

FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO FINAL:

**RED MULTINODAL PARA DETECTAR
INHIBICIONES EN SISTEMAS DE
SEGURIDAD VEHICULAR**

Coronel Martín, Fantin Stéfano, Giletta Julian

Docentes evaluadores:

Candiani, Carlos

Rabinovich, Daniel

Galleguillo, Juan

*Agradecemos profundamente a nuestra familia
que siempre nos apoyó en este largo camino
y a la Universidad Tecnológica Nacional,
particularmente a la carrera de ingeniería electrónica, la cual siempre se
caracterizó por la buena organización y la búsqueda del bienestar estudiantil.*

Resumen

En este documento se plasma el proceso de investigación y desarrollo de un sistema multinodal pensado para detectar inhibiciones en los sistemas de seguridad vehicular que funcionen en la frecuencia de 433,92MHz.

El dispositivo planteado cuenta con tres unidades de recepción, las cuales denominamos nodos, y una central de procesamiento encargada de comunicarse y gestionar la información por estos recolectada.

Para la comunicación entre los nodos y la central se utiliza el protocolo RS485, y para comunicar la central con un servidor web, teniendo así los datos a disposición remotamente, se hace uso de un módulo GSM.

Índice general

Resumen	II
1. Introducción	2
1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Codificación en sistemas de seguridad vehicular	3
1.1.2. Estructura de transmisión	5
1.1.3. Tipos de inhibiciones	6
1.1.4. Estrategias de inhibición	9
1.1.5. Detección de inhibiciones	13
2. Características generales del diseño	17
2.0.1. Objetivos globales del sistema	17

Índice de figuras

1.1. Software Defined Radio utilizado para tomar las primeras mediciones	5
1.2. Demodulación ASK de señales de controles remotos en 433,92 MHz	6
1.3. Espectro de señal random bits modulada ASK en 433,92 MHz	7
1.4. Presencia de inhibidor en ancho de banda de recepción	8
1.5. Compresión de la ganancia por no linealidad de tercer orden .	10
1.6. Donde a) es el canal a inhibir, b) inhibición por ruido de banda ancha, c) inhibición por ruido de banda parcial continuo, d) inhibición por ruido de banda parcial discontinuo, e) inhibición por ruido de banda angosta, f) inhibición por tono	12
1.7. Diagrama en bloques de sistema de comunicación ASK inhibido	13
1.8. Bit Error Rate para comunicación ASK inhibida.	14
1.9. Curva de ganancia de MAX1470	15

Índice de cuadros

Capítulo 1

Introducción

Hoy en día en muchos países, y particularmente en la Argentina, se presenta una recurrente modalidad de delincuencia que trata de inhibir los sistemas de seguridad vehicular, no permitiendo que estos se cierren y pudiendo tener completo acceso a su interior. Es una metodología muy usada debido a que no se hace uso de la fuerza bruta para ingresar al vehículo y apela a la distracción del usuario.

Siendo conscientes de esta problemática nos hemos empeñado en desarrollar un sistema de detección de los dispositivos utilizados con este fin. Como se verá más adelante se ha hecho un relevamiento de los dispositivos incautados por la policía a través de notas periodísticas y con vínculos internos a departamentos policiales que pusieron a disposición la información presente sobre estos.

Los inhibidores pueden operar corrompiendo la trama de datos emitida por el llavero, no dejando así que el receptor del vehículo pueda identificar el intento de comunicación y también lo pueden hacer saturando el receptor, cosa que de igual manera este no puede identificar la comunicación intentada. Creemos importante que el dispositivo a diseñar abarque estas dos posibilidades.

Otra característica importante a la hora de encarar el proyecto es determinar la frecuencia de operación. Los controles remotos poseen transmisores de radio de corto alcance que operan en dos bandas posibles: 433,92 MHz para vehículos de origen europeo y asiático y 315 MHz para vehículos de origen norteamericano. En la Argentina la mayor cantidad de sistemas de seguridad operan en 433,92 MHz por lo que nos pareció adecuado diseñar el detector para esta frecuencia.



