

# Diseño de un enlace universal remoto

Armando García Berumen, Erica Ruiz Ibarra, Manuel Domitsu Kono, Benjamín Moran Medina

**Resumen**—En este trabajo se presenta el diseño de un enlace de RF que cuenta con tres funciones:

1. Transmisión de voz en forma analógica convencional en la banda de VHF.
2. Transmisión datos digitales mediante la codificación FSK sobre el mismo enlace, para su posterior despliegue en un sistema digital.
3. Transmisión de voltajes analógicos que representan parámetros físicos recolectados mediante un ADC de ocho canales.

El Enlace Universal Remoto (EUR), está basado en radios comerciales haciendo uso de la característica del PTT para tener el control sobre la transmisión. La velocidad de transmisión con la que se trabaja es de 1200 bps, velocidad suficiente para el tipo de información que se desea transmitir.

En el apartado de diseño se muestran los bloques correspondientes a la etapa de transmisión y recepción resaltando el uso del PIC y los codificadores utilizados. Se presentan algunas aplicaciones en las cuales se puede utilizar el sistema, además de dar recomendaciones para mejorar el mismo. Finalmente se presentan las pruebas realizadas al sistema.

**Palabras clave**— Enlaces de radio, radiomodems, transmisión digital.

## I. INTRODUCCIÓN

En el área de telecomunicaciones, el recurso más escaso y costoso ha sido el ancho de banda, lo cual se ve mayormente reflejado en los enlaces RF, esto debido a la regulación gubernamental. Hoy en día, las personas desean estar comunicadas en cualquier lugar y a cualquier hora, la movilidad es un factor importante. Para lograr dicha movilidad un enlace RF es de vital importancia con las limitantes que conlleva. La restricción aparece aún más cuando se trata de transmitir datos.

Manuscrito recibido el 5 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Armando García B, Actualmente se encuentra en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el área de comunicaciones en el Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora México (e-mail argarcia@itson.mx).

Erica Ruiz I., Actualmente labora como profesora/investigadora de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON 5 de Febrero 818 sur, Cd. Obregón, Sonora México. (e-mail eruiz@itson.mx).

Manuel Domitsu K., está en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora México (e-mail: mdomitsu@itson.mx).

Benjamín Moran Medina. Egresado con el grado de Ingeniero en Electrónica en el ITSON en 2004.

En la actualidad es común para las empresas tener enlaces de RF en las bandas UHF/VHF para la comunicación de voz entre sus empleados. Estos enlaces pueden ser propios o contratados con un proveedor del servicio. La mayoría de las veces este enlace no se utiliza ni el 20% del tiempo, por lo que se está desperdiciando dicho enlace, al cual se le pueden dar otras aplicaciones. La propuesta de este trabajo consiste en aumentar la utilización del canal mediante la adición de otros servicios sobre el mismo canal, como lo pueden ser mensajería en lugares remotos donde no se tiene acceso a comunicación alambrada, en la agricultura se puede sensar variables en los campos de riego a una distancia considerable en forma inalámbrica, y un sin fin de actividades. Identificando la gran cantidad de aplicaciones que tiene un enlace RF, se propone utilizar el mismo para darle un valor agregado con otras aplicaciones.

Actualmente se está realizando la transmisión de datos sobre enlaces de RF, la limitante para alcanzar altas velocidades ha sido el ancho de banda que es asignado por el gobierno. Por otro lado, el canal inalámbrico por su naturaleza presenta muchas desventajas, propiciando un sin fin de problemas en la transmisión de datos.

Una de las técnicas de transmisión digital que no es muy eficiente en cuanto ancho de banda se refiere, pero que se compensa con su sencillez al implementarla, es la técnica FSK (Frequency Shift Keying, o conmutación por desplazamiento de frecuencia) esta técnica es semejante la técnica FM, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios. La expresión general para una señal FSK binaria es [1]:

$$v(t) = V_c \cos \left[ \left( \omega_c + \frac{v_m(t)\Delta\omega}{2} \right) t \right] \quad (1)$$

Donde  $v(t)$  = Forma de FSK binaria

$V_c$  = Amplitud pico de la portadora no modulada

$\omega_c$  = Frecuencia de la portadora en radianes

$V_m(t)$  = Señal modulante digital binaria.

