscilador interno controlado por tensión (VCO), de funcionamiento libre, el cual establece la frecuencia central de la banda de detección, donde para lograr fijar esta frecuencia a se opera empleando un filtro RC externo.

Complementariamente a la frecuencia central, existe un ancho de banda donde se detectará la frecuencia deseada y este ancho depende de la capacidad del terminal de filtro de bucle, donde normalmente se emplea un condensador de $1\mu\text{F}$. Cabe destacar que el ancho de banda de detección de señales tiene un comportamiento diferente de acuerdo a los niveles de tensión de entrada, existe un modo de operación con $V_i < 200\text{mVRMS}$ y un modo de operación con $V_i > 200\text{mVRMS}$, cada aspecto de diseño se presentan a continuación:

A. Frecuencia central

La frecuencia central del decodificador de tono LM567 es igual a la frecuencia de funcionamiento libre del oscilador interno controlado por tensión. Con el fin de establecer esta frecuencia central o de control deben ser empleados componentes externos, definidos como C_1 y R_1 , los cuales definen la frecuencia dada por la siguiente expresión:

$$f_o \approx \frac{1.1}{R_1 C_1}$$

Donde:

R_1 : Resistencia de temporización

C_1 : Condensador de temporización

B. Filtro de Salida

Para eliminar señales no deseadas que podría activar la etapa de salida, el dispositivo posee un filtro de detección. Este filtro se compone de una resistencia interna $4.7\text{K}\Omega$ y un condensador externo donde el fabricante recomienda que su valor debe ser de al menos dos veces el valor del condensador de filtro de bucle, pese a que su valor no es crítico, si el valor del condensador del filtro es demasiado grande el encendido y apagado de la salida tendrá un retraso igual al tiempo que demora el condensador en alcanzar su voltaje umbral.

C. Filtro de bucle

El bucle de enganche de fase (PLL) incluido en el LM567 tiene una clavija para conectar el condensador de filtro de bucle de paso bajo. La selección del condensador para el filtro depende del ancho de banda deseado y a su vez la selección del ancho de banda del dispositivo es diferente de acuerdo con el nivel de voltaje de entrada, donde existen 2 condiciones;

Operación Con $V_i < 200\text{mVRMS}$: Cuando la señal de entrada es inferior a un umbral de tensión, normalmente de 200mVRMS , el ancho de banda de detección debe calcularse en base a la siguiente expresión:

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o C_2}} \text{ in \% of } f_o$$

Donde:

- V_i : Voltaje de entrada (con la condición de ser menor a 200mVRMS).
- C_2 : Capacitancia en el pin 2 (en unidades de μF).

Operación Con $V_i > 200\text{mVRMS}$: Para tensiones de entrada superiores a 200mV RMS , el ancho de banda depende directamente del producto de la capacidad del filtro de bucle y la frecuencia central de funcionamiento. El ancho de banda se representa como un porcentaje de la frecuencia central de funcionamiento y de acuerdo con el producto de, puede tener una variación del 2 al 14 %.

Tabla N°4 Valores aproximados de ancho de banda en función de “ $f_0 \cdot C_2$ ”

$f_o \times C_2$ (kHz μF)	Bandwidth (% of f_o)
62	2
16	4
7.3	6
4.1	8
2.6	10
1.8	12
1.3	14
< 1.3	14

D. Lógica de salida.

El LM567 está diseñado para proporcionar una salida cuyo valor al momento de la activación es tierra, es decir que al momento de detectar una frecuencia de entrada, dentro de la banda de paso de la frecuencia central, la salida es llevada a tierra, donde la salida lógica es un transistor de potencia de colector abierto el cual requiere una resistencia de carga externa que se utiliza para regular el nivel de corriente de salida y tener niveles lógicos definidos.

E. Alimentación

El LM567 está diseñado para funcionar con una fuente de alimentación de hasta 9 V, de la cual se recomienda disponer de un buen factor de regulación, además como la frecuencia de funcionamiento del dispositivo puede llegar a niveles muy altos para algunas aplicaciones, el desacoplamiento de la fuente de alimentación se vuelve crítica, por lo que se requiere para colocar un condensador de desacoplamiento lo más cerca posible a Pin VCC.

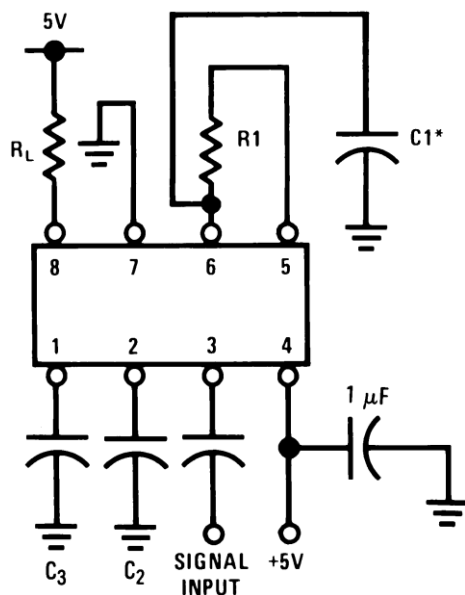


Figura 8.6 C.I. LM567 configurado como detector de frecuencia

BLOQUE 2. DISEÑO DEL RECEPTOR O DECODIFICADOR DE FRECUENCIA

La detección de la frecuencia del tono de control es realizada por un circuito integrado LM567, dispuesto como detector de tonos o frecuencia, el cual opera en base a un oscilador interno, en conjunto con una resistencia y un condensador externo definidos en la figura anterior como RV1 y C1, en este diseño en RV1 se emplea un potenciómetro ajustable multivuelta, el cual permite el ajuste exacto de la frecuencia de detección “f0”.