Una vez definidos los requerimientos básicos del desarrollo es importante establecer el lugar en el que creemos adecuado que opere. Es así que surge la idea de tener al menos tres nodos receptores capaces de identificar si hay o no un inhibidor en las inmediaciones de este y que la información que recolecte sea enviada a una unidad de procesamiento, que denominamos "central", la cual se encargaría de comunicarse con los nodos, recopilar la información y subirla a una base de datos, permitiendo la visualización remota de lo que está sucediendo en tiempo real y, de ser posible, triangular la posición estimada del dispositivo inhibidor dentro del arreglo de receptores.

Esto sería emplazado en un estacionamiento utilizando una estrategia de disposición que se analizará más adelante

1.1. Marco teórico

Es importante realizar un estudio profundo sobre el tema que vamos a abordar, ya que es necesario definir un método novedoso que satisfaga la necesidad de distinguir interferencias de señales legítimas generadas por un control remoto.

1.1.1. Codificación en sistemas de seguridad vehicular

Desde los inicios de los sistemas remotos de apertura y control vehicular hasta ahora se ha transitado un largo camino. El primer sistema de identificación por radiofrecuencia fue ingresado en el mercado por Renault en el modelo Fuego en el año 1995. Todo este tiempo desde su puesta en uso hasta la fecha ha servido para definir y universalizar las metodologías usadas para comunicarse, intentando dar una mejora en cuanto a la seguridad y efectividad del sistema.

Sistemas de código fijo

Esta es la forma más difundida de codificación para los controles remotos vehiculares en nuestro país. Se trata de un código de comunicación fijo, que precisa estar preestablecido en el circuito integrado del dispositivo, el cual se mantiene constante para la acción a realizar. De esto podemos notar que para los controles remotos comunes que poseen opción de cierre y apertura



del automóvil se tienen solo dos códigos fijos que realizan cada una de estas acciones y que, eventualmente, podrían ser copiados y replicados para generar la acción codificada.

Sistemas de código variable

Esta metodología no está muy difundida en nuestra región. Se trata de un sistema de seguridad que no repite el mismo patrón para ejecutar la acción de cierre o apertura del vehículo para evitar que se pueda leer y replicar el código. Usualmente se hace uso de un generador de números pseudoaleatorios que se encuentra en el emisor y receptor, un contador de pulsaciones en el emisor y un contador de recepciones en el vehículo. Cuando el control remoto envía la señal para realizar una acción en el vehículo este manda su contador, el cual será comparado con el interno del receptor y, de estar dentro de la ventana de aceptación definida en el sistema de seguridad, el automóvil autentica el mensaje recibido y actualiza el contador interno, ya que este puede diferir al de la llave. Hay diversos tipos de encriptación de la comunicación; aquí solo mencionaremos los más difundidos: Hitag 1, Hitag 2, Hitag AES, DST-40, Keeloq

Sistemas por desafío

El sistema por desafío es actualmente el más utilizado en autos de alta gama. En este caso el control remoto intenta comunicarse y el vehículo envía una pregunta desafío que tiene que ser respondida correctamente para validar la comunicación.

En esta variante por lo que fácilmente se puede observar es necesario que el control remoto y el vehículo tengan la capacidad de emitir y recibir datos, generando una comunicación bidireccional. Hay muchas variantes de desafío requerido por el vehículo, pero la más utilizada es la de validación de contraseña, donde el desafío pedido es pedir la contraseña y esta será o no validada. Esto en definitiva no impide que sea replicado el patrón de comienzo de comunicación y la autenticación, por lo que hay modalidades más avanzadas como tener una tabla de códigos pseudoaleatorios definida en ambos dispositivos y asociada a un identificador, de modo que el vehículo requiera el código por medio de este no dando lugar a que un escucha externo pueda saber a qué valor está asociado.



1.1.2. Estructura de transmisión

Tener noción previa de lo que esperamos recibir cuando hacemos un análisis de una señal es de gran importancia, por lo que en esta sección analizaremos la estructura de transmisión de un control remoto de autos.

Como antes fue mencionado no hay solo una frecuencia de operación, pero sí hay una que es ampliamente difundida en nuestro país y en esa nos centraremos (433,92 MHz), la modulación utilizada en la mayor cantidad de estos dispositivos es ASK, por su fácil implementación. Con esta información ya seríamos capaces de demodular la señal y analizar la estructura.

Para la demodulación de la señal hemos utilizado un SDR (Software Defined Radio) como el que se puede observar en la figura 1.1, el cual fue facilitado por el centro de investigación G.In.T.E.A (Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada) de la Universidad Tecnológica Nacional, facultad regional Córdoba.