$\Delta\omega$  = Cambio en frecuencia de salida en radianes

El índice de modulación para el FSK al igual que para FM es:

$$IM = \frac{\Delta f}{f_a} \quad (2)$$

IM = Índice de modulación

$\Delta f$  = Desviación de frecuencia

$f_a$  = Frecuencia modulante

Un microcontrolador es un sistema cerrado, es decir, con

todos los módulos de E/S y de memoria integrados en el mismo chip. Este tiene prestaciones limitadas o específicas las cuales no se pueden modificar.

El microcontrolador "PIC" ha sido diseñado con una arquitectura Harvard, en dicha arquitectura son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos, también la capacidad de cada memoria es diferente.

El procesador de estos microcontroladores responde a una arquitectura tipo RISC, que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones máquina corto y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecuta en un ciclo de instrucción. Uno de los PICs que se utiliza mucho en el desarrollo de proyectos es el PIC16F628 [4].

La necesidad de proveer un mejor servicio, con mayor seguridad, ha llevado a muchas empresas a hacerse de sistemas de comunicación, adaptados dependiendo de las necesidades de la empresa, éstas están directamente relacionadas con el número de usuarios, el alcance que requiera cada uno de ellos, y el volumen de tráfico.

Tratándose de transmisiones con una potencia considerable (de 30 Watts en adelante), es muy difícil competir en calidad con empresas reconocidas, es por eso que para la etapa de transmisión en RF se considera un radio comercial, dicho sistema ofrece la posibilidad de adecuación para diversas necesidades de potencia, es decir, a menor potencia menor costo por el equipo de radiocomunicación. En el caso de la mayoría de los radios comerciales cuentan con un conector externo de accesorios que permite el acceso a las líneas de PTT (Push To Transmit), RX Audio, y MIC Audio; las cuales son requeridas para conectar el radio-módem con este equipo, además de estar estandarizadas en cualquier radio. Una manera de realizar la conexión del sistema propuesto a los radios se muestra en la Figura 1.

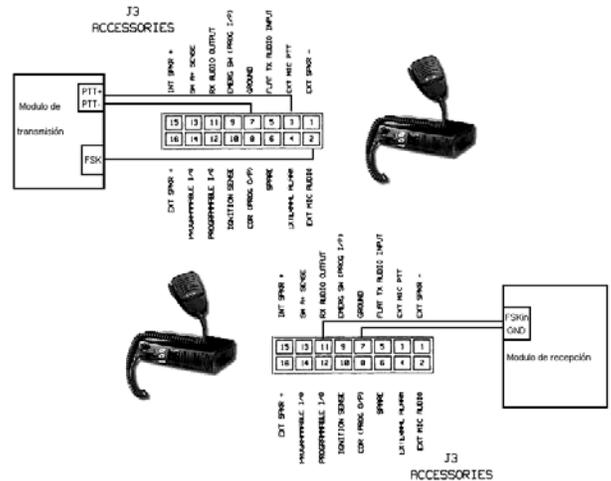


Fig. 1. Diagrama de conexión del EUR al Radio SM50

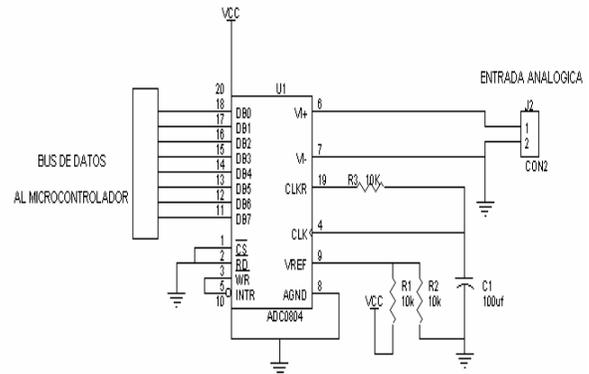


Fig. 2. Diagrama de conexiones del ADC0804.

Para el caso del convertidor, su resolución es de 8 bits, con un tiempo de conversión de 377.4  $\mu$ s, el cual es suficiente para el tipo de aplicación considerado. Ésta es obtenida de la siguiente relación dada por el fabricante.

$$T_c = 73 / F_{reloj} \quad (3)$$

Este convertidor está configurado en modo carrera libre, gracias a esto, el microcontrolador no tendrá la tarea de asignar un bit para hacer inicios de conversión sobre el ADC, para dedicarse a capturar la información cuando sea necesario, la conexión se muestra en la Figura 2.

