

N° de proyecto: ISE2005-101



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

BIBLIOTECA  
Ciudad de México

## Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México

Presentado por :

**Johann Picos Whitehouse**  
**José Francisco Cabrera Creus**  
**Valeria Jiménez Schiavón**

---

# SISTEMA DE MULTITECLADOS INALÁMBRICOS

---

Presentado el día 23 de noviembre del 2005 :

Asesor:

**M. en C. Alfonso Monroy Olascoaga**

*Profesor ITESM-CCM*

Sinodales:

**Dr. Rogelio Bustamante Bello**

*Profesor ITESM-CCM*

**M. en C. Israel Macías Hidalgo**

*Profesor ITESM-CCM*

Profesor:

**Dr. Francisco Javier Cuevas Ordaz**

*Profesor ITESM-CCM*

Trabajo efectuado en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México

# ÍNDICE

---

## Introducción General

### Capítulo I Tecnologías existentes

#### Introducción

I.1	Acercamiento a las tecnologías existentes .....	4
I.2	Radio Frecuencia .....	5
I.3	Otras tecnologías inalámbricas	
I.3.1	Wireless Fidelity (Wi-Fi) .....	6
I.3.2	Bluetooth .....	6
I.3.3	Puerto Infrarrojo .....	7
I.4	Interfaz serial .....	7
I.5	Bus de Interfaz Serial (USB) .....	8
I.5	Conclusiones .....	10

### Capítulo II Protocolo de comunicación

#### Introducción

II.1	Definición de protocolo de comunicación.....	11
II.2	Forma de comunicación .....	12
II.3	Comunicación microcontrolador maestro .....	12
II.4	Comunicación microcontroladores esclavos .....	14
II.5	Conclusiones .....	16

### Capítulo III Radiofrecuencia

#### Introducción

III.1	Antecedentes .....	17
III.2	Modulación .....	19
III.3	Radiofrecuencia en México .....	21
III.4	Tecnología utilizada .....	22
III.5	Desarrollo de los módulos de radiofrecuencia .....	24
III.5.1	Módulo Periférico Inalámbrico .....	24
III.5.2	Módulo maestro inalámbrico .....	27
III.6	Hardware de radiofrecuencia .....	28
III.7	Conclusiones .....	30

## **Capítulo IV Administrador de teclados**

Introducción

IV.1	Características de los teclados .....	31
	IV.1.1 Teclados seriales .....	31
	IV.1.2 Teclados USB .....	32
IV.2	Tecnología utilizada .....	33
IV.3	Desarrollo del Driver .....	34
IV.4	Avances hacia USB y posibles mejoras .....	38
IV.5	Conclusiones .....	38

## **Capítulo V Resultados, conclusiones y mejoras futuras**

V.1	Integración del sistema
V.2	Resultados Generales
V.3	Mejoras

## **Bibliografía**

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Este documento presenta el desarrollo de un sistema electrónico que permite a varios teclados comunicarse de forma inalámbrica con una misma computadora dentro de un salón de conferencias. El sistema de comunicación inalámbrica permite la interacción de los dispositivos en el ambiente descrito, a una tasa adecuada de transmisión y sin tener problemas de pérdida de datos. Además del dispositivo electrónico, se requiere un protocolo de comunicación que dirija el intercambio de datos y cuente con la robustez necesaria para manejar la información.

Actualmente se cuenta con un sistema que conecta a varios teclados USB de forma alámbrica, empleando *hubs*, entre sí, mandándole los datos a una computadora central (PC). Esta computadora central recibe y almacena la información proveniente de los teclados y puede darle cualquier uso que le encuentre conveniente. El sistema actual funciona adecuadamente y tiene una gran aceptación; sin embargo, la necesidad de toda una topología de red de forma alámbrica y las restricciones del cableado con USB limitan en gran medida tanto la extensión del área de trabajo, como el número máximo de teclados. Es por ello por lo que se desarrolló un sistema que emplea transmisión inalámbrica para sustituir todo el cableado y eliminar los problemas que éste presenta.

La realización de este sistema se dividió en tres módulos; el primer módulo consiste en una interfaz que permite a los teclados comunicarse y mandar información a un microcontrolador; el segundo permite el intercambio de datos entre la interfaz previamente mencionada y una computadora central usando un canal inalámbrico; por último se tiene un protocolo de comunicación que permite la sincronización de todos los transmisores para establecer una comunicación eficiente. Estos tres módulos se describen detalladamente a lo largo de este documento.

La primera de estas secciones es la comunicación inalámbrica entre dos dispositivos. Esta sección tiene la tarea de enviar y recibir los datos de los diferentes teclados utilizando la radio frecuencia para dicho intercambio. La segunda sección es el desarrollo de un protocolo de comunicaciones inalámbrico, que lleve el orden para el intercambio de información entre la computadora y cada uno de los teclados. En esta sección se cuenta por un lado con un maestro que estará pidiendo constantemente la información de cada uno de los módulos inalámbricos que a su vez manejarán información de varios teclados. Por último, la tercera sección, se encarga de cómo manejar y dirigir lógicamente la información de varios teclados hacia una interfaz para posteriormente enviar la información de ésta a la computadora central.

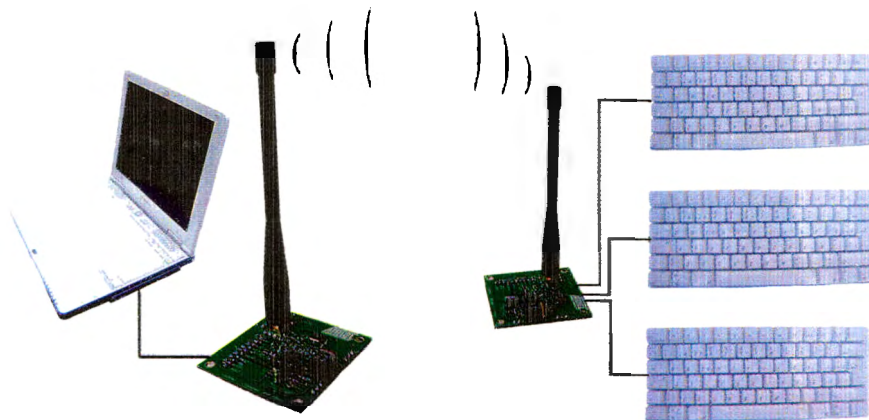


Figura 1. Diagrama del sistema de comunicación inalámbrica con múltiples teclados

El desarrollo completo de este proyecto consta de varios módulos independientes. Algunos de los cuales ya se encuentran desarrollados y funcionando, otros se desarrollaron a lo largo de este semestre, y algunos otros serán desarrollados en etapas futuras del proyecto.

Teniendo esto en consideración para el proyecto aquí presentado, se tienen los siguientes objetivos:

- Lograr la comunicación inalámbrica entre dos dispositivos utilizando radio frecuencia.
- Lograr la comunicación entre los teclados y el microcontrolador, a través de una interfaz, para poder enviar estos datos por medio del canal inalámbrico.
- Desarrollar un protocolo de comunicación que permita el envío y recepción de datos entre los teclados y la computadora central sin que existan pérdidas de datos.