De acuerdo a los valores de frecuencia definidos para el transmisor, éste a sido diseñado para generar frecuencias regulables entre 20Khz a 100Khz, de este modo se decide diseñar el detector de frecuencia de manera de lograr ajustarlo para logre detectar frecuencias dentro del rango del transmisor. En base a lo anterior y empleando valores comerciales fueron definidos los siguientes componentes para el diseño:

-RV1= 10 K ohm

-C1= 20 nF

-C2= 100 nF

-Vin= 1 v (Aproximado debido a fluctuaciones en la red)

Diseño de frecuencia central de detección

$$\begin{aligned} \text{Frecuencia} \\ \text{Mínima} &= \frac{1,1}{RV1_{\max} \times C1} \\ &= \frac{1,1}{10 \text{ K} \times 20\text{nF}} \\ &= 5,5 \text{ Khz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Frecuencia} \\ \text{Máxima} &= \frac{1,1}{RV1_{\max} \times C1} \\ &= \frac{1,1}{0,5\text{K} \times 20\text{nF}} \\ &= 110 \text{ Khz} \end{aligned}$$

Finalmente con los valores definidos y con las expresiones de frecuencia central de detección dispuestas por el fabricante se logra generar un circuito capaz de detectar señales de frecuencia desde los 5,5 Khz. hasta 110 Khz., donde la frecuencia central de detección se puede definir previamente por medio del potenciómetro multivuelta RV1.

En cuanto al valor de C2 este define la frecuencia del filtro de bucle, en este caso aplica el punto “**operación Con Vi > 200mVRMS**” donde el ancho de banda depende directamente del producto de la capacidad del filtro de bucle y la frecuencia central de funcionamiento $f_0 \cdot C_2$, en nuestro caso el ancho de banda no es un punto altamente crítico debido a que esta primera aplicación solo se emplean señales de un valor de frecuencia fijo, de igual forma se presentan 2 condiciones:

$\begin{aligned} \text{Factor de bucle} &= f_0 \times C_2 \\ \text{mínimo} &= 5,5 \text{ KHz} \times 0,1\mu\text{F} \\ &= 0,55 \\ &14 \% \text{ de } f_0 = 770 \text{ Hz} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{Factor de bucle} &= f_0 \times C_2 \\ \text{máximo} &= 110 \text{ KHz} \times 0,1\mu\text{F} \\ &= 11 \\ &6 \% \text{ de } f_0 = 6,6 \text{ KHz} \end{aligned}$
--	--

De acuerdo a la información presente en el datasheet del circuito integrado LM567 el valor del filtro de bucle depende del valor de la frecuencia central a la que se opera y además del valor de condensador C2, al obtener el ancho de banda para los valores extremos de f_0 se establecen grandes diferencias, logrando observar que para un valor de C2 igual a 100 nF y trabajar con una frecuencia de 5,5 KHz se tiene un ancho de banda de tan solo 770 Hz, en cambio al trabajar con una frecuencia de 110 KHz el ancho de banda es de 6,6 KHz, bastante amplio, por lo cual este punto debe ser considerado a futuro si se desea implementar un sistema en el que interactúen más de una frecuencia de control.

Una vez configurado el circuito detector de tonos y además diseñado su rango de frecuencia a detectar se define el siguiente circuito, donde además se agregan unas pequeñas mejoras al diseño, principalmente para aumentar la potencia en la etapa de salida. Debemos recordar que el circuito propuesto lleva su salida o pin N°3 a un nivel bajo al detectar la frecuencia central para la cual a sido diseñado, por lo tanto esta salida no proporciona potencia, y solo es una señal de control.

Para llevar esta salida a un nivel de 220 volts, capas de energizar equipos, la salida del receptor se conecta a la puerta del triac U2 presente en el diseño, a través de un diodo Led, que además de dar indicación luminosa del funcionamiento, protege al circuito integrado de transitorios que puedan provenir de la red y la corriente de puerta del triac es limitada por la resistencia R2. Este dispositivo de potencia actúa como interruptor y está protegido contra sobretensiones debidas a la conexión y desconexión de cargas inductivas, por medio de la red formada por el condensador C7 y la resistencia R3. La potencia a controlar depende netamente de las características del triac disponible, en casos de mayor potencia el triac puede ser empleado para energizar la bobina de un contactor trifásico o monofásico con bobina de 220V ac y de este modo trabajar con mayores potencias.