Figura 1.1: Software Defined Radio utilizado para tomar las primeras mediciones

En la figura 1.2 podemos observar las primeras mediciones tomadas. Aquí podemos distinguir la estrategia de transmisión que se utiliza. En un comienzo la señal posee un preámbulo, el cual es utilizado por el receptor para sincronizar el reloj del receptor para decodificar correctamente los paquetes del transmisor. Después del preámbulo hay una palabra de sincronización que se utiliza para evitar choques con otros dispositivos que operan en esa banda y por último se encuentra la señal de código real.



Al presionar el botón del control remoto el preámbulo es enviado una única vez y luego se envía la palabra de sincronización y el comando de acción repetidamente hasta que se deje de accionar. El espectro de la señal transmitida se puede observar en la figura 1.3, la cual es una simulación en el software AWR de una transmisión de datos random modulados ASK.

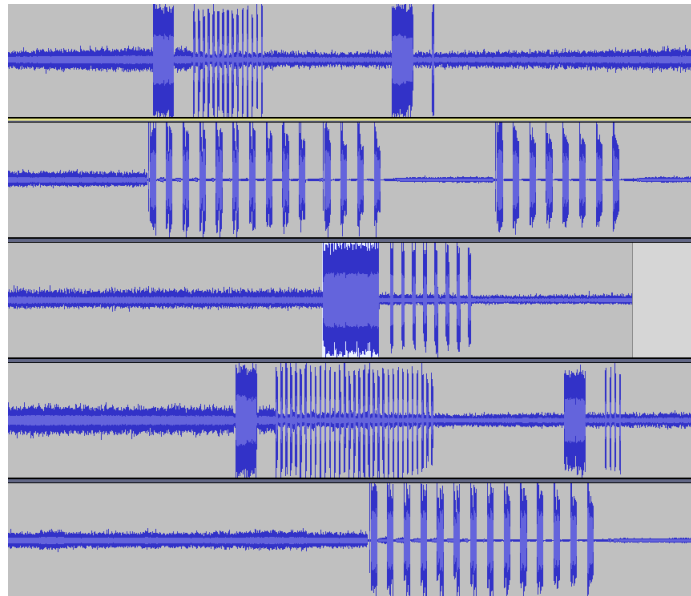


Figura 1.2: Demodulación ASK de señales de controles remotos en 433,92 MHz

1.1.3. Tipos de inhibiciones

Un inhibidor, o en inglés jammer, es un dispositivo desarrollado con el objetivo de deteriorar la comunicación en un enlace de radiofrecuencia. Este objetivo puede ser logrado mediante dos estrategias:

- Inhibición por corrupción de datos
- Inhibición por saturación de etapa receptora

Inhibición por corrupción de datos

El ataque más evidente que se presenta para inhibir una comunicación es el de inyectar en el canal que se desea perjudicar una señal con datos

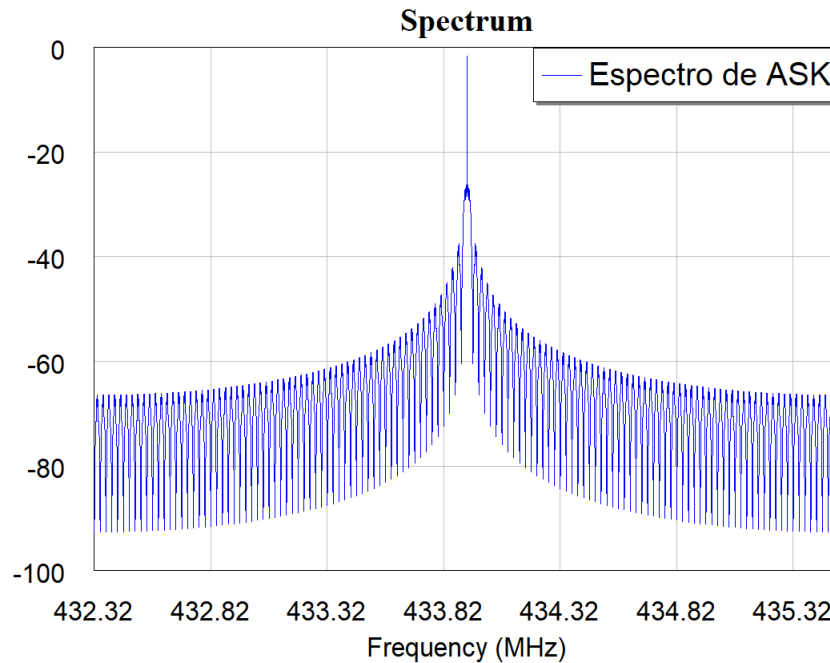


Figura 1.3: Espectro de señal random bits modulada ASK en 433,92 MHz

aleatorios que perjudique la relación señal ruido (SNR) y dificulte la recepción para el sistema.