Para obtener la frecuencia de reloj se utiliza el arreglo formado por R3 y C1, y con los datos de la hoja de especificaciones, para una frecuencia 193.42 KHz cuando R3 = 10K $\Omega$  y C1 = 470pf, la frecuencia está dado por la siguiente relación:

$$F_{reloj} = 1 / 1.1 \times R3 \times C1 \quad (4)$$

1) CONVERSIÓN PARALELO-SERIE Y TEMPORIZACIÓN (PCTX\_ADC)

II. DISEÑO DEL EUR

Para lograr la transmisión se parte del diagrama de conexiones de la Figura 1. Considerando las características de conexión, el diseño se divide en la parte transmisora y receptora.

A. ETAPA DE TRANSMISIÓN

En esta etapa además de la señal de voz, se pueden procesar dos tipos de información:

- Una señal analógica la cual proviene del convertidor y que posteriormente se convierte en forma serial.
- La otra señal corresponde a un mensaje digital que proviene en este caso de la computadora a través del puerto serie con el estándar RS-232.

Ambas señales son multicanalizadas en tiempo, con un formato TTL y un baud rate de 1200 bps. Esta información digital es codificada mediante el esquema FSK, que finalmente es entregada al SM50, el cual tiene como función modularla en FM

Control automático de transmisión.

Este control se realiza mediante RB0, poniéndolo en un nivel lógico de "1", el cual acciona el PTT del radio por el tiempo necesario para que se transmita la trama más un par de retardos de 196 ms., que permiten que la transmisión esté establecida antes de enviar dicha trama. Lo anterior se ilustra en la Figura 3.

El microcontrolador está programado para trabajar con una tasa de transferencia de 1200 Baudios, esto se logra introduciendo en el registro "SPBRG" el número hexadecimal correspondiente a 51(h), tanto en transmisión como en recepción (Es opcional), la conexión se ilustra en la Figura 4.

$$\text{Tasa de transferencia} = \text{Fosc} / (64(X+1)) \quad (5)$$

2) CODIFICACIÓN FSK

En esta etapa se desarrolla una codificación digital de manera que los ceros y unos son representados por dos frecuencias que están dentro de un rango audible, es decir 1400 y 1800 hz., respectivamente. Se seleccionaron estos valores considerando los filtros pasa-bandas en los radios transmisor y receptor. Estos radios poseen filtros con rango de 300 a 3000Hz de un orden muy alto, y considerando el ancho de banda de aproximadamente 3 Khz y una desviación de frecuencia ( $\Delta f$ ) de 200Hz, la tasa de transferencia máxima es de 1200 bps aproximadamente.

$$F_a = (B/2) - \Delta f \quad (6)$$

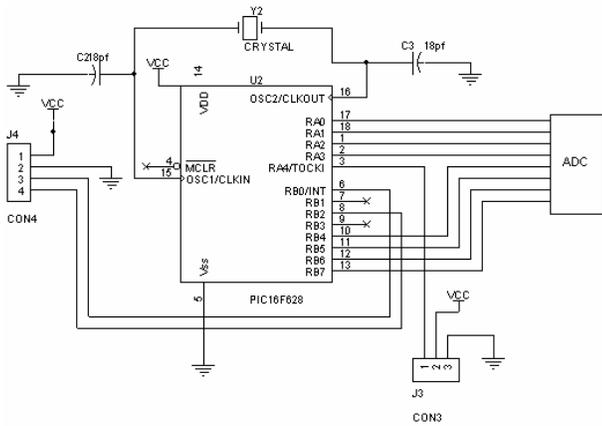


Fig. 3. Conexión del convertidor ADC al PIC.

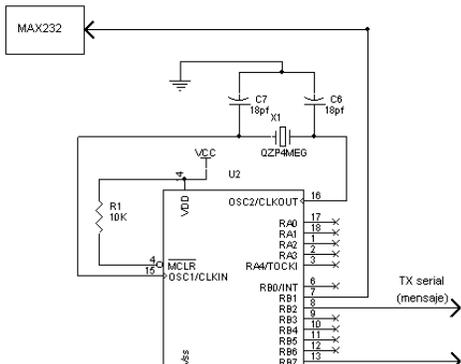


Fig. 4. Diagrama de conexión del PIC para transmisión serial.

