

# Guía para módulos de RF RR10, RT11, RRFQ1 y RTFQ2



Iván Sarmiento  
[isarmien@olimax.cl](mailto:isarmien@olimax.cl)  
Septiembre 2008

## *Contenidos*

Introducción	1
Funcionamiento de los módulos	2
RR10 y RT11	2
RRFQ1 y RTFQ1	5
Velocidades de transmisión	7
Modulación AM	7
Modulación FSK	9
Comunicación Serial	10
Bauds	11
Conexión con microcontrolador	11
Distancia de comunicación	13

## *Introducción*

Actualmente vivimos en un mundo cada vez más inalámbrico, donde las puertas se abren con una clave en radiofrecuencia, donde el control remoto se ha vuelto la herramienta de mayor uso doméstico y existe más telefonía celular que residencial. En este contexto el desarrollo de prototipos con potencialidad inalámbrica se vuelve relevante en la electrónica actual. Los módulos RR10, RT11, RRFQ1 y

RTFQ2 distribuidos en Chile por Ingeniería MCI Ltda. son una solución de bajo costo y alta simplicidad adecuados para innumerables aplicaciones.

El presente documento pretende mostrar las potencialidades de estos sistemas de radiofrecuencia mediante explicación de su funcionamiento.

## ***Funcionamiento de los módulos***

La frecuencia portadora de estos módulos es de 433,92 MHz la cual se sitúa dentro de las bandas de frecuencia ISM, la cual es de uso generalmente libre para cualquier aplicación industrial, científica o médica cuya principal regulación es de que los equipos funcionando a esas frecuencias deben ser capaces de soportar la interferencia de otros equipos que también estén operando en ese rango de frecuencia y mantener una potencia de transmisión relativamente baja. En Chile la banda alrededor de la frecuencia de operación de los módulos esta reservada para aficionados. Para mayor información sobre el uso de radiofrecuencias remitirse a la subsecretaría de telecomunicaciones del gobierno de Chile: <http://www.subtel.cl> (la información específica se puede encontrar en ítem de regulación)

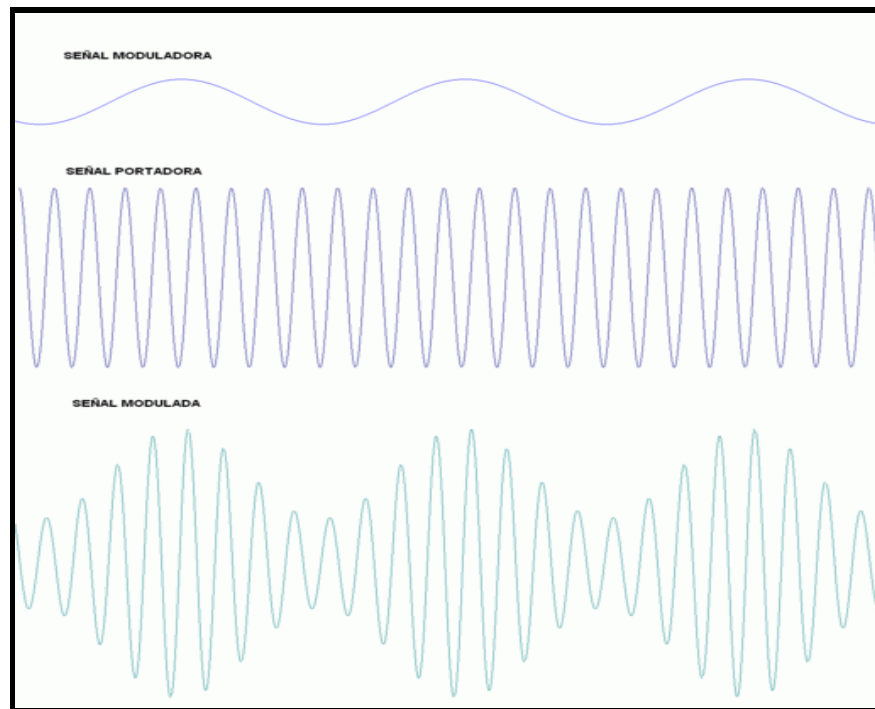
Estos aparatos utilizan 2 mecanismos de modulación de radiofrecuencia que ofrecen potencialidades diferentes. El transmisor RT11 y el receptor RR10 usan modulación AM que logra mayor alcance pero menor velocidad de transmisión e inmunidad ante el ruido. Los otros 2 módulos, el transmisor RTFQ1 y el receptor RRFQ2 utilizan modulación FSK la cual es muy parecida a la modulación FM pero con la salvedad que permite transmisión de datos digitales. FSK ofrece mayor robustez frente al ruido y tasas de transferencia de datos mayores que la opción AM a costo de disminuir el alcance.

A continuación se explicará brevemente el mecanismo de funcionamiento de los módulos de radiofrecuencia. Se aconseja descargar los datasheet de estos equipos puesto que es necesario ver sus diagramas de bloques para entender los siguientes párrafos. Es posible obtener estos datasheet en nuestra página web:

- RR10: <http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/Telecontrolli/rr10.pdf>
- RT11: <http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/Telecontrolli/rt11.pdf>
- RRFQ1: <http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/Telecontrolli/rrfq1.pdf>
- RTFQ1: <http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/Telecontrolli/rtfq1.pdf>

## ***RR10 y RT11***

La modulación AM consiste en variar la amplitud de una onda portadora con otra onda de una frecuencia menor. La amplitud se modula mediante una señal de entrada, o sea la amplitud se la hace proporcional a la intensidad de la señal moduladora o de entrada.