En el caso particular de los vehículos, los receptores de radiofrecuencia que se utilizan y sobre los que basamos nuestro análisis son de 433,92 MHz con un filtro de ancho de banda de entrada de 300 KHz -como se puede observar en [1].

El ancho de banda de recepción da lugar a sumar ruido en el canal, alterando así los datos recibidos por el demodulador. Una figura ilustrativa se puede observar en la imagen 1.4 de [2].

Existen diversas alternativas para efectivizar este tipo de interferencias. En la figura 1.4 se observa que se ha inyectado una interferencia de ancho de banda angosto, pero también podría sumarse un tono, multitonos o sumar una señal de gran ancho de banda que tape completamente el canal.

Las alternativas antes mencionadas hacen referencia a inhibidores no inteligentes, los cuales están metiendo ruido constantemente. Hay otras alternativas de inhibiciones que de manera continua están escuchando el canal y

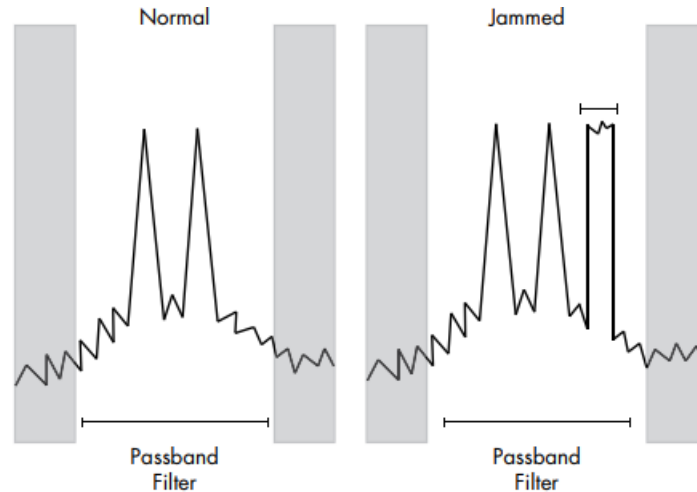


Figura 1.4: Presencia de inhibidor en ancho de banda de recepción

cuando detectan una señal que desean interferir comienzan a emitir el ruido. Estos casos serán detallados más adelante.

Inhibición por saturación de etapa receptora

Los receptores de radiofrecuencia usualmente están diseñados asumiendo que se recibirá una pequeña señal de entrada, por lo que la primer etapa presente es un amplificador de bajo ruido. Este es clave para que el ruido del mezclador no afecte la relación señal ruido de las etapas siguientes. Entre las especificaciones importantes de dichos amplificadores de RF se incluyen la figura de ruido, la ganancia y la intercepción de intermodulación de tercer orden.

[6]-[7]

La influencia de grandes señales de interferencia se manifiesta de varias formas. Una de estas es en la intermodulación de tercer orden en la que dos señales, una pequeña (de interés) y la interferente (de gran amplitud), se superponen. La interferente podría saturar el receptor de modo que la señal de interés presente una pequeña ganancia. Este efecto es causado por la no linealidad de tercer orden del sistema y la relación entrada salida está regida por 1.1.

$$y(t) \approx a_1x(t) + a_2x^2(t) + a_3x^3(t) \quad (1.1)$$



Donde y es la salida del sistema y a_1, a_2, a_3 son coeficientes. Ahora supongamos que la entrada, como es de esperar con lo antes descripto, resulta:

$$x(t) = V_1 \cos(\omega_1 t) + V_2 \cos(\omega_2 t) \quad (1.2)$$

V_1 representando a la señal de interés y V_2 a la interferente. Reemplazando en la ecuación 1.2 en 1.1 y asumiendo que la interferencia es mucho más grande que la señal, la salida del sistema en la frecuencia de interés ω_1 resulta ser 1.3.

$$y(t) \approx \left(a_1 x(t) + \frac{3}{2} a_3 V_2^2 \right) V_1 \cos(\omega_1 t) \quad (1.3)$$

Para que el sistema comprima la ganancia, como es evidente que sucede, el producto $a_1 a_3 < 0$. De aquí se puede observar entonces que la salida del sistema en la frecuencia deseada es función de V_2^2 , que la ganancia decae saturando el sistema y por ende se decrementa la SNR. Esto es fácilmente observable en la figura 1.5.