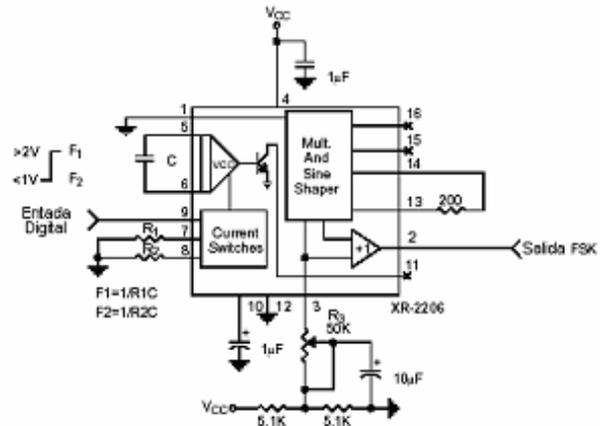


Fig. 5. Codificación FSK mediante el XR-2206.

Con las frecuencias propuestas para la marca y el espacio se genera el diagrama de la Figura 5

Al integrar todas las etapas que corresponden al sistema de transmisión, el diagrama esquemático resultante se muestra en la Figura 6.

B. ETAPA DE RECEPCIÓN

El módulo de recepción es el encargado de procesar la información que le llega de manera serial a través del dispositivo de radio SM50, aquí se decodifica la señal de FSK para convertirla de nuevo a TTL, luego es identificada como mensaje de texto o dato de captura analógica por el microcontrolador (PIC16F628), para ser transferida a una salida serial (RB2) y/o una salida en paralelo (RA0-RA3:RB4-RB7), respectivamente.

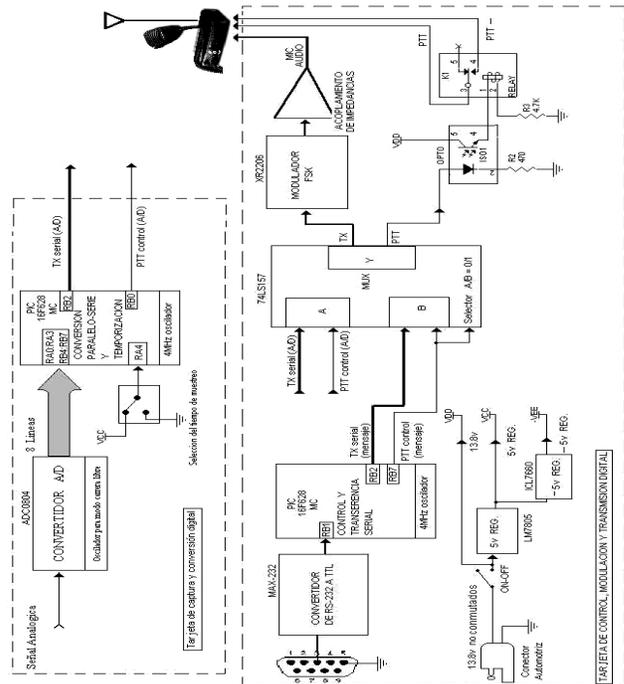


Fig. 6. Diagrama esquemático del transmisor del EUR.

Los mensajes de texto van a una salida o puerto DB-9, regido por un protocolo RS-232, estos pueden ser desplegados en una PC usando el software de mensajes o manipulados según las necesidades de la aplicación.

Los datos de captura analógica, son entregados a un registro paralelo (74LS374) para esto, la salida es actualizada por un instante cuando llega un dato nuevo, esta información es introducida a un DAC (Convertidor Analógico Digital),

1) *DECODIFICACIÓN FSK*

Al igual que en la codificación se opta por utilizar un dispositivo del fabricante EXAR, este modelo es un PLL monolítico que de hecho se puede considerar el complemento para el modulador (XR2206CP), el circuito PLL considerado es el XR2211CP. Una característica que posee este chip es de permitir valores muy estrechos entre las frecuencias FSK recibidas, hasta 300 hz. de separación.

Esta última característica citada, ha hecho posible que se alcance una tasa de transferencia de 1200 Baudios, debido a las delimitaciones que se tienen para las frecuencias FSK, si se tuvieran que separar más las frecuencias, la desviación de frecuencia sería mayor y el ancho de banda aumentaría. El circuito que hizo posible la decodificación se muestra en la Figura 7.