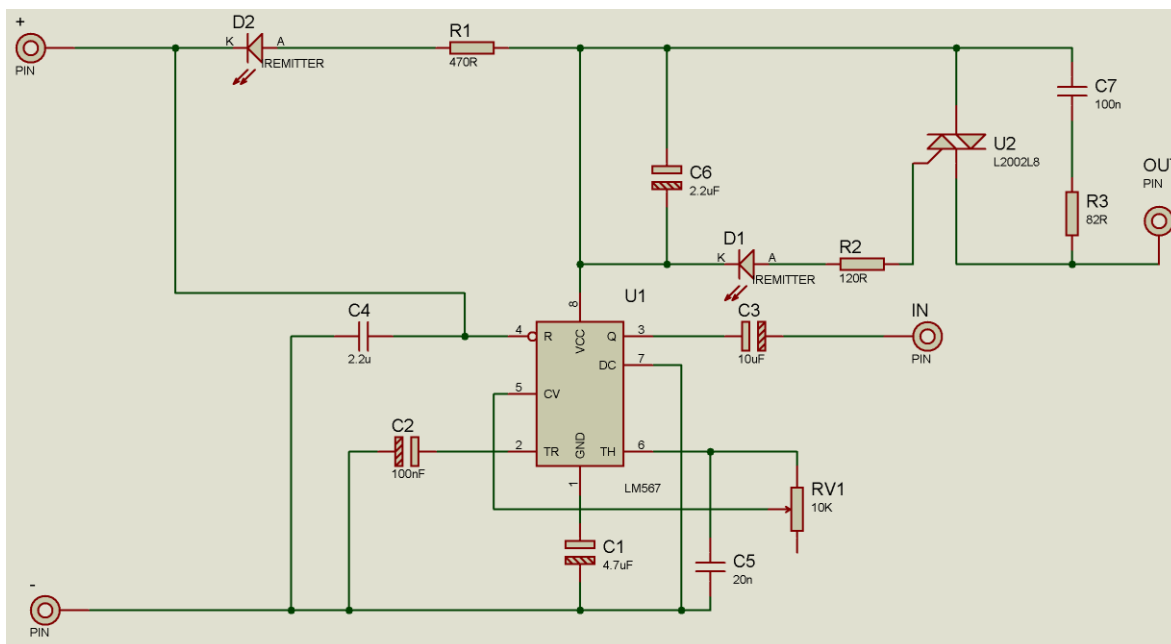


Figura 8.7 Receptor/detector de frecuencia diseñado en base a CI LM567

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se obtuvo el diseño del circuito del receptor, además se agrega un diodo Led que permita visualizar cuando el circuito se encuentre energizado, por medio del programa Proteus se logra diseñar un circuito similar con los componentes especificados en el diseño para luego generar un Layout de la PCB con las dimensiones reales de los componentes

Los componentes se distribuyen de tal forma que las pistas no queden cercanas entre si y generar la menor cantidad de puentes, además se genera un pin de entrada en serie al capacitor C3 de 10 uF, para conectarse directamente desde la placa a la red eléctrica, esta placa esta diseñada solamente para el decodificador de frecuencia, quedando fuera el bloque de potencia y protección obteniendo la siguiente PCB.