Modulación en Amplitud (obtenido de wikipedia.org)

El transmisor RT11 posee 3 bloques relevantes

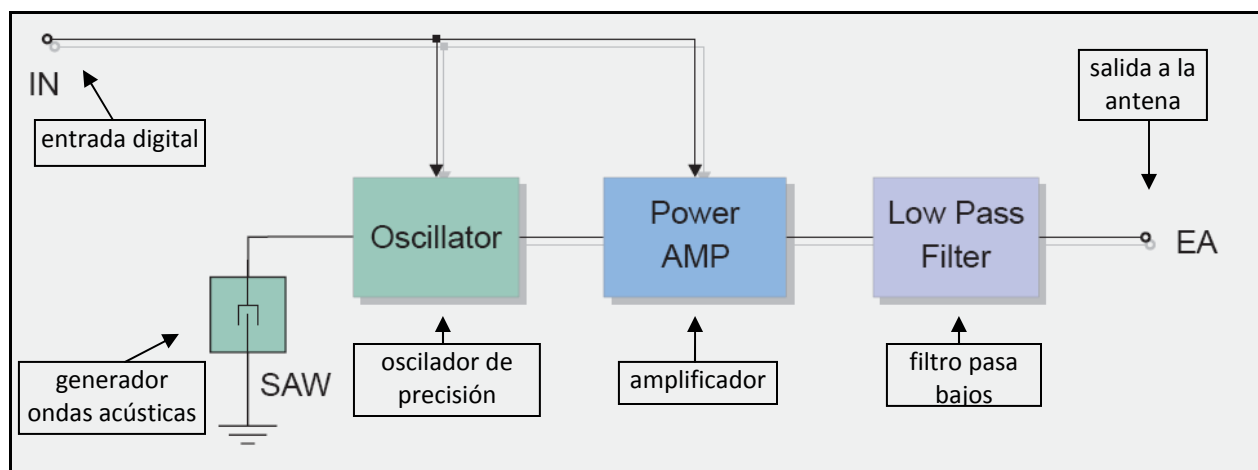


Diagrama de bloques RT11 (obtenido del datasheet)

En primer lugar nos encontramos con un oscilador de precisión que funciona a base de ondas acústicas superficiales (surface acoustic wave) que entrega la frecuencia de transmisión portadora, onda que luego entra a un bloque de amplificación. El oscilador opera si y sólo si la señal de entrada supera un voltaje de entrada mínimo, en cambio la etapa de amplificación es donde esta señal de entrada modula a la onda portadora. Como etapa final se posee un filtro pasa bajos que elimina el ruido de alta frecuencia provocado por el proceso de modulación. Este es un sistema en extremo simple para

transmitir datos que puede transmitir inclusive datos análogos pero en estos módulos está diseñado para la transmisión de datos digitales.

Por el otro lado nos encontramos con el receptor RR10 cuyos bloques relevantes son los que veremos en la figura siguiente:

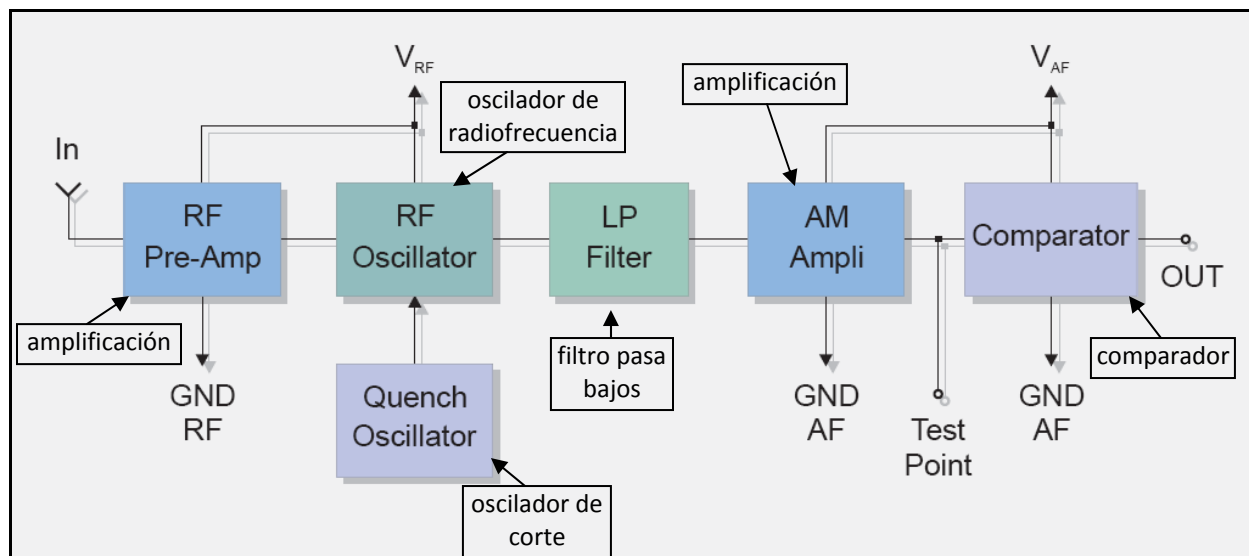
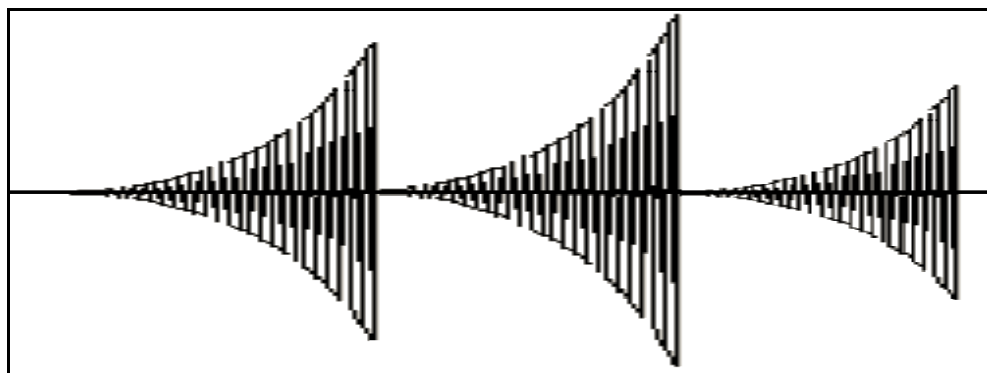