1.1.4. Estrategias de inhibición

Antes hemos presentado los principios de inhibición que se pueden utilizar, en este apartado se tratará de una manera generalizada las diversas estrategias existentes para inhibir sistemas de comunicación. Cada una de estas estrategias tienen ventajas y desventajas, por lo que es necesario hacer un análisis del ámbito de aplicación para elegir la más adecuada.

Inhibición por ruido de banda ancha

La característica principal de este tipo de estrategia es que introduce energía dentro de todo el ancho del espectro donde opera la comunicación. Es aplicable a cualquier tipo de señal y es ideal para inhibir comunicaciones que tienen destinada una gran parte del espectro de frecuencias. Este método tiene una fuerte desventaja y es que la potencia de interferencia aportada en el canal deseado tiene una muy baja densidad debido a es aplicada a un gran ancho de banda.

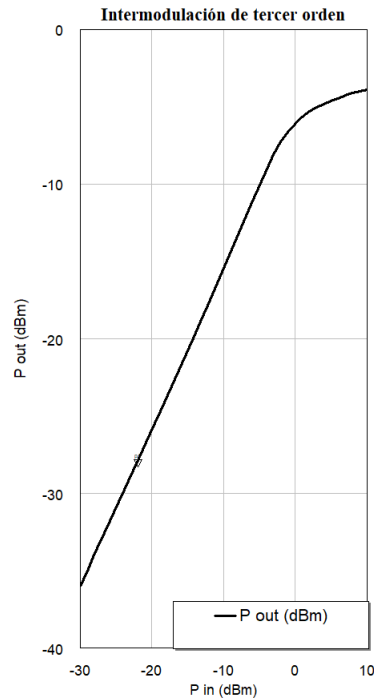


Figura 1.5: Compresión de la ganancia por no linealidad de tercer orden

Inhibición por ruido de banda parcial

Este método opera inyectando ruido en bandas específicas del espectro, de modo que se efectúa la inhibición en zonas de interés. Estas zonas pueden ser continuas o discontinuas, por lo que se destina más inteligentemente la potencia consumida. El ejemplo más trivial aplicado a nuestro campo sería el de un inhibidor que funcione en 433,92 y en 315 MHz, siendo aplicable a todos los canales de comunicación de controles remotos.

Inhibición por ruido de banda angosta

Este caso es el más utilizado en el campo de inhibición sobre el que nos centramos ya que permite puntualizar la potencia en una pequeña banda aumentando la densidad de potencia espectral. Para su aplicación es necesario conocer precisamente el canal a atacar debido a que las comunicaciones inalámbricas de banda angosta poseen un angosto filtrado.



Inhibición por tono

Se utiliza una señal constante que se modula con la portadora resultando una señal de muy angosto ancho de banda. En sistemas de comunicación avanzados posee una alta eficiencia de interferencia ya que perjudica la recuperación de la sintonización a causa de que el receptor detecta la señal como una segunda portadora y de que más potencia por Hertz (densidad de potencia espectral) gracias a que está más concentrado en el canal, como profundamente se analiza en [8].

Inhibición por pulsos

En esta estrategia nos enfocamos en el tiempo que se genera la interferencia. Se hace uso de uno de los métodos anteriores de inhibición y se desata la misma de manera inteligente. De aquí surge el concepto de aplicar la estrategia a casos específicos, permitiendo, por ejemplo: romper tramas específicas de datos conocidas cuando se detecta un CLT/RTS, interferir el dato de direccionamiento MAC o romper exclusivamente la trama de datos.

Inhibición por barrido y seguimiento

Esta es una aplicación del ruido de banda parcial. Se realiza una variación rápida del posicionamiento espectral de la interferencia para inhibir un gran ancho de banda teniendo un mejor aprovechamiento de la potencia disponible.