2) *CONTROL E IDENTIFICACIÓN DE DATOS (PIC\_RX)*

En la recepción el PIC16F628, como lo muestra la Figura 8, lleva a su cargo labores como: identificación de cadenas, transferencia de cadenas de texto a un puerto DB-9, control y transferencia de información para conversión digital a analógica.

1. Identificación de cadenas:

Una vez convertida a TTL la trama de información es capturada en la línea de recepción serial del PIC, que ocasiona una interrupción por la entrada serial, como lo muestra la Figura 8, gracias a lo cual se ingresa a la rutina de interrupción donde se toma el primer byte para identificar el tipo de dato que se está recibiendo, es decir, que si es “&” será una cadena de texto y si es “#” será una cadena de dato analógico.

2. Transferencia de cadenas de texto:

Cuando se identifica el primer byte como “&”, los siguientes caracteres son considerados como parte de un mensaje hasta llegar al carácter “@”, el cual representa el fin de cadena, estos se transmiten carácter por carácter al puerto DB-9, después de ser convertido a RS-232.

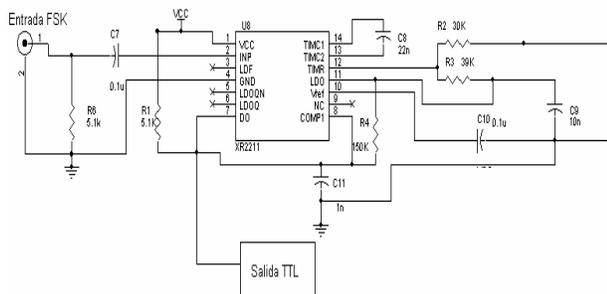


Fig. 7. Decodificador FSK con el chip XR2211.

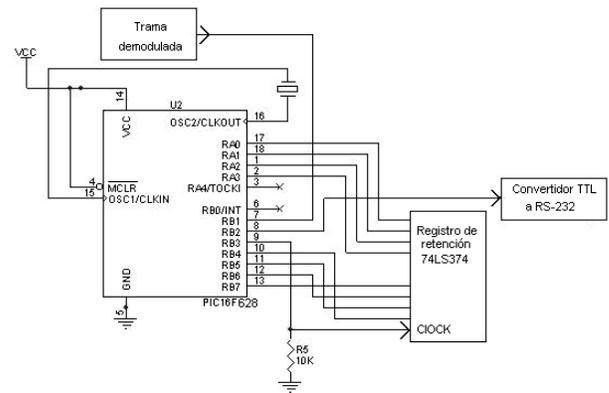


Fig. 8. Recuperación de los datos en recepción con el PIC.

3. Control y transferencia de información para conversión digital a analógica:

Si el carácter identificado al recibir el primer byte es “#”, entonces se toma el siguiente byte de la trama y se separa por nibbles, poniendo el menos significativo en la mitad menos significativa del puerto A y el más significativo en la parte correspondiente del puerto B. Además, se utiliza una línea de control para actualizar el registro donde se almacena el byte que permanece en la entrada del DAC.

Después de unir todas las etapas correspondientes a la parte receptora se generó el diagrama mostrado en la Figura 9.

III. DESEMPEÑO DEL ENLACE

Las pruebas realizadas hasta el momento, han llegado a una distancia de 6 Km. utilizando una antena tipo monopolo, montada sobre un tubo telescópico de 9 mts., para el transmisor y una antena yagui de 5 elementos montada a 4 mts., para el receptor. Además se disminuyó la potencia del radio transmisor, de 45 a 7W considerando que la distancia era pequeña y no se quería forzar el sistema, cosa que nunca sucedió. El sistema opera de una manera aceptable, obteniendo errores en la transmisión de mensajes sólo cuando se interponía el carácter “@” en la cadena, perdiéndose momentáneamente la parte final del texto, lo que impide mandar direcciones de correo.

A. *DESPLIEGUE FINAL*

El software de despliegue está dividido en dos partes, una interfaz para la generación de mensajes realizado en Visual Basic, donde se introducen los mensajes que se desean transmitir y se procesa la lectura analógica, y por la parte receptora una interfaz de captura y despliegue, elaborada en el mismo lenguaje, donde se recupera el mensaje, además de desplegar el valor de la captura analógica en voltaje, como se muestra en la Figura 10.