Diagrama de bloques RR10 (obtenido del datasheet)

En el pin de salida sólo entregará valores binarios gracias a un comparador que posee como bloque de salida, aunque posee un pin de test que se puede usar para obtener datos análogos. El RR10 es un receptor súper regenerativo, mecanismo de recepción que consiste en una etapa de amplificación con retroalimentación positiva sintonizada en la frecuencia de la portadora, la cual es periódicamente cortada (quenching) con una frecuencia lo suficientemente rápida como para evitar la saturación de la amplificación retroalimentada pero también lo suficientemente menor a la frecuencia de la onda portadora como para que tenga utilidad la amplificación (ver diagrama).



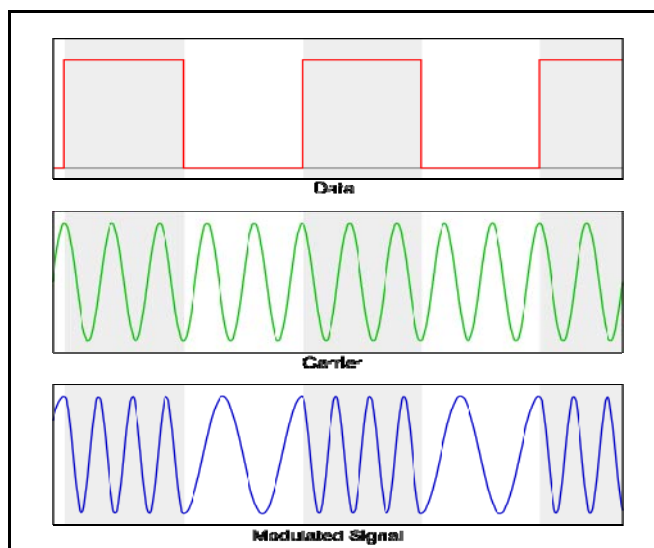
Onda amplificada por retroalimentación positiva con corte periódico

En el datasheet esta etapa de recepción súper regenerativa es referida como un oscilador de radiofrecuencia (RF Oscillator) y un oscilador de apagado (Quench Oscillator).

La señal captada por la antena entra a una etapa de preamplificación (RF Pre-Amp) que posee una ganancia muy baja, esta señal preamplificada entonces es ingresada a la etapa de amplificación super regenerativa cuya salida posee un filtro pasa bajos (bloque LP Filter), filtro que reconstruye la señal moduladora original que provenía del RT11. Esta salida es amplificada (AM Ampli) a un voltaje útil como para la etapa final de comparación (Comparator) de donde obtenemos sólo valores binarios. Esa última etapa ofrece la función de eliminar la distorsión por ruido que obtiene la señal por el medio de transmisión inalámbrico.

### RRFQ1 y RTFQ1

La modulación FSK es una modulación exclusivamente digital que consiste en cambiar la frecuencia de la onda portadora entre 2 posibilidades dependiendo de si la señal de entrada esta en High o Low.



Modulación FSK (obtenida de wikipedia.org)

En el transmisor poseemos los siguientes bloques

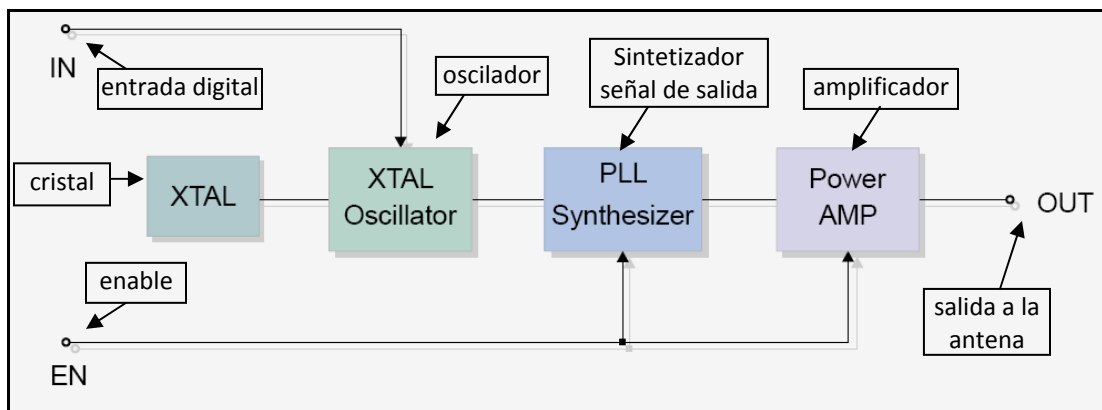


Diagrama de bloques RTFQ1 (obtenido del datasheet)

La señal binaria de entrada genera un leve cambio en la frecuencia de la señal de salida del oscilador de cristal (XTAL Oscillator), este cambio se produce por una alteración en el voltaje en los condensadores del oscilador. La frecuencia de salida la vez es la frecuencia de referencia del PLL (PLL Synthesizer) que posee un divisor de frecuencia en su retroalimentación. Con este divisor el PLL logra alcanzar los 433,92 MHz de salida. Notar que la frecuencia del cristal es de 13,560 MHz, 32 veces menos que la de salida. El leve cambio en la oscilación debido a la entrada binaria, logra que la salida del PLL del transmisor RTFQ1, al estar enclavada a la del oscilador, tenga 2 frecuencias de salida muy similares. Por último se posee una etapa de amplificación antes de la antena. Ambos, PLL y amplificación funcionan si y sólo si el pin Enable está High (o sea a 3,3 volts).