Este documento se encuentra dividido en 5 capítulos que describen a detalle conceptos básicos necesarios para la comprensión del proyecto así como el desarrollo de cada uno de los módulos que se necesitaron. El primer capítulo es una descripción de las tecnologías existentes que fueron estudiadas para llevar a cabo el proyecto. Los siguientes tres capítulos tratan cada uno de los módulos en los que fue dividido el proyecto: radiofrecuencia, protocolo y la interfaz para la comunicación con los teclados. Se tiene también un capítulo donde se exponen los resultados logrados en la elaboración de este proyecto.

- *Capítulo 1 - Tecnologías existentes:* este capítulo presenta las bases de algunas formas de comunicación inalámbrica y alámbrica. En la parte de comunicación inalámbrica se describen: Radiofrecuencia, WiFi, Bluetooth e infrarrojos. En la parte de comunicación alámbrica se describe la comunicación serial y por medio de USB.

- *Capítulo II - Protocolo de comunicación:* este capítulo describe detalladamente la forma en la que se implementó el protocolo de comunicación inalámbrica, sus características y su funcionamiento.
- *Capítulo III - Radiofrecuencia:* este capítulo describe y explica los términos básicos de la radiofrecuencia, las diferentes bandas en las que es posible transmitir y su regulación. Además se describe detalladamente la tecnología que se utilizó para crear un canal de comunicación inalámbrico, así como el procedimiento que se siguió para lograr la sincronización entre un dispositivo central y varios dispositivos conectados a los teclados.
- *Capítulo IV – Driver de los teclados:* este capítulo presenta la forma de comunicación serial empleada para obtener la información de los teclados. También explica la forma en que se almacena la información de cada teclado para ser posteriormente transmitida por el canal inalámbrico.
- *Capítulo V - Resultados:* éste es el último capítulo y como el nombre lo indica presenta los resultados de este proyecto. En los capítulos anteriores se expone cómo se lograron los resultados para cada uno de los módulos y en éste se presentan de forma detallada cuáles fueron estos resultados.

# Capítulo I

## TECNOLOGÍAS EXISTENTES

---

El avance en el campo de la tecnología nos ha llevado al desarrollo de nuevos productos que han permitido la integración de soluciones poderosas que facilitan la realización de diversas tareas. Se han creado diferentes interfaces con las cuales los dispositivos se pueden comunicar entre sí, permitiendo comunicación en tiempo real, transferencias de datos, de videos e imágenes.

De igual forma, la comunicación a distancia es cada vez más utilizada, mientras que la posibilidad de hacer transferencias inalámbricas, se ha vuelto sumamente importante en ambientes en donde el cableado se vuelve costoso o complicado.

En este capítulo, se presenta una breve reseña de diferentes tecnologías utilizadas actualmente para comunicar dispositivos, alámbrica o inalámbricamente. Se explica su función, sus características principales y forma básica de operación.

Haciendo énfasis en estas tecnologías se podrá comprender más claramente el enfoque de este proyecto, así como el camino que se seguirá para lograr su desarrollo.

### I.1 Acercamiento a las tecnologías existentes

Para poder diseñar el sistema deseado, como un primer acercamiento, se revisaron las posibilidades ofrecidas por la tecnología disponible actualmente. Las principales alternativas de comunicación inalámbrica para aplicaciones similares a la nuestra son transmisión por rayos infrarrojos y por radiofrecuencia. La primera opción no es viable para este proyecto, ya que requiere línea de vista y sólo es útil en distancias cortas. Por lo tanto, nos centramos en las soluciones de radiofrecuencia.

Se comenzó investigando protocolos o estándares de redes inalámbricas y dispositivos basados en dicha tecnología y se reconoció que un protocolo de comunicación tipo *Token Ring* sería el de más fácil implementación. En este protocolo un *Token* (ficha virtual) es pasado de dispositivo a dispositivo. Cuando un dispositivo desea mandar información debe esperar a que le llegue el *Token* vacío, cuando le llega, lo utiliza para mandar la información a otro dispositivo y cuando éste recibe la información regresa el *Token* al primer dispositivo indicando que fue recibida la información. Así se libera el *Token* para volver a ser usado por cualquier otro dispositivo. De esta forma queda claro que el protocolo *Token Ring* será una buena solución para implementar el sistema de comunicación.

Al emplear microcontroladores AVR se cuenta con una comunicación multi-controladores, es decir un maestro que dirige hasta 255 esclavos. El maestro manda una instrucción que será escuchada por todos los esclavos pero sólo aquel con la dirección que sea especificada por el maestro responderá. Empleando esta característica de los AVR's para controlar los diversos teclados en conjunto con un sistema inalámbrico se

puede enviar la información de todos ellos a un solo dispositivo que lo manda a la computadora central.

## I.2 Radio Frecuencia

El término de Radiofrecuencia (RF), se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena. Esta corriente aplicada genera un campo electromagnético que puede viajar por el espacio. A este campo electromagnético se le conoce comúnmente como “onda de radio”. Estas ondas pueden ser manipuladas de muchas maneras con el fin de hacer que la emisión llegue con ciertas características a su destino. Dentro de estas manipulaciones se encuentran formas de hacer que la frecuencia aumente o disminuya, que la amplitud de las ondas varíe, etc.

Hoy en día los aparatos inalámbricos son cada vez más utilizados y los podemos encontrar fácilmente en la vida diaria. Los teléfonos celulares, las redes inalámbricas, las comunicaciones satelitales y los radios son aparatos a los que todos estamos acostumbrados. Todos éstos son dispositivos que utilizan la radio frecuencia para poderse comunicar; sin embargo, la forma en la que utiliza esta tecnología, así como la frecuencia, amplitud y modulación de las ondas es muy diferente.

Un punto clave dentro de las comunicaciones inalámbricas hechas por radiofrecuencia, es la frecuencia a la que se manejan, ya que se tiene que cumplir con una serie de leyes para poder utilizarlas, además de que la frecuencia también determinará las posibles distancias, a las que puede viajar la onda y ser recibida correctamente.

En la Tabla I.1 se muestra una tabla con las frecuencias, su nombre, y la longitud de onda que se tiene [1].

Nombre	Abreviación	Frecuencias	Longitud de onda
Frecuencia muy baja	VLF	9 kHz - 30 kHz	33 km - 10 km
Baja Frecuencia	LF	30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km
Frecuencia Media	MF	300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m
Alta Frecuencia	HF	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m
Muy Alta Frecuencia	VHF	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m
Ultra Alta Frecuencia	UHF	300 MHz - 3 GHz	1 m - 100 mm
Súper Alta Frecuencia	SHF	3 GHz - 30 GHz	100 mm - 10 mm
Frecuencia Extremadamente Alta	EHF	30 GHz - 300 GHz	10 mm - 1 mm

Tabla I.1. Nombre de frecuencias, rango y longitud de onda

Cuando se está desarrollando un nuevo producto, es muy importante revisar cuáles son las frecuencias a las que se puede transmitir, ya que muchas frecuencias se encuentran concesionadas a algún fabricante, o designadas para algún uso específico, por lo que ya



no podrían ser utilizadas. Cabe aclarar que las frecuencias libres varían de país a país, por lo que será importante considerar esto cuando el producto vaya a ser vendido o desarrollado en más de un país.