De esta alternativa se desprende la capacidad de seguimiento de la señal inhibidora, permitiendo contrarrestar estrategias de comunicación que hacen uso de saltos de canales para ser efectivas.

Simulación de inhibición por ruido de banda parcial

En este apartado se ha elegido la metodología de inyección de ruido de banda parcial para ser simulado y mostrar como decae la calidad de comunicación y, por ende, la capacidad de recepción de la información. La simulación fue realizada con el software AWR de Cadence.

El diagrama en bloques se puede observar en la figura 1.7, este cuenta de 4 secciones principales:

- Inhibidor de potencia variable: este bloque inyecta ruido blanco al sistema en la frecuencia definida como portadora, que en nuestro caso es

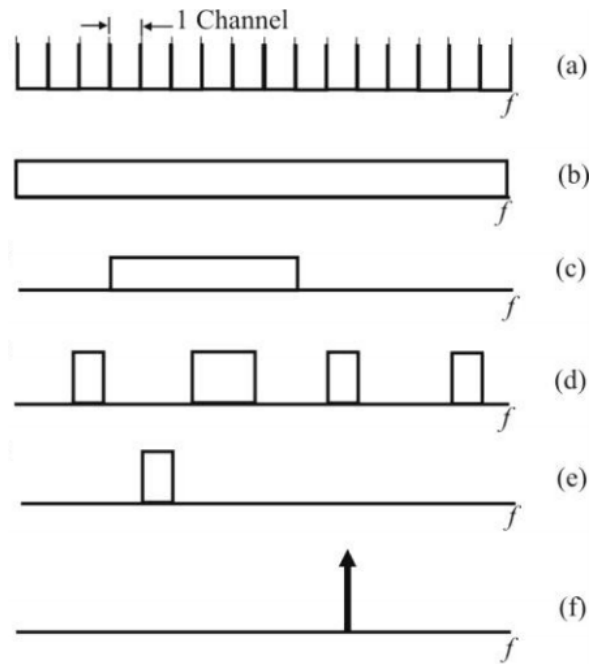


Figura 1.6: Donde a) es el canal a inhibir, b) inhibición por ruido de banda ancha, c) inhibición por ruido de banda parcial continuo, d) inhibición por ruido de banda parcial discontinuo, e) inhibición por ruido de banda angosta, f) inhibición por tono

433,92 MHz. La potencia de ruido va a variar entre 0 y -30 dBW, lo que sería igual a decir entre -30 y -60 dBm.

- Emisor de señal: el emisor de señal es un modulador de ASK que modula una generación aleatoria de bits a 2500 baudios con la portadora.
- Medio de enlace: en este caso está representado con un combinador de señal RF, el cual va a servir para sumar la potencia de las dos señales anteriores.
- Demodulador: en esta instancia se produce la demodulación de la señal ASK más el ruido blanco agregado. Al final posee un bloque que se encarga de controlar el BER (Bit Error Rate), chequeando cuántos datos de los enviados efectivamente fueron recibidos.