En la recepción se utiliza un principio llamado superheterodino, cuyo diagrama de bloques es:

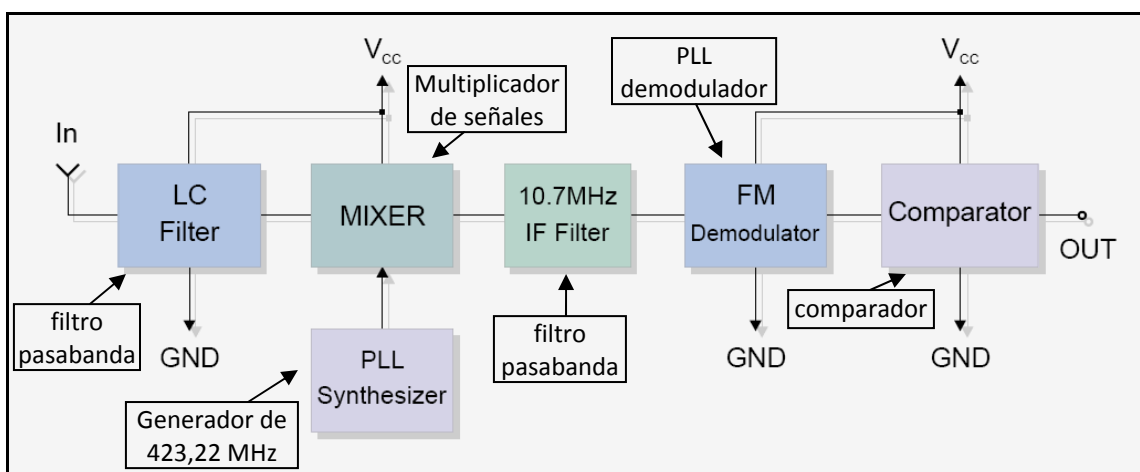


Diagrama de bloques RRFQ1 (obtenido del datasheet)

La señal recibida por la antena luego de pasar por un filtro pasa banda (LC Filter) es multiplicada (Mixer) por una señal con frecuencia 10,7 MHz inferior a la portadora, o sea 423,22 MHz, proveniente de un multiplicador de frecuencia conectado a un cristal de 13,227 MHz (PLL Synthesizer). Note que  $13,227 \times 32 = 423,264$ . El resultado de esa multiplicación es una señal que posee 2 componentes principales de frecuencia, la primera posee una frecuencia que es la resta de las dos frecuencias de las señales de entrada y la segunda componente posee una frecuencia que es la suma de las frecuencias de ambas señales. La componente con mayor frecuencia de la señal de salida del multiplicador no presenta utilidad a la hora de demodular la señal original ya que posee una frecuencia muy alta con un valor aproximado de 857 MHz, en cambio la otra componente esta centrada alrededor de los 10,7 MHz, frecuencia fácilmente demodulable. El siguiente bloque es entonces un filtro pasa banda de 10,7 MHz (IF Filter) que luego entra al demodulador FSK (FM Demodulator). Este último bloque consiste en un PLL con frecuencia central 10,7 MHz y la entrada al detector de fase es la señal de salida filtro IF. Esta configuración genera en la salida del detector de fase y entrada al VCO del PLL un voltaje proporcional a la señal original que al ser comparado con uno de referencia genera la salida binaria deseada.

## Velocidades de transmisión

Estos dispositivos logran distintas velocidades de transmisión y recepción de datos. El sistema AM logra tasas de transferencias del orden de 2000 baudios, mientras que el sistema FSK puede llegar a los 4800 baudios según lo indica el fabricante en sus respectivos datasheets.

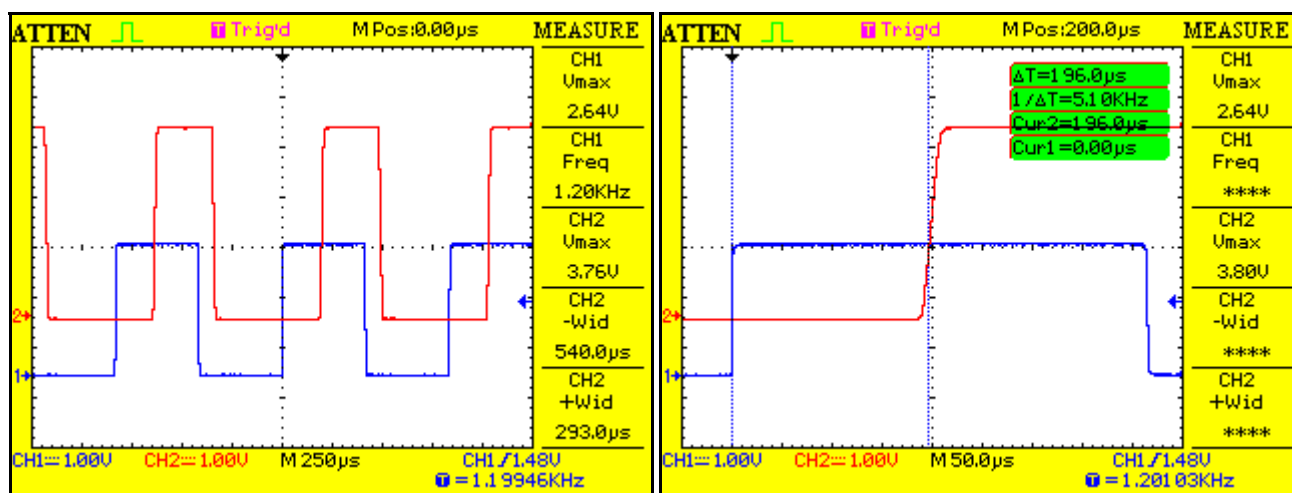
Estas velocidades límites dependen de la aplicación o del hardware que codifique y decodifique las señales de entrada y de salida. Al ir aumentando la tasa de transferencia, la señal de salida comienza a distorsionarse, siendo la exigencia que imponga la decodificación sobre esta distorsión la verdadera velocidad límite. Los elementos análogos además agregan retardo a las señales en especial los filtros y los PLLs. Para entender estos conceptos de manera más precisa es necesario visualizar las formas de onda de entrada y salida para los distintos módulos.