Si se tienen dos o más dispositivos utilizando la misma frecuencia, existirían problemas entre ellos, ya que habrá una interferencia. Esto quiere decir, que todos los dispositivos estarán transmitiendo y recibiendo las mismas frecuencias, por lo que no podrán decodificar realmente lo que era para ellos, es por esto, que existen leyes para controlar el uso de las frecuencias.

### **I.3 Otras tecnologías inalámbricas**

#### **I.3.1 *Wireless Fidelity (Wi-Fi)***

Wireless Fidelity (Wi-Fi), es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11. Este estándar se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance, la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x.

Hay por lo menos, dos tipos de Wi-Fi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11 [2].

- IEEE 802.11b e IEEE 802.11g que disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente. Y con una velocidad de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente.
- En los Estados Unidos y Japón, IEEE 802.11a, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. En otras zonas, como la Unión Europea, 802.11a no está aprobado todavía para operar en la banda de 5 GHz.

#### **I.3.2 *Bluetooth***

Esta tecnología fue desarrollada por Ericsson en 1994 [12]. Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Este estándar utiliza una frecuencia que estaba previamente inutilizada en todo el mundo, y a excepción de algunas variaciones en el ancho de banda se utiliza la frecuencia de 2.45GHz. Este estándar establece que cada uno de los dispositivos cuentan con una dirección de 48 bits, siguiendo la norma 802 de la IEEE. Aunque la distancia de transmisión de este estándar es bastante limitado (10 metros) se tienen muchas posibilidades, ésta transmisión es omnidireccional, debido a que se basa en la radiofrecuencia para comunicarse, no requiere línea de vista y permite configuraciones multipunto. La tasa de transmisión es de 1Mega bit por segundo llegando hasta 2 en la nueva versión [3].

Una de las más grandes ventajas es su esquema, el cual permite un método de búsqueda de frecuencia conocido como *frequency hopping*, lo que hace que se pueda comunicar eficientemente incluso en ambientes sumamente ruidosos.

Esta tecnología tiene la característica de formar una topología de red donde un dispositivo hace las veces de maestro y hasta siete más operando como esclavo. Ésta configuración se conoce como *piconet*. Un *piconet* es cuando dos o más unidades de Bluetooth comparten un mismo canal. Un grupo de *piconets* se conoce como *scatternet* [4].

Esta tecnología comprende *hardware*, *software* y requerimientos de interoperabilidad, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de telecomunicaciones y la informática, tales como Ericsson, Nokia, Toshiba, IBM, Intel, entre otros [5].

Posteriormente se han ido incorporando muchas más compañías, y se prevé que próximamente los hagan también empresas de sectores tan variados como, automatización industrial, maquinaria, ocio y entretenimiento.

### **I.3.3 Puerto Infrarrojo**

La comunicación de rayos infrarrojos se logra a través de un conjunto de especificaciones que actualmente constituyen un estándar internacional. Infrared Data Association (IrDA), está patrocinada por más de 160 industrias y fue establecida en 1993 con el objetivo de crear las especificaciones y estándares para los equipos y protocolos empleados en este tipo de enlaces.

En los estándares de IrDA se definen comunicaciones bidireccionales punto a punto, donde se emplea un haz de luz infrarroja que requiere línea de vista, un ángulo no mayor de 30 grados y una distancia que no excede un metro para obtener tasas de transmisión de datos entre 9.6Kbps y 16Mbps dependiendo del entorno.

### **I.4 Interfaz serial**

La interfaz serial ha sido sumamente utilizada desde el auge de las computadoras personales para conectarles a ellas diversos dispositivos periféricos como *mouse*, teclados, impresoras. A pesar de toda la evolución que han tenido las computadoras personales en la última década, los puertos estándares aún mantienen su uso y su importancia. La aparición del Bus de Interfaz Serial (USB) pareciera indicar el fin de los puertos legalizados; sin embargo, este proceso de sustitución se va dando de forma paulatina de forma que hoy en día coexisten ambos. Además existen diversos convertidores de una interfaz a otra, para poder emplear los dispositivos que tengan interfaz serial con computadoras que no la tengan.

Los teclados son unos de los dispositivos que han empleado siempre la interfaz serial con la computadora. Últimamente comienzan a aparecer muchos teclados USB pero en las tiendas se pueden encontrar ambos tipos de teclados.

Desde el punto de vista de desarrolladores la interfaz serial presenta varias ventajas comenzando por tener una implementación más sencilla que el USB. Cualquiera que sea el dispositivo envía de forma serial la información para ser decodificada y tratada por la PC o algún microcontrolador. En el caso particular de los teclados seriales estos envían un código distintivo, el *scancode*, para cada una de las teclas oprimidas.

## I.5 Bus de Interfaz Serial (USB)

Hace 10 años nació la nueva tecnología de bus llamada *Universal Serial Bus* (USB). En los primeros años después de su introducción al mercado, muchos empresarios se preguntaban a dónde se dirigía esta tecnología. Aunque fue diseñada para conectar computadoras y para equipo de telecomunicaciones, se volvió un *bus* universal para un *host* de periféricos, incluyendo productos de consumo electrónico [6].

Uno de los intentos iniciales de USB era el de reducir la cantidad de cableado en la parte trasera de la computadora personal. Sin embargo USB utiliza la topología de estrella, similar a la tecnología de 10BaseT de Ethernet. Esto reclama la necesidad de un *hub* en algún lugar, lo que implica mayor gasto, más cajas en el escritorio y más cables. Sin embargo, no es tan malo como se ve, muchos dispositivos tienen *hubs* USB integrados. Por ejemplo, el teclado de la computadora contiene un *hub*, que se conecta a la computadora. El ratón y otros dispositivos se pueden conectar en la parte trasera del teclado.

Esta topología de estrella, además de ser más que una cadena de dispositivos, tiene ventajas. La energía de cada dispositivo puede ser monitoreada aun cuando se apague alguno de ellos por alguna sobrecarga de corriente, si ésta no altera a los otros dispositivos conectados.

A diferencia de las interfaces como el puerto paralelo, serial, PS/2 y de juegos de video, el USB se caracteriza por ser un puerto “universal” para todos los periféricos de una computadora personal. Este puerto reemplaza la necesidad de múltiples puertos externos y permite que 127 periféricos se conecten de forma secuencial en un simple puerto de USB utilizando múltiples *hubs* USB.

La visión original de USB era crear una computadora libre de puertos legalizados, y que sólo contara con los puertos Ethernet, SCSI y USB. USB, un *bus* de interfaz externo *plug-and-play* reemplazaría todos los puertos legalizados.

Hoy en día, la mayoría de las computadoras personales todavía incluyen ambos, USB y puertos legalizados. Esto es porque existen muchos periféricos en el mercado que requieren de puertos legalizados, además de que el costo de incluir el puerto es relativamente bajo.

Desde el 2004, la mayoría de los fabricantes de las computadoras personales, han eliminado la unidad de floppy debido a la gran popularidad de las memorias de almacenamiento masivo USB.