En la recuperación analógica, a la salida del DAC08 se obtuvo un error máximo de  $\pm 20$  mV y mínimo de  $\pm 2$  mV, siendo equivalente a un error máximo de 0.4%. La Figura 11, en la parte de recuperación de voltaje analógico, muestra decimales de más, esto es debido al comando de conversión de Visual.

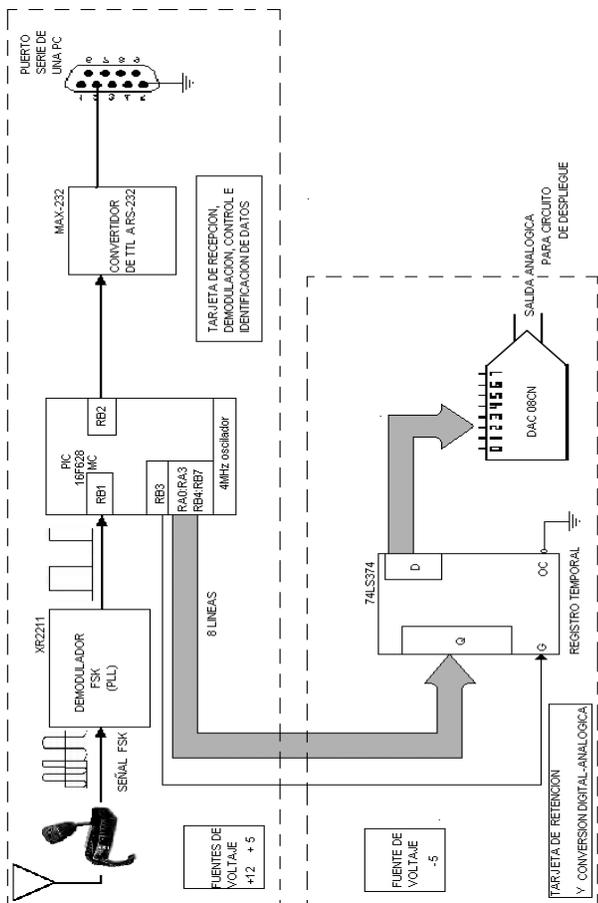


Fig. 9. Etapa de recepción del EUR.

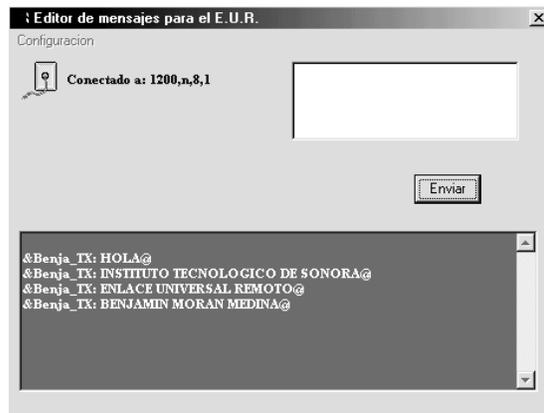


Fig. 11 Interfaz gráfica para la etapa de recepción.



Fig. 12. Vista de la etapa de transmisión.

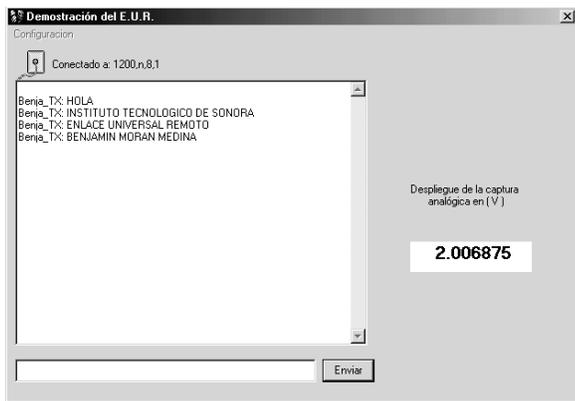


Fig. 10. Interfaz gráfica mediante Visual Basic para la etapa de transmisión.



Fig. 13. Vista de la etapa de recepción.

Las Figuras 12 y 13, muestran el equipo físico implementado. Se puede apreciar en la Figura 14, la parte de transmisión incluidos el radio, el codificador FSK y una computadora para la transmisión de los mensajes por el puerto serie. La Figura 15, muestra lo correspondiente a la recepción.