Es posible apreciar la forma de las ondas transmitidas y recibidas utilizando un osciloscopio.

### Modulación AM

A continuación se presentarán un conjunto de capturas de la pantalla de un osciloscopio obtenidas en el laboratorio de MCI donde se observan la señal de entrada en color azul y la de salida en rojo, imágenes que servirán de apoyo para explicar ciertos conceptos que es necesario entender al usar equipos de radiofrecuencia. Mostraremos la forma de onda resultante a la salida del receptor versus la señal de entrada a distintas velocidades de transferencia ocupando como referencia a veces las velocidades comunes del UART. Estos módulos operan hasta 2KHz que es la máxima capacidad del receptor RR10 (revisar datasheet).

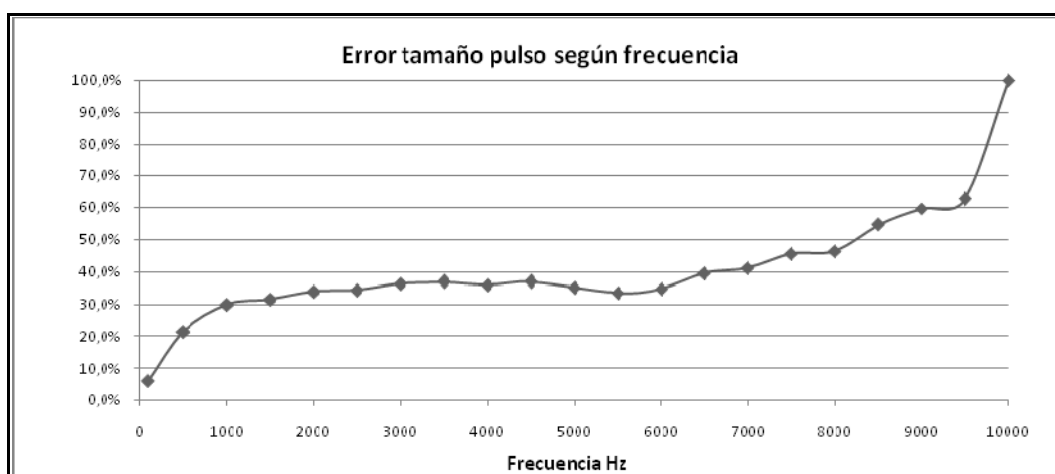
Primero veamos que ocurre con un tren de pulsos a una frecuencia 1,2KHz.



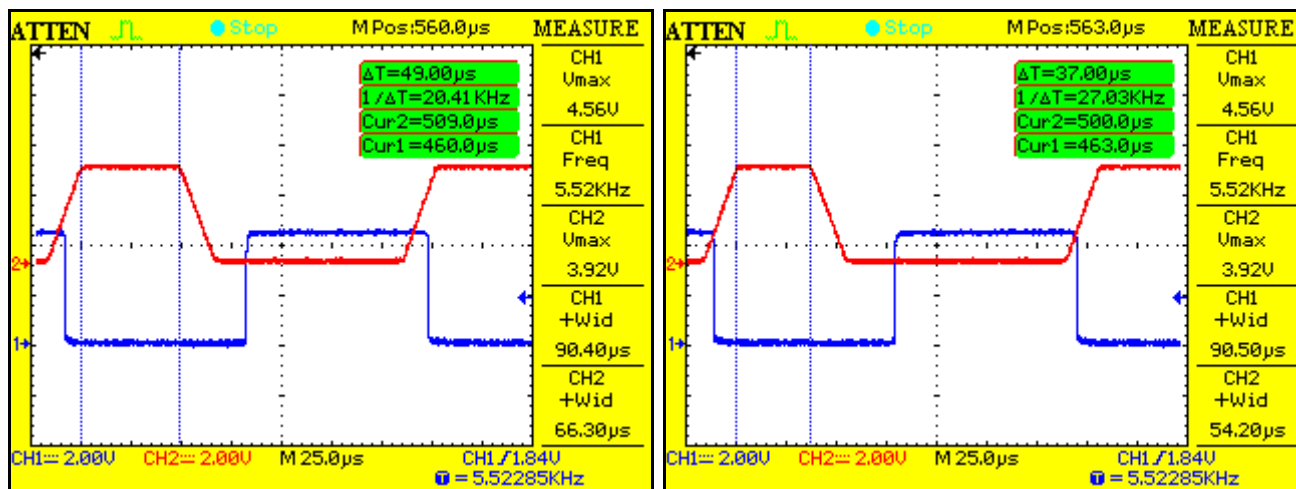
Señales de entrada (azul) y salida (rojo) a 1,2KHz

En general, en los elementos que contengan cierto grado de características capacitivas o inductivas especialmente los filtros que inducen distorsión y retardo en las señales analógicas. Por ejemplo, en la captura de la señal de salida se nota un retardo de unos 196µs con respecto a la señal de

entrada. Si recuerdas la explicación del funcionamiento de estos módulos el receptor usa una técnica llamada super-regenerativa que toma un pequeño tiempo para lograr la reproducción de la señal original induciendo cierta demora en la recepción, existe además el filtro pasa bajos en el transmisor y otro en el receptor. Estos factores en conjunto bastan entender el porque se genera un delay. Nota que al final del pulso en la señal de salida el delay obtenido en la bajada es menor que el obtenido al inicio del pulso, esto produce entonces una distorsión en la señal cambiando el ancho del pulso, lo que puede producir un enorme error al momento de usar este medio para transmisión de datos seriales. En nuestro ejemplo de 1,2 kHz el ancho del pulso es de  $293\mu\text{s}$  en cambio el ancho del pulso original es de  $416\mu\text{s}$ , esta diferencia de  $123\mu\text{s}$  no es buena, sin embargo para la comunicación serial mientras este pulso de salida sea al menos mayor a un tercio del pulso de entrada no es dañina. Medimos que esta distorsión cambia con respecto a la frecuencia según el siguiente gráfico