Los puertos USB han sido las interfaces de mayor preferencia para los dispositivos como impresoras, *scanners*, descargas de música con formato MP3 y sincronizaciones con PDA's. Algunas veces es utilizado para proveer energía para calentar un café, o conectar una luz de teclado para computadoras portátiles. Otras aplicaciones incluyen adaptadores tales como controladores de presentaciones remotas, USB para Bluetooth, y USB para puertos seriales.

En los sistemas operativos de Microsoft Windows ME, 2000 y XP, se incluyen drivers preinstalados de USB, lo cual convierte al USB en un dispositivo sumamente cómodo. Cuando la memoria *flash* fue introducida por primera vez, el dispositivo que la contenía era 100% *plug and play*. Esto permitía que se configurara automáticamente al momento de ser conectado a una computadora que se encontrara utilizando alguno de los sistemas operativos como: Windows ME, 2000 o XP. Antes de que Windows introdujera la tecnología *plug and play*, un dispositivo necesitaba de un *driver* que tenía que ser previamente instalado para funcionar correctamente.

Ahora bien a partir de la versión 1.1 de USB, se incluyeron dos velocidades, *full-speed*, 12Mbps/s y *low-speed* 1.5Mbps/s. Esta última es más lenta y menos susceptible a la interferencia electromagnética. La versión 2.0 de USB tiene una velocidad denominada *high-speed* de 480 Mbps/s.

El USB es un controlador de *host*. Sólo puede haber un *host* por *bus*. La especificación establece que no se soporta ningún arreglo de configuraciones multimaestro. Sin embargo en la especificación *On-The-Go* (OTG), se introduce dentro del USB 2.0, un protocolo de negociación de *host*, que permite que dos dispositivos negocien cuál de los dos adoptará el papel de *host*. [7]

El *host* de USB es el responsable de asumir todas las transacciones y asignar el ancho de banda. La información puede ser enviada por varios métodos de transacción utilizando un protocolo *token-ring*.

En la especificación de USB inalámbrico, se combina la velocidad y seguridad que se ofrece en el USB alámbrico en una tecnología inalámbrica. Se hace la conectividad por medio de una banda ultra ancha (*Ultra wide band*), que ofrece, como su nombre lo dice, un mayor ancho de banda, un bajo costo y un bajo consumo de potencia para los dispositivos móviles.

## **I.5 Conclusiones**

Existe hoy una amplia variedad de tecnologías diferentes que pueden ser utilizadas para comunicar diferentes dispositivos, sin embargo cada una tiene varias ventajas y desventajas que deben ser consideradas cuando se desea utilizar alguna de ellas. Existen tecnologías alámbricas que permiten una conexión rápida entre dispositivos, pero en algunas ocasiones tienen limitaciones estrictas de distancia. Las tecnologías inalámbricas en ocasiones pueden ayudar con estas limitaciones pero será importante siempre analizar bien los estándares de éstas tecnologías.

Este capítulo presentó diferentes tecnologías que se consideraron para la implementación de este proyecto, las características más importantes de cada una de las tecnologías mencionadas así como las ventajas y desventajas que cada una ofrece para que se pudiera obtener el mejor desempeño. En los siguientes capítulos se presenta más detalladamente cada una de las tecnologías que se utilizaron así como la forma en la que se implementó cada una de ellas dentro del proyecto.

## Capítulo II PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

---

### Introducción

Con los avances de la tecnología, ahora es mucho más sencillo tener herramientas o sistemas que facilitan nuestro trabajo e incluso nuestra vida. La tecnología inalámbrica ha tenido mucha aceptación y evolución a lo largo de estos años. Para que este tipo de comunicación se realice, se debe tomar en cuenta el método de transmisión, así como los posibles protocolos, formas de modulación, etc.

En este capítulo se describirá el funcionamiento del protocolo de comunicación del sistema desarrollado. La comunicación eficiente entre los dispositivos inalámbricos es algo muy importante cuando se desea transmitir datos o cualquier tipo de información.

### II.1 Definición de protocolo de comunicación

Se llama protocolo de comunicación al conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre dispositivos.

En el desarrollo de todo el sistema se define al módulo maestro como un dispositivo que se conecta a una computadora personal y que constituye la interfaz con el canal inalámbrico al que se conectan los dispositivos periféricos. Los módulos esclavos son los que mandan la información por el canal inalámbrico. Los teclados se conectan al módulo esclavo de forma serial. La figura II.1 muestra el sistema.

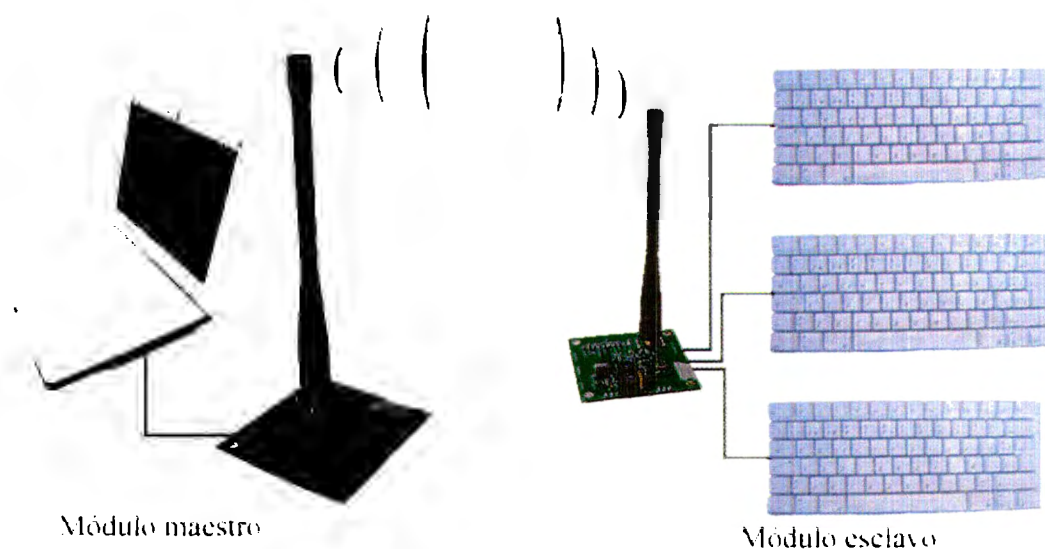


Figura II.1 Sistema multiteclados

## II.2 Forma de comunicación

El dispositivo periférico utiliza microprocesadores Atmel ATMEGA8535. Entre el microcontrolador y el transmisor se tiene una comunicación de tipo *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Éste es un tipo de comunicación serial que se incluye en el microcontrolador AVR que se utiliza. Esta transmisión es de tipo síncrona y se recomienda únicamente en comunicaciones en donde las distancias son muy cortas.

Utilizando esta comunicación SPI, el microcontrolador le manda los datos continuamente al transmisor, para que éste pueda enviarlos a través del canal inalámbrico. Este tipo de comunicaciones requiere únicamente de tres líneas, una línea de reloj (CLK) la cuál sincroniza ambos microcontroladores para la comunicación, una línea de entrada de datos del maestro al esclavo y una línea de datos del esclavo al maestro. La comunicación, en este caso, es completamente bi-direccional, y alcanza altas tasas de transmisión.