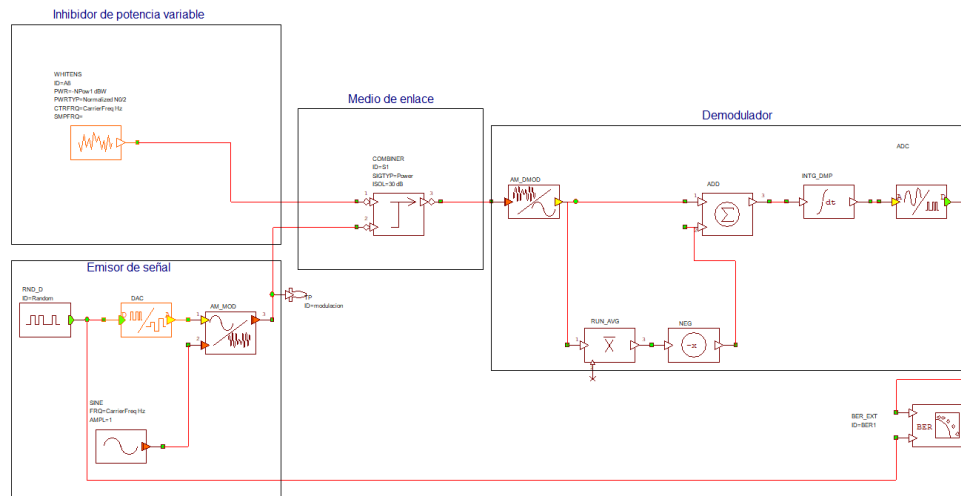


Figura 1.7: Diagrama en bloques de sistema de comunicación ASK inhibido

Como antes se menciona, y como se puede observar en la figura 1.8, el error de recepción alcanza su valor máximo cuando el ruido inyectado es de 0 dBW (-30 dBm). En la figura se puede leer un valor de $BER = 0.4866$, el cual es lógico debido a que la modulación ASK solo posee dos símbolos, por lo que la probabilidad de que coincida el dato generado por el ruido y el esperado es del 50 %. Por otro lado el valor mínimo de error en la simulación propuesta sucede cuando la potencia del inhibidor es de -30 dBW (-60 dBm) teniendo un error de cuatro bits por cada diez mil recibidos.

1.1.5. Detección de inhibiciones

En esta sección trataremos los métodos que pueden utilizarse para detectar interferencias en enlaces de radiofrecuencia. Es importante que sea robusta la detección, en principal que el funcionamiento del sistema que se pretende asegurar no pueda desatar una falsa alarma. En el caso puntual de aplicación de este proyecto el sistema debería poder identificar una inhibición y no debería reaccionar a las señales de controles remotos que van a estar funcionando en el área circundante. Hay algunas características las cuales son naturales pensar como sensibles de analizar para detectar inhibiciones, y estas son:

- Potencia de la señal recibida

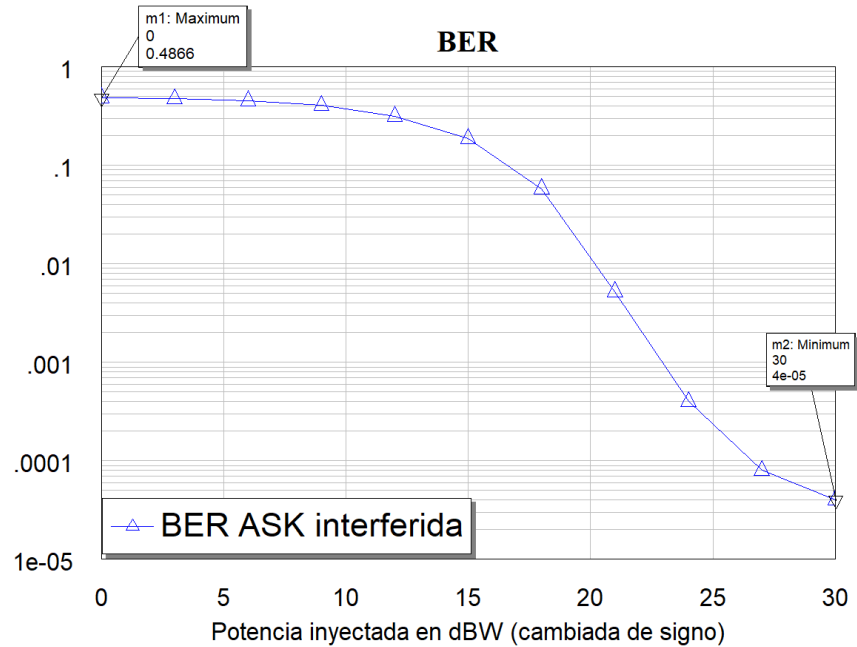


Figura 1.8: Bit Error Rate para comunicación ASK inhibida.

- Sensado temporal de portadora
- Ocupación del canal

Potencia de la señal recibida

Como antes se ha definido, el receptor sufre compresión de ganancia en su primera etapa amplificadora cuando la potencia recibida es alta comparado a la potencia de señal que se espera recibir y para el que fue diseñado. Es por esto que resulta natural analizar los niveles de potencia recibidos, estableciendo un valor a partir del cual se señale como alarmante para la correcta recepción de la información. En el caso particular de los dispositivos de control remoto en los sistemas de seguridad vehicular resulta más sencillo el análisis debido a que los dispositivos emisores que se utilizan son de baja potencia comparado a la necesaria para saturar un receptor típico. En [7] se realiza el análisis del receptor MAX1470 [1], muy difundido en sistemas de control remoto tanto en el ámbito automotriz como también en sistemas de portones de apertura inalámbrica, sistemas de seguridad,



sensores inalámbricos y mucho más. Este integrado es un receptor de ASK superheterodíneo de bajo costo que posee un mezclador de rechazo de imagen que mezcla la señal a una frecuencia intermedia de 10,7 MHz. En la figura 1.9 se puede observar que la ganancia del sistema de recepción se aplana aproximadamente con una entrada de -35 dBm.