Notar que alrededor de los 5 kHz pareciera que disminuye este error, pero este es un promedio de varias mediciones, las cuales a esas frecuencias comienzan a tener otro tipo de anomalías. Esta es doblemente dañina. A tasas mayores a 2 kHz se observa que el tamaño de estos pulsos se vuelve variable. Observar las siguientes 2 capturas tomadas a 5,5 kHz a distintos intervalos:



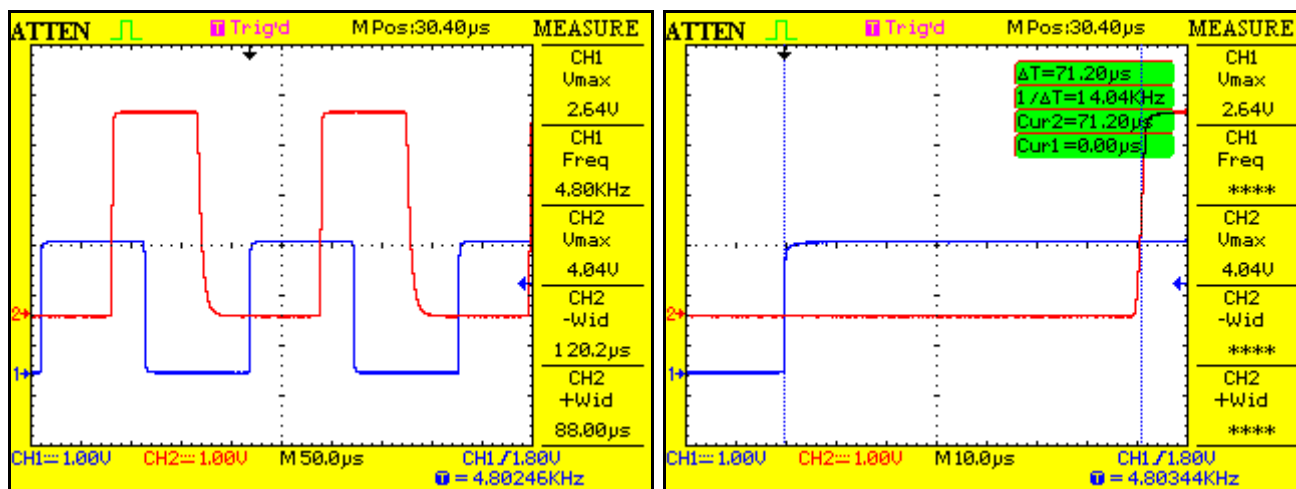
Diferencia en tamaño del pulso de salida a 5,5KHz



Entonces por estas distorsiones en la recepción de la señal para frecuencias de transmisión mayores de 2kHz que se hace imposible la transmisión de datos seriales sin errores.

### Modulación FSK

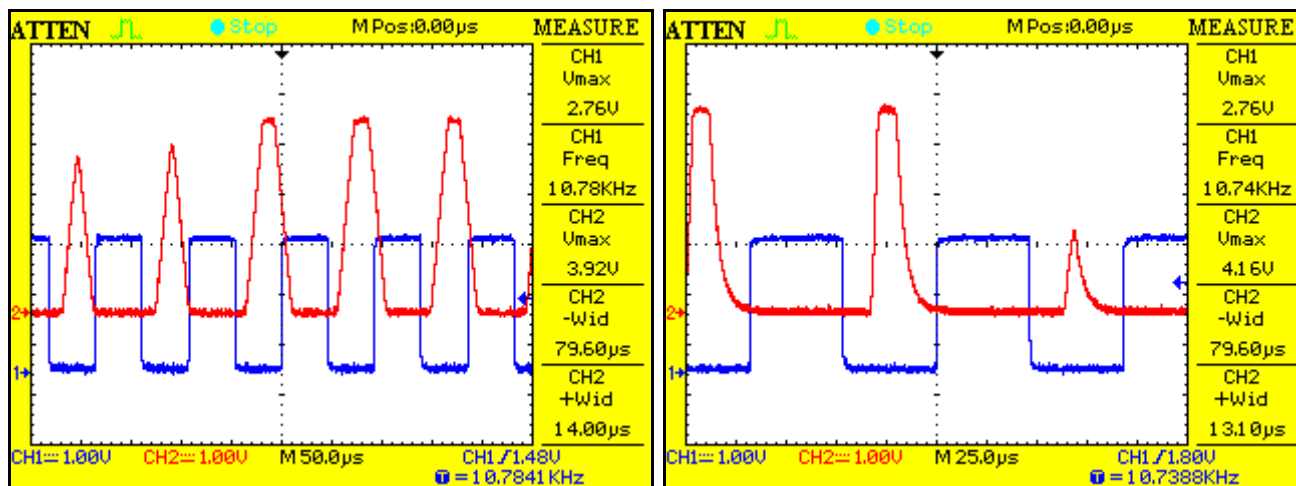
Los módulos RTFQ1 y RRFQ1 pueden alcanzar velocidades de transmisión mayores a los de amplitud modulada. Revisemos la forma de onda de las señales involucradas a la velocidad de transmisión de 4,8 kHz.



Señales de entrada (azul) y salida (rojo) a 4,8KHz

En esta imagen se puede apreciar que la respuesta del sistema es similar a la que obteníamos con los módulos AM a 1,2 kHz. En este caso se ve un delay entre el lado de subida de la señal de unos 71,2µs. El ancho del pulso de salida tiene un error de 14,8% con respecto al de entrada. Además no se aprecia a esa frecuencia el efecto de ancho variable que se ven en los módulos AM. Este error crece de forma proporcional a la frecuencia.