Entre el microcontrolador de los teclados y el microcontrolador de transmisión, se manejará la comunicación serial USART, la cual consta de dos líneas de transmisión, TX y RX. Este tipo de transmisión puede ser configurado a diferentes tasas de transmisión, en este caso, se utilizó la tasa de 57600Bps, ya que necesitamos asegurar que todos los datos lleguen correctamente al otro microcontrolador, y que se tenga una tasa de transmisión lo suficientemente alta para que los datos no se pierdan y que puedan ser transferidos en cuanto se tenga el permiso de transmisión.

## II.3 Comunicación microcontrolador maestro

El protocolo de comunicación entre los módulos esclavos y los microprocesadores, se basa en la tecnología Ethernet, y más específicamente en forma de *broadcast*. El microprocesador maestro del dispositivo periférico envía una dirección informándole solamente a uno de los microprocesadores esclavos que es su turno de mandar toda la información contenida en él.

Esa dirección que manda el microprocesador maestro, es escuchada por todos los esclavos, los cuales, al ver que no es su dirección, hacen caso omiso y continúan recibiendo información del teclado que tienen directamente conectado. El microprocesador esclavo que tiene que responder, puesto que la dirección que envió el maestro es la suya, manda su información. Al terminar de mandar le avisa al maestro que ya terminó y éste manda la siguiente dirección y así sucesivamente.

En la figura II.2 se muestra el diagrama de flujo del protocolo que se lleva a cabo en el módulo maestro.

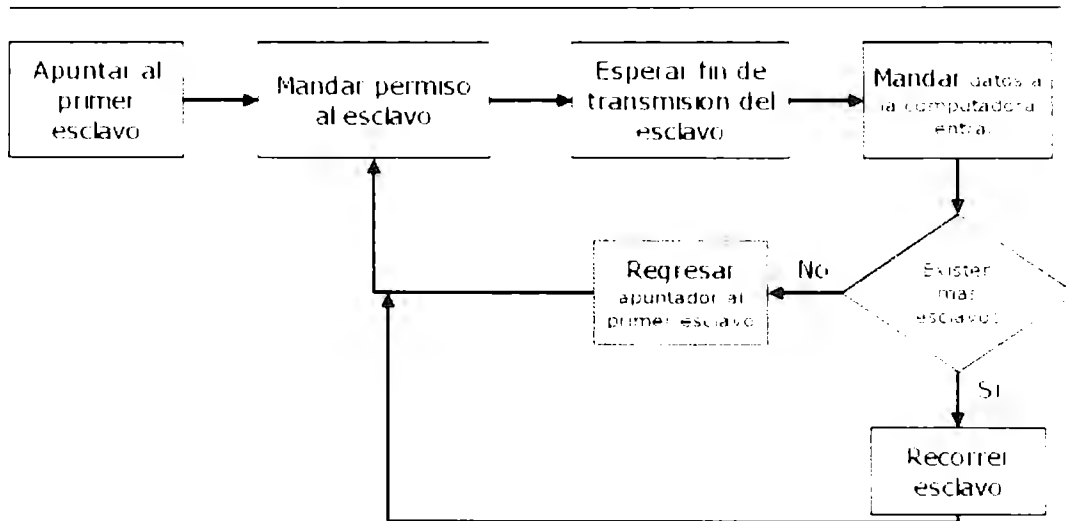


Figura II.2 Diagrama de flujo del protocolo en el módulo maestro

Lo primero que se hace para realizar la trama, es crear la cadena denominada “inicio de trama”; esta trama está formada por la palabra EF, y un bit de paridad, en este caso paridad par, con el fin de diferenciarla de posibles datos o direcciones iguales. Una vez creada esta cadena, se le irá colocando la dirección y el dato, cada uno de estos con una paridad impar, una vez más, con el fin de diferenciarlos del inicio y fin de trama. Esto se hará hasta juntar 8 direcciones con sus respectivos datos, o hasta terminar los datos que se tengan en la memoria. Una vez que esto suceda, se le colocará una palabra que indicará el fin de la trama. Esta palabra de fin de trama será FE, y tendrá una paridad par. La figura II.3 muestra cómo se verían las tramas una vez que se encuentren armadas.

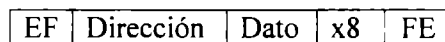


Figura II.3 Trama completa

Este módulo esclavo, tiene varias tareas importantes que tiene que realizar constantemente. Es el encargado de recibir y juntar todos los datos que llegan de los teclados y transmitirlos a la computadora para que ésta pueda juntarlos y desplegarlos en la pantalla. En la figura II.4 se puede ver la forma en la que el receptor irá conectado a la computadora.



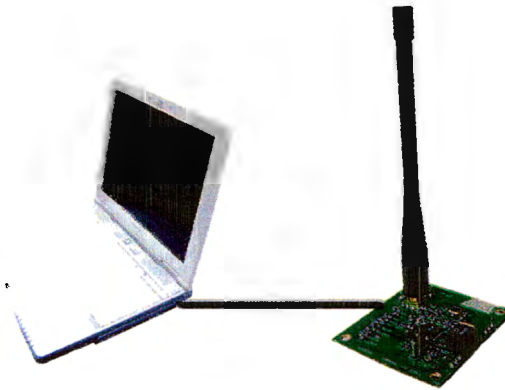


Figura II.4 Computadora-transmisor

Este módulo será el maestro de toda la red de transmisores, y será el encargado de dirigir el protocolo de comunicación necesario para que se tenga un orden entre todas las comunicaciones. Este maestro se encargará de darle el permiso de transmisión a cada uno de los esclavos, esperando su respuesta, que será la trama mencionada en la figura II.3. Una vez recibida la trama completa, la transmitirá inmediatamente a la computadora y le dará permiso de transmisión al siguiente esclavo.

#### II.4 Comunicación microcontroladores esclavos

En la Figura II.5 se muestra como se conectan los teclados al módulo esclavo.

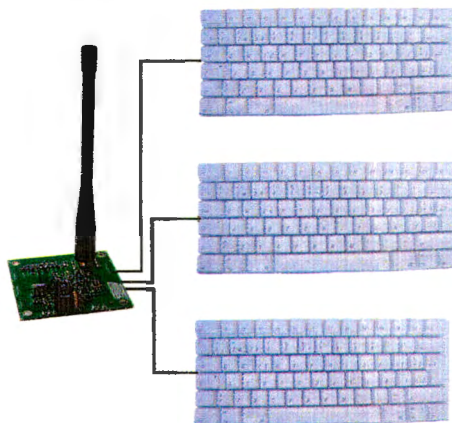


Figura II.5 Conexión teclados-recepción

En la Figura II.6 se muestra el diagrama de flujo del protocolo que se lleva a cabo en los módulos esclavos.