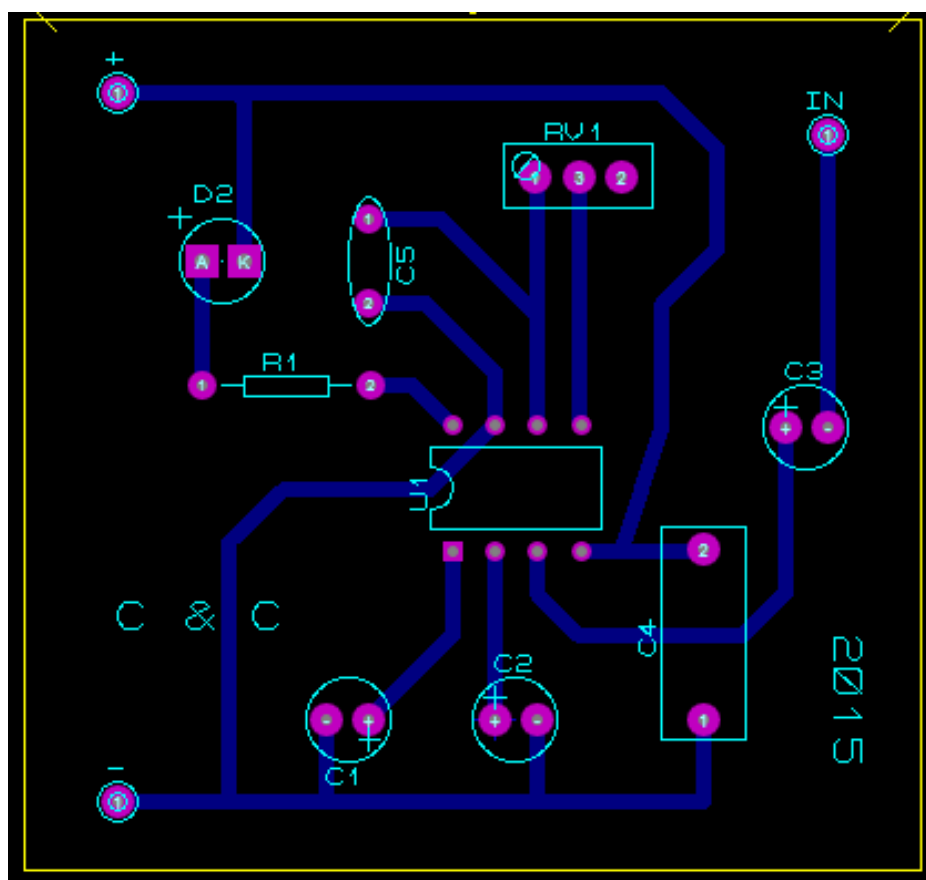


Figura 8.8 PCB circuito receptor en base a LM56

Adicionalmente Proteus permite generar una visualización en 3D para comprobar el diseño y el tipo de componentes que hemos usado sean los correctos en el circuito de simulación, estos componentes tienen que ser de la tecnología de agujero pasante THT, en sus siglas en inglés (Through-Hole Technology) ya que la placa es diseñada para este tipo de tecnología.

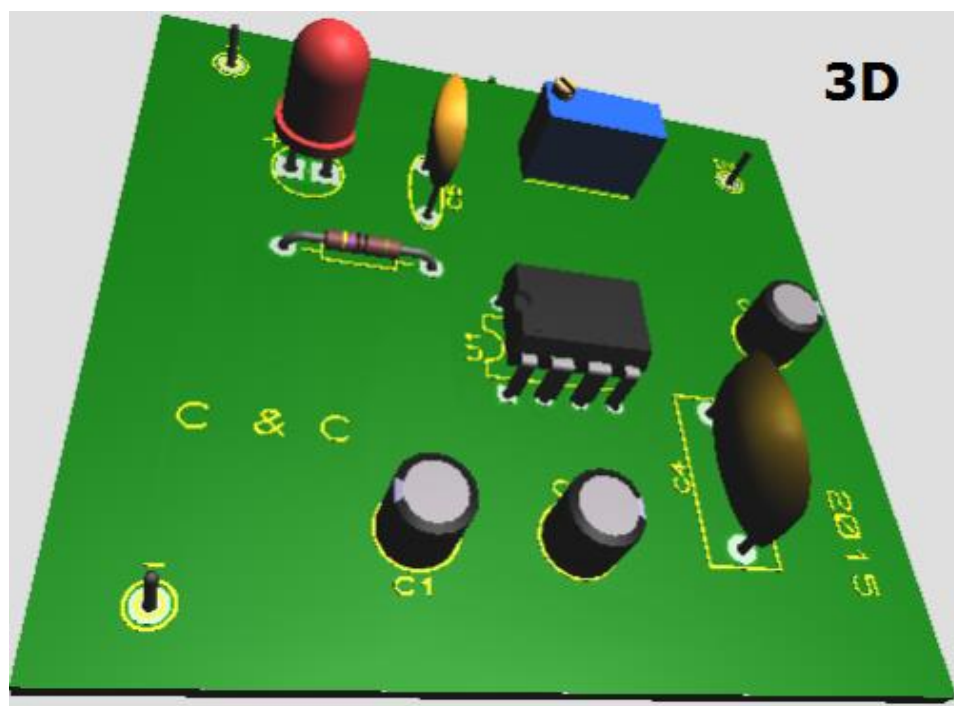


Figura 8.9 Vista 3D de PCB diseñada para el receptor

Una vez obtenida la vista 3D se comprueba que los componentes reales disponibles y los componentes usados en el diseño correspondan según su forma física, y además por medio de un pie de metro se procede a comprobar que las dimensiones de los pines de componentes reales y simulados sea iguales, de lo contrario se producirán problemas al momento del montaje.

Una de las grandes ventajas de diseñar empleando Proteus es que se permite generar el conexionado, luego crear la PCB y tener una vista 3D de la placa diseñada, todo esto para finalmente exportar los archivos de placa hacia una máquina fresadora disponible dentro de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, perteneciente a la Universidad del Bío Bío, logrando generar placas de alta calidad.

CAPITULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES RESPECTO DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE ALTA FRECUENCIA POR MEDIO DE LA RED ELÉCTRICA.

Con el uso de la tecnología PLT/PLC, los cables ya existentes en ambientes residenciales, comerciales e incluso industriales pueden ser usados de forma complementaria como medio de transmisión de señales de alta frecuencia, como señales de control en domótica, red para Internet y otros servicios. La tecnología PLT/PLC además puede trabajar de forma híbrida con otras tecnologías, para solucionar problemas de accesibilidad, interferencia o zonas muertas (en el caso de redes inalámbricas), o simplemente como una forma de acceso al usuario aumentando la cobertura.