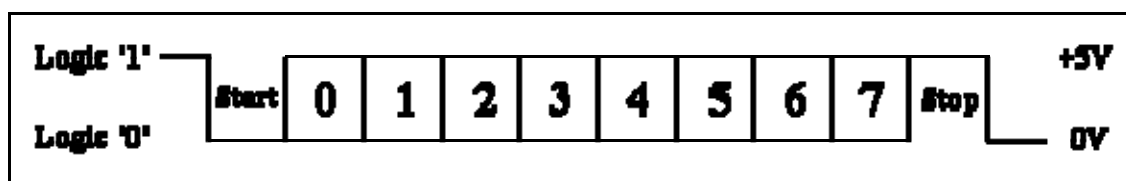
En ambos casos sería posible obtener información de la transmisión usando alguna codificación especial. Existe una velocidad de transmisión máxima en donde es absolutamente imposible cualquier transmisión de datos:



Distorsiones máximas en la comunicación

## Comunicación serial

Gran parte de los dispositivos electrónicos, en especial los microcontroladores, poseen salidas seriales que usan un protocolo físico estándar. Este protocolo varía principalmente en velocidad de transmisión y niveles de voltaje. Expongo las siguientes imágenes para explicar este protocolo. Estas fueron extraídas de la página “Beyond Logic” ( <http://www.beyondlogic.org/serial/serial.htm> ) la cual recomiendo para entender en detalle como funcionan los puertos seriales.



Comunicación serial a nivel TTL (obtenida de Beyond Logic)

Este protocolo se llama específicamente “comunicación serial asincrónica” debido a que en los primeros equipos (inicios siglo XX) la electrónica no poseía fuentes de reloj que fueran precisas y estables. Por esa precariedad y para evitar desfases en la comunicación que fue creado este protocolo en donde se incluyen los símbolos de partida y parada como para lograr que el receptor sepa cuando se inicia y finaliza un carácter. Luego del bit de partida (Start), se inicia secuencialmente el envío de los bits que forman el carácter enviado.

Nota que es fundamental que la línea por donde se propaga la señal este en nivel alto, o sea en 5 o 3,3 volts (1 lógico). Es en este simple requerimiento aparte de los que imponen la velocidad de transmisión en donde debemos prestar cuidado al conectar directamente la salida serial de un microcontrolador a nuestros módulos de radiofrecuencia.

### **Bauds**

Un baud se refiere al símbolo físico que se transmite. En radiofrecuencia usando desfases se puede transmitir más de un bit de información por cada símbolo transmitido. Pero en estos equipos AM y FSK sólo se transmite 1 bit por cada símbolo, siendo este símbolo el nivel de voltaje que posee la línea de comunicación.

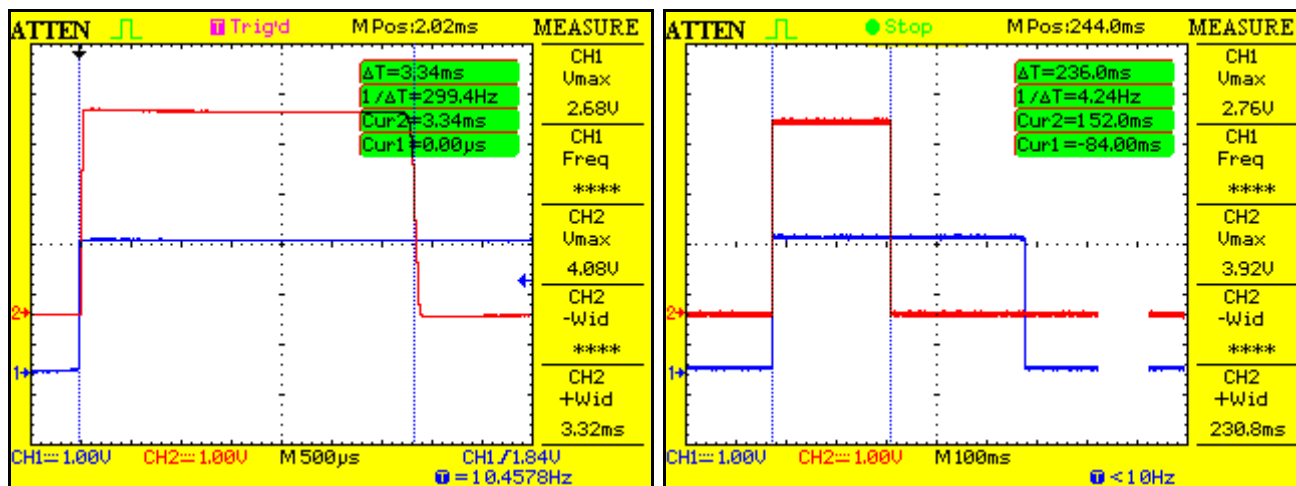
Regresando a las figuras usadas en la explicación de las velocidades de transmisión de estos módulos si has entendido como funciona la comunicación serial estarás de acuerdo conmigo que el tren de pulsos de 1,2 kHz se leería como un 01010101 (55 en hexadecimal y “U” en ASCII) a 2400 bauds. Esto debido a que cada ciclo del tren de pulsos contiene 2 símbolos. Además podemos referirnos a la velocidad del tren de pulsos como símbolos por segundo, donde cada símbolo ocupa 10 bits (8 bits del Byte más los bits de START y STOP) por lo que un tren de pulsos de 1,2 kHz es una transmisión a 240 Bytes por segundo.