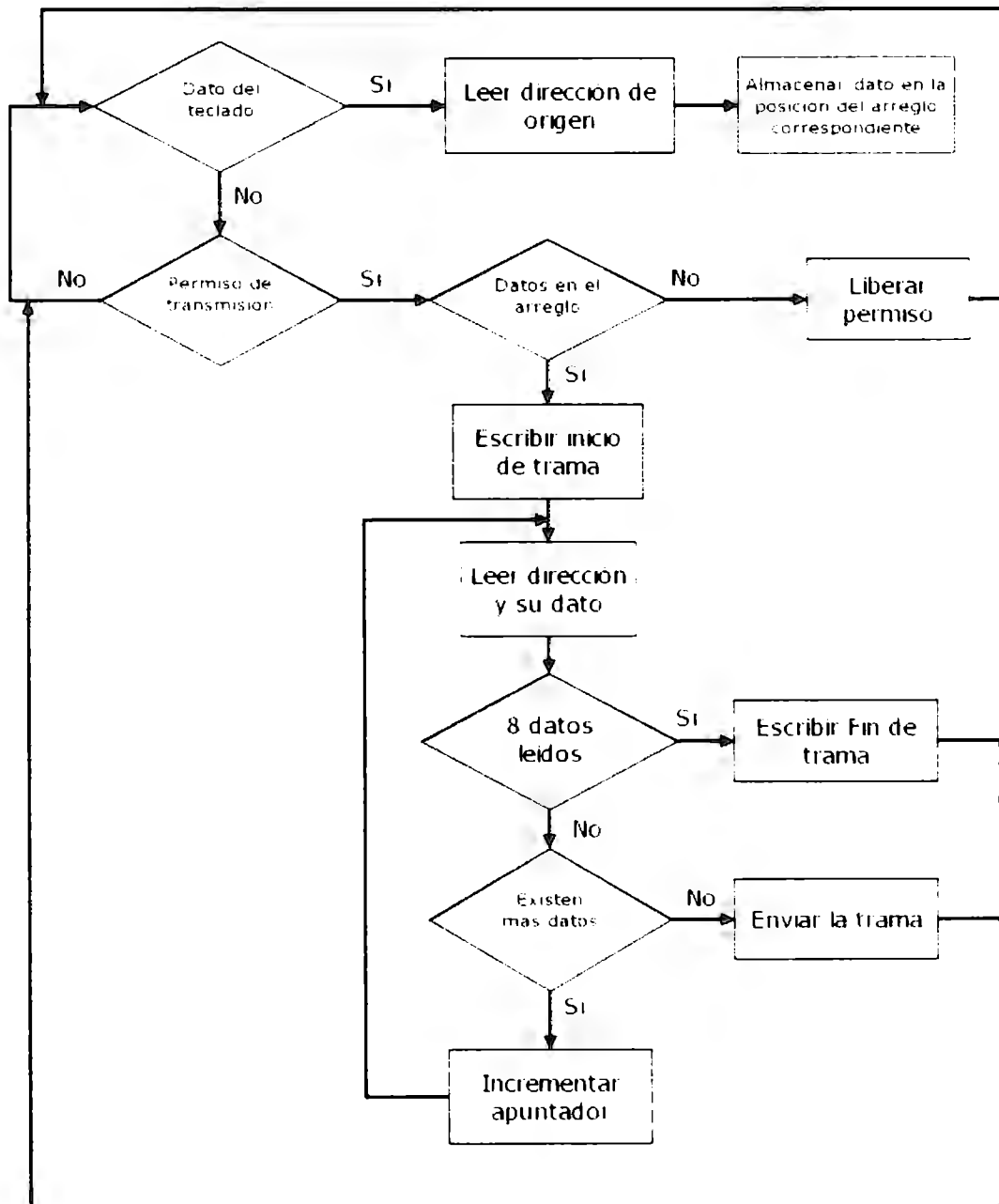


Figura II.6 Diagrama de flujo del protocolo en los módulos esclavos.

## **II.5 Conclusiones**

El protocolo de comunicación inalámbrico fue implementado con el fin de que se pudieran comunicar varios módulos esclavos con un solo maestro, mandándole constantemente la información recibida desde los teclados y sin causar problemas de interferencia entre ellos. Esto fue sumamente importante, ya que sin este protocolo en funcionamiento, los transmisores mandaban su información al mismo tiempo y todos los datos se perdían.

Después de haber leído este capítulo se podrá entender claramente cómo funciona el protocolo de comunicación. Este protocolo va muy ligado a la transmisión inalámbrica que se verá en el siguiente capítulo, teniendo de esta manera el panorama completo de cómo se efectúa la comunicación entre los módulos esclavos y el maestro.

## Capítulo III RADIOFRECUENCIA

---

### Introducción

Como se ha mencionado anteriormente, el envío de datos por medio de un canal inalámbrico es sumamente importante para el desarrollo de este proyecto. La comunicación inalámbrica se realiza utilizando la tecnología de la radiofrecuencia, con la cual podremos transmitir los datos eficientemente en un rango de distancias tales que permita el buen funcionamiento del proyecto.

En este capítulo se presentarán conceptos básicos de radiofrecuencia, como base para entender el funcionamiento de las tarjetas que utilizamos para el desarrollo de la comunicación inalámbrica.

También se encontrará en este capítulo, la descripción de las tarjetas de radiofrecuencia, sus características básicas, su funcionamiento y la forma en la que se utilizaron para poder tener una comunicación inalámbrica entre los dispositivos que necesitamos, cumpliendo con las leyes de México, y usando únicamente una frecuencia que se encontraba libre.

### III.1 Antecedentes

La comunicación inalámbrica utilizando radiofrecuencias (RF) se ha considerado desde hace mucho tiempo, y hoy, la podemos ver en un sinnúmero de aplicaciones en miles de establecimientos en todo el mundo. Existen aplicaciones muy conocidas que utilizan RF de muy alta potencia, como son la radio y la televisión, pero hay muchas otras, en diversas áreas de aplicación, que también aprovechan esta tecnología, como podrían ser: Radares, comunicaciones satelitales, comunicaciones de dos vías, aplicaciones médicas de diagnóstico y tratamiento, entre otras.

El espectro de la radiación electromagnética que puede ser utilizado, va desde los 100Hz hasta aproximadamente  $10^{20}$ Hz, siendo las frecuencias más bajas las utilizadas para comunicaciones terrestres. Sin embargo, nos enfocaremos en las frecuencias que van desde los 30KHz a los 30GHz, ya que éstas son las frecuencias utilizadas para las transmisiones de RF terrestre [8].

A continuación se presenta una breve descripción de las frecuencias utilizadas, así como las posibles aplicaciones que tiene cada una de ellas.