No todas las redes de distribución de energía eléctrica son iguales, es por esto que hay caracterizarlas, este trabajo establece los procedimientos para llegar a hacerlo y proporciona referencias en base a los resultados aquí obtenidos. Cabe mencionar que si bien las pruebas se realizaron para una red in-home o red doméstica, las mismas se pueden extender para ser usadas en medio y alto voltaje con los acoples diseñados en este trabajo, los cuales soportan Peak de hasta 5KV, donde a través del uso de los acoples PLT construidos con transformadores encapsulados del fabricante VAC, se puede utilizar los dispositivos de medición digitales, sin correr riesgo de dañarlos al momento de conectarlos a la red eléctrica para hacer las mediciones necesarias.

Según los resultados se pueden concluir que efectivamente las redes eléctricas son aptas para transmitir a frecuencias principalmente entre 1-30 MHz, teniendo en cuenta que los dispositivos deben poseer ciertos requerimientos de potencia de Transmisión y Recepción, así como análisis de canal y esquemas de modulación robustos. Además se puede afirmar que una red adecuada para transmitir datos posee una atenuación con valor máximo de 30 dB a una distancia de hasta 25m (Sin excesiva concentración de cargas), las frecuencias por debajo de 1MHz son las que sufren menor atenuación sin embargo este rango es el que concentra los mayores niveles de ruido.

RECOMENDACIONES

La atenuación máxima para frecuencias portadoras a una distancia de hasta 25 m (distancia recomendada) es de 30 dB, valores superiores indicarán, problemas de cableado como cables pelados, cables viejos, malos acoples de alambre, fugas a tierra, etc. Es claro notar el aumento de la atenuación, al aumentar la distancia, pero no existe un comportamiento proporcional, ya que existen ciertos puntos o frecuencias con caídas muy pronunciadas, por lo que no es posible caracterizarla. Las impedancias del cableado sin cargas como con cargas deben ser lo más similar posible a la impedancia de los dispositivos PLT (50-70 Ω) para garantizar la mejor transferencia de la señal al canal.

Se debe caracterizar el acople PLT antes de realizar las pruebas con el fin de proteger los dispositivos digitales de medida a ser utilizados. No hay que olvidar que en todas las pruebas se encuentra incluido el efecto del acople PLT, que si bien no afecta mucho se lo debe tomar en cuenta al momento de la caracterización. Los factores que se deben tener más en cuenta son la atenuación debido a la distancia, la respuesta en frecuencia y las cargas en la red eléctrica.

El principal problema observado a lo largo del presente trabajo son los altos niveles de ruido al emplear la red eléctrica. De acuerdo a esto la tecnología PLT emplea la transmisión Línea-Neutro, a lo largo de lo estudiado se ha recomendado emplear una transmisión Línea-Tierra. Sin embargo los niveles de ruido Peak to Peak, contrario a lo que se podría deducir, aumentan en casi un 50%, lo cual empeora las condiciones de transmisión. Este efecto se produce debido a que el ruido electrónico es de tipo aditivo, al existir en la red una serie de ruidos provenientes de diferentes fuentes al emplear la transmisión fase-neutro, estos ruidos se anulan entre si, provocando una disminución del ruido total existente.


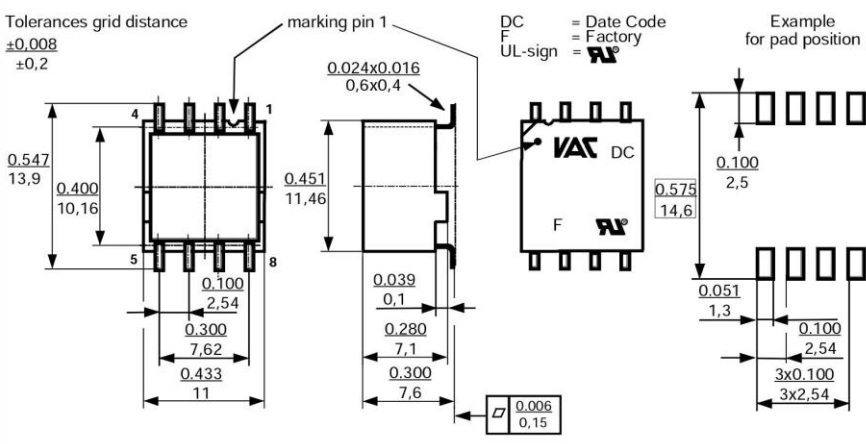
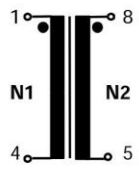
Un gran aporte a esta tecnología sería el generar una normativa orientada a los equipos conectados a la red de modo que no inyecten perturbaciones a la red eléctrica, agregando filtros de baja frecuencia.