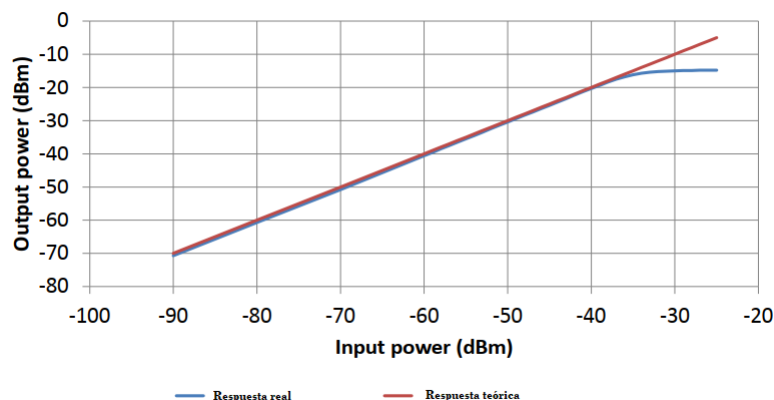


Figura 1.9: Curva de ganancia de MAX1470

Sensado temporal de portadora

Esta es una estrategia muy utilizada en sistemas de comunicación en que se realiza un envío efectivo de paquetes cuando se detecta que el canal de transmisión está desocupado. Esta característica hace sensible al sistema de ser engañado dejando presente una señal portadora de información que engañe a los dispositivos emisores de la red.

En nuestro caso no nos detendremos a hacer un análisis profundo de esta metodología ya que es ajena a nuestro potencial mecanismo de detección debido a que, como se menciona en 3.1.2, el control remoto emite señal cuando es accionado un botón que este posee, haciendolo de manera continua hasta que deje de ser apretado. Es fácil ver que esta característica de la comunicación hace inútil aplicar esta estrategia de detección

Ocupación del canal

El sistema de comunicación que nos basamos para desarrollar este trabajo tiene la particularidad de que la comunicación unilateral que sucede



entre los dispositivos de emisión (controles remotos) y recepción (vehículos) tienen una muy baja tasa de ocupación de canal. Esto se debe a la trama de datos empleada. La misma, como antes fue explicado, posee un período de sincronización que es una rápida variación de estados, para que el receptor pueda engancharse en fase a la recepción, y luego envío de paquetes de datos separados por espacios vacíos de información. Esta característica nos da una relación de bits en alto recibidos respecto a los medidos de un valor porcentual muy bajo. Es por esto que esta medición en el canal, usandola estratégicamente, nos puede dar mucha información de lo que está sucediendo.

Capítulo 2

Características generales del diseño

2.0.1. Objetivos globales del sistema

En base a la información recolectada establecemos los requerimientos base del que se parte para el diseño del producto final. Creemos adecuado realizar la separación de requerimientos en primarios y secundarios, ya que el sistema a desarrollar está enmarcado en el proyecto final de la carrera de grado de ingeniería electrónica donde, en conjunto con la cátedra, se intenta que los proyectos puedan culminarse en un plazo de tiempo lógico para la obtención del título, dando la posibilidad de seguir explayándose en el mismo a posterior.

De este modo, como objetivos primarios podemos establecer:

- Identificar la presencia de señales con una potencia suficiente para inhibir la comunicación: como en el marco teórico se ha estudiado en profundidad, la etapa amplificadora receptora sufre una compresión de la ganancia cuando en su entrada hay presente una señal de alto nivel de potencia. Es por esto que se establece como requerimiento del sistema poder identificar una señal que cumpla con estas características.
- Sensado temporal de portadora
- Ocupación del canal



capacidad de detectar inhibición de potencia o corrupción Una forma de atacar la señal de un llavero es atascándola pasando datos basura dentro de la banda de paso del receptor RFID, el área en la que el receptor está escuchando una señal válida (pagina 217 imagen)