- **30kHz hasta 300kHz.** Se denomina baja frecuencia, o por sus siglas en inglés, LF (*Low Frequency*). Esta banda se utiliza para comunicaciones a largas distancias, siempre y cuando se tenga una fuente de potencia confiable para poder sobrepasar el ruido atmosférico. Algunos ejemplos de aplicaciones son [8]:

- comunicaciones marítimas,
  - comunicaciones subacuáticas,
  - navegación por radio y
  - transmisiones de baja frecuencia en Europa.
- 
- **300kHz hasta 3MHz.** Se denomina frecuencia media, o por sus siglas en inglés, MF (*Medium Frequency*). Esta banda se podría dividir en dos, con base en su aplicación. Se puede decir que la mitad más baja se utiliza para comunicaciones a distancias no muy grandes, mientras que la mitad alta de esta banda se utiliza para comunicaciones de voz a distancias moderadas. Algunos ejemplos de esto son [8]:
    - transmisiones AM (553.3-1605.5kHz),
    - comunicaciones marítimas,
    - navegación por radio y
    - servicios de comunicaciones comerciales móviles y estacionarios.
- 
- **3MHz hasta 30MHz.** Se denomina alta frecuencia, o por sus siglas en inglés, HF (*High Frequency*). Esta banda proporciona una comunicación a distancias moderadas de alta calidad. Es importante mencionar que la calidad de la señal en esta banda depende mucho de las condiciones de la ionósfera, así como de las condiciones de las manchas solares, ya que estos factores afectan directamente la propagación de la señal. Algunos ejemplos de aplicaciones usando esta banda son [8]:
    - transmisiones de alcance bajo,
    - servicios de comunicación móvil y fija,
    - telemetría y
    - astronomía
- 
- **30MHz hasta 300MHz.** Se denomina muy alta frecuencia, o por sus siglas en inglés, VHF (*Very High Frequency*). Esta banda se caracteriza por ser muy confiable en transmisiones a distancias moderadas. Muchas aplicaciones utilizan esta banda. Algunas de éstas son [8]:
    - transmisión de radio FM (88 – 108MHz),
    - transmisión de televisión de banda baja VHF (54-72 MHz y 76-88MHz),
    - transmisión de televisión de banda alta VHF (174-216MHz),
    - radios móviles e
    - investigaciones espaciales
- 
- **300MHz hasta 3GHz.** Se denomina ultra alta frecuencia, o por sus siglas en inglés, UHF (*Ultra High Frequency*). Esta banda se utiliza básicamente para transmisiones que se encuentran dentro de una línea de visión. Es decir, poco alcance comparado con otras bandas, pero alta calidad de señal. Además,

permite el uso de antenas parabólicas. Algunos ejemplos de aplicaciones que utilizan esta banda son [8]:

- televisión terrestre UHF (470-806 MHz),
- comunicaciones móviles y estacionarias,
- telemetría,
- aplicaciones espaciales y
- comunicaciones satelitales

En México, esta banda se divide en distintos rangos de frecuencia, cada uno de estos rangos se asignan a diferentes aplicaciones y se rigen de forma distinta. En el caso específico de este proyecto, se utiliza la frecuencia de 915Mhz, que se encuentra dentro del rango de los 902-926Mhz, que se designa para los servicios de comunicación personal de banda angosta [9].

- **3GHz hasta 30GHz.** Se denomina súper alta frecuencia, o por sus siglas en inglés, SHF (*Super High Frequency*). Las comunicaciones que se den en esta banda tienen un alcance bajo; son estrictamente en la línea de visión. La longitud de onda muy baja que manejan, permite el uso de antenas parabólicas con ganancias extremadamente altas. Algunas aplicaciones de esta banda son [8]:
  - comunicaciones satelitales,
  - radares,
  - investigación y desarrollo,
  - investigaciones espaciales y
  - aplicaciones militares

## III.2 Modulación

Los sistemas de comunicación tienen como objetivo la transmisión de información de un lugar a otro, pero para poder mandar esta información es necesario ajustarla o acoplarla de forma que sea posible el envío por el canal que se escoge. Para poder acoplar las señales se utilizan codificadores, los cuales se encargan de modular la señal a enviar.

La modulación es un proceso mediante el cual las características de la onda se modifican por medio de la adición de información a ésta, dependiendo de las necesidades que se tengan. Existen muchas formas diferentes de hacer una modulación, y a éstos se les denomina *modos*. La señal que aún no se encuentra modulada se denomina *portadora*.

A continuación presentaremos una lista con una breve descripción de cada una de ellas, sin entrar en detalles.

- **Forma de onda continua:** Se denomina CW, por sus siglas en inglés. Esta es la forma de modulación más sencilla que existe y se basa en el encendido y apagado del transmisor, formando así pulsos como aquellos usados en la clave Morse [10].

- **Amplitud modulada (AM):** Esta forma de modulación consiste en variar la amplitud de la onda transmitida dependiendo de la variación de la señal moduladora. Esto quiere decir que la onda se convierte en una señal de voltaje variable que se amplifica y después se transmite. Cuando se utiliza la forma AM para la modulación, se tiene como consecuencia tres frecuencias separadas que se transmiten simultáneamente. Por un lado, se tiene la frecuencia original, y una señal que viaja por debajo de la frecuencia de la señal original *Lower Side Band*, y por último, se tiene una señal de frecuencia superior a la original *Upper Side Band* [10].
- **Banda única lateral:** Se denomina SSB, por sus siglas en inglés. Consiste en aprovechar la energía que se tiene, en vez de desaprovecharla en tres bandas. Usando este principio, se toma únicamente la banda superior o la inferior, teniendo una sola frecuencia. De esta forma, la energía completa del sistema puede invertirse en esta señal, permitiendo que este método sea mucho más eficiente que las dos anteriores [10].
- **Frecuencia modulada (FM):** La forma en la que opera la frecuencia modulada es por medio de la modificación de la frecuencia que tiene la señal que se envía de acuerdo a una señal modeladora. En esta forma, se tiene una señal sin modificaciones, a la cual se le denomina frecuencia central; cuando se aplica la señal moduladora, la frecuencia central varía. A pesar de que esta forma de modulación ocupa una gran porción de la frecuencia, el ruido tiene poco efecto sobre la señal, por lo que se utiliza mucho [10].
- **Desplazamiento de la frecuencia:** Se denomina FSK, por sus siglas en inglés. Esta forma de modulación es parecida a la modulación por frecuencia (FM), ya que consiste en el desplazamiento de la onda portadora; sin embargo, existen importantes diferencias entre estos dos. La primera diferencia es que la modulación FM permite el desplazamiento de la portadora, sin importar hacia dónde se modifica la frecuencia; sin embargo, en la modulación FSK se respeta que se recorra únicamente entre dos puntos, es decir, una frecuencia alta y una baja. A la frecuencia alta se le denomina *Mark frequency*, mientras que a la frecuencia inferior se denomina *Space frequency* [10].

Esta forma de modulación se inventó con el fin de transmitir código de texto simple a través de un canal inalámbrico, para que a la hora de recibirlo éste pudiera ser impreso. La razón por la cual se hace un corrimiento entre dos puntos fijos, es para generar el código de Baudot, el cual representaba los diferentes caracteres o letras del abecedario. Sin embargo, conforme la tecnología avanzó, se comenzó a utilizar esta forma de modulación para mandar formas de texto más complejas como la ASCII, con la cuál se pueden representar todos los caracteres.

Ahora, con los nuevos microprocesadores de altas velocidades, se pueden, además, generar códigos de corrección y detección de errores, por lo que el código se vuelve mucho más robusto y eficiente para

transmisiones a distancia, en las cuales es importante que la información llegue correctamente.

Esta sigue siendo la forma más rápida para enviar texto a través de un canal inalámbrico utilizando la radiofrecuencia, y en conjunto con los códigos de detección y corrección de errores, es sumamente confiable [10].

Es importante aclarar que los módulos de radiofrecuencia con los que contamos (AT86RF211S de ATMEL), utilizan esta forma de modulación y no puede ser alterada.