REFERENCIAS

- [1] Dan Xu, *Optimal Topology Discovery Meter Reading Using “Power line Carrier”*.
- [2] *Lucha contra las interferencias y el ruido eléctrico*, Xavier Paradell.
- [3] Norma chilena N°4/2003, punto 15 .
- [4] <http://www.upsistemas.cl/PDF/transformador%20de%20aislacion.pdf>
- [5] R. Gómez, M. Leiva Benegas, *\Sistema de Telecomunicaciones por Redes. COPITEC*.
- [6] <https://sites.google.com/site/marconormativoambiental/chile>
- [7] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1041108>
- [8] <http://es.wikipedia.org/wiki/Atenuaci%C3%B3n>
- [9] *Sistemas de comunicaciones Electrónicas*, W. Tomasi (2003)
- [10] Morgan H.L. Chan, “Attenuation of Communication Signal Residential And Comercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol EMC-28 n° 4, pp 220-230, November 1986.
- [11] “Implementación de laboratorio de pruebas de transmisión de datos sobre líneas de potencia eléctrica para el centro de investigación científica CITIC”
- [12] “ J.R. Nicholson and J.A. Malack, “RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Network in Conducted Interference Measures” , *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* , Vol EMC-15 n° 2, pp 84-86, May 1973”
- [13]https://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_m%C3%BAltiple_por_divisi%C3%B3n_de_frecuencias_ortogonales.


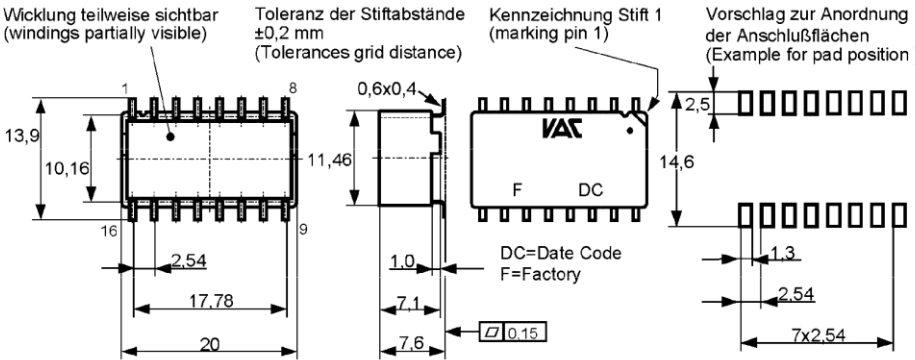
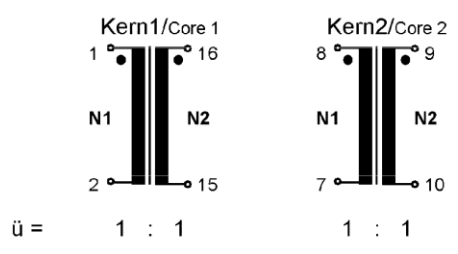
ANEXOS


**DATASHEET TRANSFORMADOR VAC T60403-K5024-X044 EMPLEADO EN
CIRCUITOS DE ACOPLO PARA APLICACIONES DESDE 10 KHZ A 1 MHZ**

		Specification		Part No.: T60403-K5024-X044	
K-No.: 23188		Signal -Transformer		Date: 22.07.2014	
Customer: Standard Type			Customer part No.:		Page 1 of 3
Mechanical outline (Inches / mm) General tolerances DIN ISO 2768-c				Connections:	
Tolerances grid distance $\pm 0,008$ $\pm 0,2$				Not connected pins 2,3,6,7	
				Marking:	
 <p>Turns ratio = 1 : 1</p>				Operational data/characteristic data (nominal values): $f = 10 \text{ kHz} \dots 1 \text{ MHz}$ $m = 1,88 \text{ g}$ $I_{RMS} < 30 \text{ mA (50/60Hz)}$ $R_{Cu1} \leq 200 \text{ m}\Omega$; $R_{Cu2} \leq 200 \text{ m}\Omega$ $L_{S1-2} \leq 0,30 \mu\text{H}$; $C_{K1-2} \leq 25 \text{ pF}$ Operating temperature: $-40 \text{ }^\circ\text{C} \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$ Storage temperature: $-40 \text{ }^\circ\text{C} \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$	
Inspection: (V: 100%-Test; AQL...: DIN ISO 2859-Part1)					
1) (V)	M3014:	$U_{p,r.m.s.} = 5,5 \text{ kV}$,	2s,	N1 vs N2	
2) (AQL 0,25)	M3214:	$L_1 \geq 0,75 \text{ mH}$,	$f = 10 \text{ kHz}$,	$U_{AC,r.m.s.} = 100 \text{ mV}$, $I_{DC} = 30 \text{ mA}$	
3) (V)	M3011/6:	Polarity / Turns ratio: Tolerance $\pm 2\%$			
4) (AQL 0,25)	M3011/1:	$L_1 = 1,40 \text{ mH} \pm 30\%$,	$f = 10 \text{ kHz}$,	$U_{AC,r.m.s.} = 100 \text{ mV}$	
5) (Fix 05)	M3291:	Solderability acc. to chapter 1			
6) (AQL 1/S4)	M3200	Mechanical test			
See page 2					
Applicable documents: See page 2					
Date	Name	Index	Changes		
22.07.14	Pf.	89	Characteristic data: $I_{DC} < 30 \text{ mA}$ changed to $I_{RMS} < 30 \text{ mA (50/60Hz)}$. Lapidary change.		
26.10.12	Pf.	89	Operational data: $I_{DC} < 30 \text{ mA}$ inserted. Lapidary change.		
Editor.: KB-E	Designer: Bs.		KB-PM: Ert. check		Released.: HH