#### IV. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- El esquema de modulación FSK resulta adecuado para la transmisión de datos digitales a tasas bajas, considerando la restricción del ancho de banda, para el caso de FSK, impuesto por los filtros de los radios

alcanzando en este caso una tasa de transferencia de 1200 bps.

- La integración adecuada de un radio profesional, proporciona un gran alcance, aunado a la calidad en la transferencia de información, da una clara muestra de la viabilidad de la integración, aún así, el sistema podría ser adecuado a otro equipo de radiofrecuencia, no se encuentra limitado en este aspecto.
- El hecho de utilizar fuentes derivadas que otorgan  $\pm 5$  volts, a partir de los voltajes de alimentación de los radios, da un sentido práctico al sistema, facilitando el manejo de este para el usuario, además de permitir la versatilidad de aplicaciones, al adecuarse a un gran número de circunstancias.
- El enlace cumplió con el objetivo general trasladando de un punto a otro la información, siendo estos un dato analógico, una cadena de caracteres, o voz, de manera automática.

Como mejoras al sistema se recomienda:

- Contribuir con el estado del arte del enlace convirtiéndolo en un sistema semi-duplex con radios de dos vías.
- Utilizar un esquema de detección de errores, en el caso de existir un error en la transmisión pedir la retransmisión del mensaje.
- Modificar la captura de datos analógicos, utilizando el PIC16F873 con su ADC interno, esto simplificaría el sistema físicamente, además de disminuir el error de conversión.

Algunas aplicaciones que se le pueden dar al sistema EUR consisten en:

- Mensajes escritos: mensajería a móviles de empresas de entrega a domicilio.
- Transmisión de Mensajes punto-multipunto.
- Telemetría: Medición de parámetros físicos y control a distancia, y otros.

## REFERENCIAS

- [1] Tomasi, Wayne. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, segunda edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1996.
- [2] Coughlin Robert F, Frederick F. D. "Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, cuarta edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1992.
- [3] Boylestad, Robert. "Electrónica Teoría de Circuitos". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, cuarta edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1989.
- [4] Angulo Usastegui, José Ma. "Microcontroladores PIC diseño práctico de aplicaciones, primera parte". Ed. McGraw Hill/Interamericana de España, segunda edición, Edificio Valrealty, 1ª. planta Basauri 17, Aravaca (Madrid), 1999.
- [5] Angulo Usastegui, José Ma. "Microcontroladores PIC diseño practico de aplicaciones, segunda parte". Ed. McGraw Hill/Interamericana de España, primera edición, Edificio Valrealty, 1ª. planta Basauri 17, Aravaca (Madrid), 2000.
- [6] Motorola, Radius Division. "Mobile Radios Service Manual". Ed. Motorola, Radius Division. 1301 East Algonquin Road Schaumburg, Illinois, 1999.
- [7] B. Moran M., A. García B.: "Diseño e implementación de un Enlace Universal Remoto", Tesis de licenciatura, ITSON Obregón Sonora, Febrero 2004.

**Armando García Berumen** obtuvo el grado de Ingeniero Electrónica con acentuación en sistemas digitales del Instituto Tecnológico de Durango en 1994, egresado de la maestría en sistemas electrónicos opción telecomunicaciones del ITESM campus Mty en 1998. Actualmente se desempeña como profesor/investigador de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el área de comunicaciones.

**Erica Cecilia Ruiz Ibarra** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1997 y el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, en CICESE, Ensenada Baja California, México en 2000. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones ópticas así como en el performance de redes de alta velocidad. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**Manuel Domitsu Kono** obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) en 1979 en Guadalajara Jalisco, el grado de Maestro en Ciencias Computacionales, en el ITESM Campus Cd. Obregón en 2001 y el grado de Maestro en Administración en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1980. Ha participado en diversos proyectos relacionados con el desarrollo de software para varias empresas, realizó una estancia en la Universidad de Bradford, Inglaterra, como parte del proyecto: Recepción de Imágenes del Satélite Meteorológico GOES. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**Ing. Benjamín Moran Medina**, obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el ITSON en 2004. Ha trabajado en diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones en RF. El presente artículo corresponde a su trabajo de tesis.