La velocidad máxima de transmisión de datos seriales que aparecen en los datasheet de los módulos receptores se refiere a la transmisión serial asincrónica que ya hemos hablado. En el caso del RR10 cuya velocidad máxima es de 2 kBits/s, o sea 2000 bauds es equivalente a un tren de pulsos de 1 kHz. En el punto anterior vimos que a pesar de lo que dice el datasheet, ambos receptores logran recibir cierta información hasta casi 10 kHz, pero la comunicación serial asincrónica que usan los microcontroladores requiere baja distorsión de la señal.

### **Conexión con microcontrolador**

Seguramente ya estas pensando que es llegar y conectar la salida o entrada serial de un PIC o cualquier otro micro a los módulos de RF y configurar la velocidad serial a las que soportan estos módulos. Pues no es así, primero debes fijarte de los niveles de voltaje, el módulo transmisor RTFQ1 usa 3,3 volts. Luego hay otra consideración que tomar. Si usas una conexión directa usando el UART por hardware que traen los micros tendrás comunicación entre emisor y receptor pero curiosamente el primer carácter de cualquier trama de bytes que envíes **siempre** llegará con error.

Esto ocurre puesto que para que se lea un bit de START debe necesariamente estar la línea en 1 lógico, pero los módulos no son capaces de mantener un 1 lógico por mucho tiempo. En las siguientes figuras se puede apreciar que ocurre cuando se intenta esto.

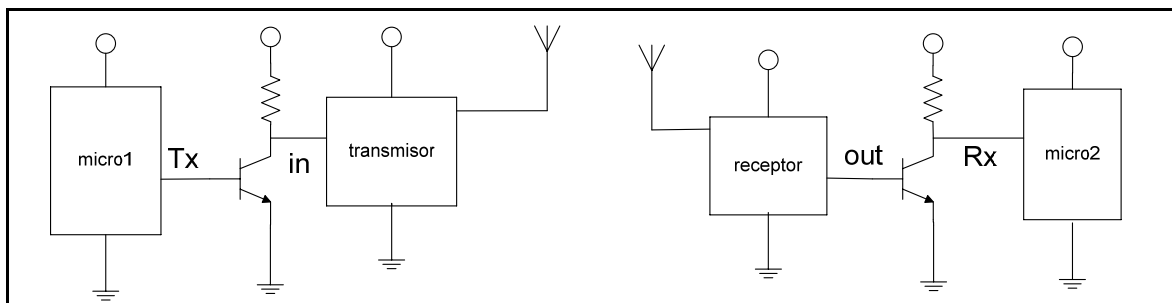


Tiempo de permanencia para un nivel en ambos módulos (AM derecha, FSK izquierda)

Como se puede apreciar en el caso de FSK es mucho más crítico el asunto, si por 3,34 ms no se usa la comunicación serial el nivel de stand by en la recepción se ira a un 0 lógico.

He tratado este problema de 2 formas distintas. La primera es lograr que se mantenga el pin de salida del micro a tierra mientras no se transmite y subir el nivel a un 1 lógico justo antes de comenzar la transmisión. Esto se puede hacer usando un segundo pin que obligue a la entrada a irse a tierra mientras no se transmite usando un transistor, o sea una especie de pull down activo. También puedes lograr esto configurando el pin de salida del UART (*universal asynchronous receiver/transmitter*) del micro como una salida GPIO a tierra y hacer un switch a modo UART un par de milisegundos antes de transmitir.

El otro método es invertir la señal TTL, o sea el 1 lógico es tierra y el 0 lógico es VCC, que incluso es opción en el hardware UART para algunos micros y es una opción en ciertos compiladores como CCS. Se puede también invertir la señal usando un transistor y una resistencia. Seguramente esa es la opción más sencilla, así que procederé a explicarla con un simple esquemático:



Conexión de 2 micros invirtiendo la señal serial para los módulos.

Cuando Tx es un 1 lógico el transistor conduce cortocircuitando la entrada del transmisor a tierra. Cuando Tx es un 0 lógico el transistor esta cerrado y la entrada del transmisor esta a Vcc. Notar que esta

opción es también la ideal para conectar un RTFQ1 que funciona a 3,3 volts a un PIC que funciona a 5 volts. Para el caso del receptor la situación es análoga.

Cual solución tomes depende de tu problema. Invertir la señal usando transistores podría ser la solución de mayor simplicidad pero también es la que ocupa mayor hardware. Si lo que buscas es la menor cantidad posible de elementos, puedes conectar la salida del micro directamente al los módulos y efectuar la inversión por software preocupándote también que la salida del microcontrolador sea compatible con el voltaje de entrada del emisor y lo mismo con el receptor.

### ***Distancia de comunicación***

En este punto es donde hay más posibilidades. Las únicas características fijas que aportan los módulos es su frecuencia, la potencia de salida y la sensibilidad de entrada. La frecuencia de la portadora es fija y es de 433,92 kHz, que se encuentra en una asignación de banda destinada a uso público.

La potencia de salida de los módulos es de 10 dBm o sea alrededor de 10 mW para el transmisor AM y de 5 dBm o sea 3,2 mW para el transmisor FSK. Como referencia, Bluetooth clase 2 con alcance de 10 metros usa 4 dBm (2.5 mW) y Bluetooth clase 1 con alcance de 100 metros usa 20 dBm (100 mW).

La sensibilidad de entrada de los receptores es de -70 dBm para el receptor AM y de -100 para el FSK. Bueno aquí se nos complica un tanto el análisis, puesto que eso significa que el receptor FSK tiene mejor capacidad para recibir señales con menor potencia.

En laboratorio hemos efectuado pruebas de distancia con un simple cablecito de  $\frac{1}{4}$  de la longitud de onda de los 433,92 kHz (17,2 cm) que vendría a ser la antena más simple posible y obtuvimos como resultado que podíamos lograr hasta 20 metros de comunicación con los módulos AM y 10 para los módulos FSK.

Algunos han logrado con los módulos AM distancias de comunicación de hasta 100 m, pero claro, es necesario manejar otros conceptos referentes a las antenas.