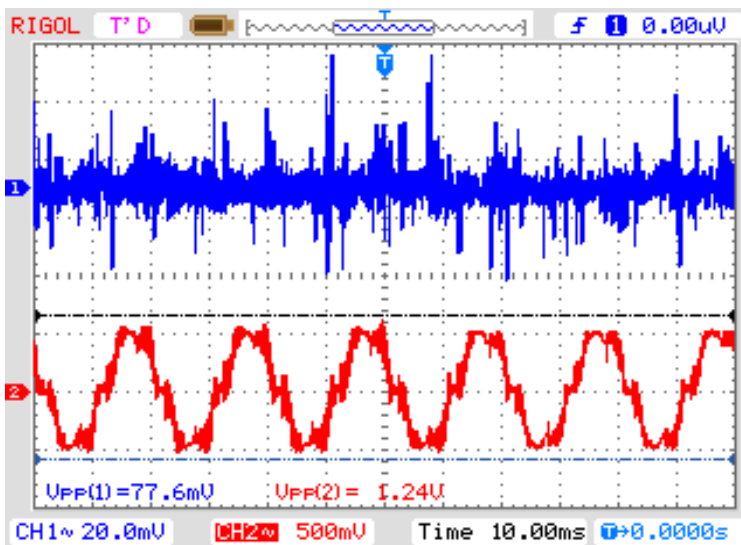
	Specification	Part No.: T60403-K5024-X044			
K-No.: 23188	Signal -Transformer			Date: 22.07.2014	
Customer: Standard Type		Customer part No.:		Page 2 of 3	
<p>Type test:</p> <p>1) High voltage test according to M3014 $U_{p,r.m.s.} = 6 \text{ kV}$, 1 min, N1 vs N2</p> <p>2) M3292: Lötwärmebeständigkeit nach Abschnitt 2 Resistance to soldering heat acc. to chapter 2</p> <p>Measurements after temperature balance of the test samples at room temperature</p> <p>Applicable documents:</p> <p>Designed, manufactured and tested in accordance with EN 60950-1 and complies with the standards. Parameters: Reinforced insulation: N1 – N2 Working voltage $U_{r.m.s.} = 250 \text{ V}$ Material group: 3 Overvoltage category: 3 Pollution degree: 2</p> <p>Following report is available:</p> <p>Certificate of Compliance of the Underwriters Laboratories Inc. (UL) (File No. E169721). It is confirmed that this component meets the safety requirements of the following standards: UL 60950-1, 2nd edition; C22.2 No. 60950-1-07, 2nd edition.</p> <p>Housing material, casting resin and wire UL - listed</p> <p>Packing: Packing according to M3510</p> <p>Packing: Drypack / MSL according VAC M3027</p>					
Editor.: KB-E	Designer: BS.		KB-PM: Ert. check		Released.: HH

**DATASHEET TRANSFORMADOR VAC T60403-K5026-X023 EMPLEADO EN
CIRCUITOS DE ACOPLO PARA APLICACIONES DE 1 MHZ HASTA 30 MHZ**

		DATENBLATT / Specification		Sach Nr.: T60403-K5026-X023 Item no.:									
K-Nr.: 23070 K-no.:		Powerline Übertrager / Power Line Transformer			Datum: 25.09.2003 Date:								
Kunde: Customer			Kd. Sach Nr.: Customers part no.:		Seite 1 von 2 Page of								
Maßbild (mm) Freimaßtoleranz DIN ISO 2768-c Mechanical outline (mm): (General Tolerances DIN ISO 2768-c)					Anschlüsse: Connections:								
Wicklung teilweise sichtbar (windings partially visible) Toleranz der Stiftabstände ±0,2 mm (Tolerances grid distance) Kennzeichnung Stift 1 (marking pin 1) Vorschlag zur Anordnung der Anschlußflächen (Example for pad position)					Leerstifte: Dummy pins: 3, 4, 5, 6 11, 12, 13, 14								
					Beschriftung: marking 5026X023 F DC								
Anschlußschema: Schematic diagram			Betriebsdaten/Charakteristische Daten (Richtwerte): Operational data/characteristic data (nominal values):										
			$R_{Cu1} \leq 100 \text{ m}\Omega$; $R_{Cu2} \leq 180 \text{ m}\Omega$ (Kern1/core1; Kern2/core2) $C_k \leq 15 \text{ pF}$; $f = 1 \text{ kHz}$ (N1 gegen/to N2) $L_S \leq 200 \text{ nH}$; $f = 100 \text{ kHz}$ (Kern/core1; Kern2/core2) $C_W \leq 2 \text{ pF}$ $m = 3.4 \text{ g}$ Betriebstemperatur/operating temperature: $-40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$ Lagertemperatur/storage temperature: $-40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$										
Prüfung: (V: 100%-Test; AQL...: DIN ISO 2859-Teil1) Inspection													
1) (V) M3014: $U_{p,eff} = 3.0 \text{ kV}$, 2 s, N1 gegen/to N2 (Kern/core1, Kern/core2)													
2) (AQL 0,25) M3011/1: $L_1 \geq 30 \mu\text{H}$, $f = 10 \text{ kHz}$, $U_{AC,eff} = 100 \text{ mV}$ (Kern/core1; Kern2/core2)													
3) (V) M3011/6: Polarität / Übersetzungsverhältnis: Toleranz $\pm 2\%$ (Kern/core1, Kern/core2) Polarity / Turns ratio: Tolerance													
Weitere Vorschriften: Siehe Seite 2 Applicable documents: See page 2													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Name</th> <th>Index</th> <th>Änderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25.09.03</td> <td>Gr.</td> <td>81</td> <td>Operational data: LS-value changed. Insignificant amendment.</td> </tr> </tbody> </table>						Datum	Name	Index	Änderung	25.09.03	Gr.	81	Operational data: LS-value changed. Insignificant amendment.
Datum	Name	Index	Änderung										
25.09.03	Gr.	81	Operational data: LS-value changed. Insignificant amendment.										
Hrsg.: KB-FB FT editor		Bearb: Gr. designer		KB-PM B: RS. check									
				freig.: Gr. released									

		DATENBLATT / Specification		Sach Nr.: T60403-K5026-X023 Item no.:	
K-Nr.: 23070 K-no.:		Powerline Übertrager / Power Line Transformer		Datum: 25.09.2003 Date:	
Kunde: Customer		Kd. Sach Nr.: Customers part no.:		Seite 2 von 2 Page of	
<p>Typprüfung: Type test:</p> <p>1) Lötwärmebeständigkeit nach IEC 61760-1 Resistance to soldering heat according to IEC 61760-1</p> <p>2) Stoßspannungsprüfung in Anlehnung an M3064 HV transient test according to M3064</p> <p>N: 1 – 2 (Kern1/core1, Kern2/core2)</p> <p>Einstellwerte/Settings: 1.2 µs / 50 µs-Kurvenform (waveform) $U_{P,max} = 7.30 \text{ kV}$ $R_i = 60 \Omega$</p> <p>3 Impulse im Abstand $t = 10$ Sekunden mit wechselnder Polarität 3 pulses in a cycle of $t = 10$ seconds with changing polarity</p> <p>3) Hochspannungsprüfung in Anlehnung an M3014 High voltage test according to M3014</p> <p>$U_{p,eff} = 4 \text{ kV}$, 60 s, N1 gegen/to N2 (Kern1/core1, Kern2/core2)</p> <p>Messungen nach Temperaturangleich der Prüflinge an Raumtemperatur Measurements after temperature balance of the test samples at room temperature *vorläufig/preliminary</p> <p>Weitere Vorschriften: Applicable documents</p> <p>Konstruiert, gefertigt und geprüft nach DIN/VDE 0110 und erfüllt die Vorschriften. Parameter: Verstärkte Isolierung: N1 – N2 (Kern1, Kern2) Verschmutzungsgrad 2 Betriebsspannung $U_{eff} = 400 \text{ V}$ Isolierstoffklasse 1 Überspannungskategorie: 4</p> <p>Constructed, manufactured and tested in accordance with DIN/VDE 0110 and agrees with the standards. Parameters: Reinforced insulation: N1 – N2 (core1, core2) Pollution degree 2 Working voltage $U_{rms} = 400 \text{ V}$ Material group 1 Insulation category: 4</p> <p>Gehäusewerkstoff, Gießharz und Draht UL-gelistet Housing material, casting resin and wire UL - listed</p>					
Hrsrg.: KB-FB FT editor		Bearb: Gr. designer		KB-PM B: RS. check	
				freig.: Gr. released	

**COMPARACION GRAFICA ENTRE ACOPLER LC DE BUENA CALIDAD (AZUL)
Y UN ACOPLER CAPACITIVO DE PESIMA CALIDAD (ROJO), DONDE SE
OBSERVA LA MALA ATENUACION DE LA SEÑAL DE 220V Y 50 HZ.**



**SUMA ENTRE EL RUIDO EN EL ESPECTRO DE 20KHZ A 1MHZ (AMARILLO)
Y EL RUIDO EN EL ESPECTRO DE 1MHZ A 30MHZ (CELESTE),
OBTENIENDO EN LA SEÑAL MORADA EL RUIDO TOTAL DE LA RED
ELÉCTRICA. EN TODO EL ESPECTRO DE FRECUENCIA**