### III.3 Radiofrecuencia en México

El uso y la regulación de todas las frecuencias en México se hace por medio de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL). Para poder hacer uso de cualquiera de las frecuencias es necesario estar en norma con la regulación que se tiene designada para cada aplicación.

En el caso de este proyecto se estará utilizando la banda de los 915Mhz, por lo que a continuación se presenta la regulación de COFETEL para esta banda, así como los usos que permite.

La banda de los 915Mhz se encuentra dentro del grupo designado por la COFETEL como “*Banda para servicios fijos, móviles y de aficionados*”. Dentro de estos servicios se encuentran las aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en este grupo de bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número **S15.13** [9].

Las notas que tiene la COFETEL al respecto son las siguientes:

**MEX19** El 28 de noviembre de 1988, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Reglamento para instalar y operar estaciones radioeléctricas del Servicio de Aficionados [9].

**MEX125** La banda de 890 - 960 MHz está siendo despejada de los sistemas de microondas que transmiten radiotelefonía multicanal de punto a punto [9].

**MEX128** La banda de frecuencias de 902 - 928 MHz está destinada para aplicaciones del servicio fijo y móvil utilizando tecnologías convencionales, cuyas aplicaciones principales son la transmisión de datos de baja velocidad; así como para la operación de sistemas meteorológicos, dando la protección necesaria a los equipos Industriales Científicos y Médicos (ICM) [9].

**MEX130** Las especificaciones para la instalación y operación de sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica de espectro disperso en las bandas de 902 - 928 MHz, 2 450 - 2 483.5 MHz y 5 725 - 5 850 MHz, se establecen en la Norma Oficial Mexicana Emergente, NOM-EM-121-SCT1-1994, publicada el 22 de diciembre de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Para evaluar la factibilidad técnica de



emplear también la banda 2 400 - 2 450 MHz para espectro disperso, se realizan estudios de convivencia con los sistemas en operación en México [9].

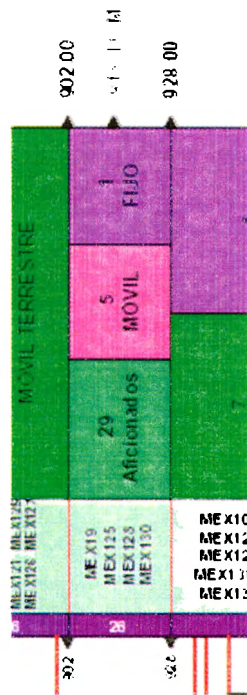


Fig III.1. Grupo de frecuencias y uso según su regulación

De acuerdo a las características de las tarjetas de radio frecuencia con las que se cuenta, la potencia máxima de transmisión con la que se cuenta en la banda de los 915MHz es de +14DBm, como se puede ver en el disco anexo bajo la carpeta de documentación técnica. La COFETEL limita la potencia de transmisión dependiendo de la frecuencia que se esté utilizando de acuerdo a la Tabla III.1 que se muestra a continuación:

Banda de frecuencia	Potencia de salida
902 MHz a 928 MHz	100 mW
2 400 MHz a 2 483,5 MHz	650 mW
5 725 MHz a 5 850 MHz	250 mW

Tabla III.1 Frecuencia y potencia máxima permitida por la COFETEL

Dado que se tiene una potencia máxima de +14DBm, y en relación a la siguiente fórmula, podemos ver que la potencia de trasmisión es:

$$DBm = 10 \log \left( \frac{P}{1mW} \right)$$

$$14DBm = 10 \log \left( \frac{P}{1mW} \right)$$

$$\therefore p = 25.1188mW$$

Teniendo esto, se puede decir que según los requerimientos y normas de la COFETEL, este proyecto cumple con la normatividad y las limitaciones establecidos.

### **III.4 Tecnología utilizada**

Para la realización de la parte inalámbrica de este proyecto, se cuenta con dos módulos de radiofrecuencia marca ATMEL, y sus respectivas tarjetas de evaluación, con las cuales se pretende hacer el desarrollo del prototipo del proyecto para después pasar a hacer un sistema controlador de las tarjetas de radiofrecuencia.

Las tarjetas de transmisión inalámbricas con las que se cuenta son: AT86RF211S, las cuales tienen las siguientes características que se consideraron para cumplir con los distintos requerimientos técnicos que se tenían.

- Receptor/transmisor multi-banda. Esto quiere decir que se puede usar en un rango de bandas de entre 400MHz hasta 950MHz. Esto es importante para el proyecto por varias razones. Una de ellas es la parte legal del uso de bandas libres en cada país. Esto nos permite escoger la frecuencia, dependiendo del lugar en el que se esté transmitiendo, evitando interferir con bandas que ya se encuentran en uso por algún otro dispositivo. Además de la parte legal, también es un punto importante para nosotros porque se puede cambiar de frecuencia dependiendo del lugar en el que se encuentre (siempre respetando la banda de frecuencias libres) para evitar interferencia y ruido generado por otros dispositivos que se encuentren operando en el mismo lugar.
- Altas velocidades de transmisión. Esta tarjeta maneja velocidades de transmisión de hasta 100Kbps, lo cual es importante para nosotros porque, de no tener tasas de transmisión lo suficientemente altas, el número de personas que pueda estar tecleando simultáneamente disminuiría significativamente, o los datos se perderían, y éste es uno de los principales requerimientos del proyecto,
- Modulación FSK. Como mencionamos anteriormente, la forma de modulación que utilizan estas tarjetas es FSK, y aunque esto no puede ser cambiado, la eficiencia que tiene este modo nos puede asegurar una transmisión confiable de la información, logrando así reducir el tiempo de revisión de errores, así como la corrección de éstos en caso de que se tengan.
- Bajo consumo de potencia: Uno de los puntos más importantes es el bajo consumo de potencia, ya que al ser módulos inalámbricos, se estarán manejando por medio de pilas, disminuyendo así el cableado aún más. Si el consumo de potencia no es lo suficientemente bajo, se tendrían problemas a la hora de largas sesiones. Además, este dispositivo nos permite escoger el nivel de potencia con el que se requiere transmitir, dependiendo de la distancia a la que se debe mandar la información y del ambiente en el que se está trabajando, permitiéndonos ahorrar energía al máximo. También se pueden escoger varios modos de bajo consumo cuando no se están utilizando las tarjetas.

Éstas son algunas de las características más importantes que se tomaron en cuenta a la hora de la selección de las tarjetas de transmisión. En el disco anexo a este trabajo, se

puede encontrar bajo la sección “Documentación Técnica” el conjunto completo de características que tienen esta tarjeta, así como sus características eléctricas.

Además de las tarjetas de transmisión, se utilizaron también los equipos de desarrollo para los módulos de radiofrecuencia. Los equipos que se utilizaron fueron los AT86RF211DK de ATMEL. Estos equipos fueron sumamente importantes para el desarrollo de los códigos de transmisión, ya que permitieron hacer pruebas básicas de comunicación, así como de cambio de frecuencia, de potencia, etc. Una vez completada la transmisión, utilizando los equipos de desarrollo y acoplándola a nuestras necesidades, se pasó a adaptar el circuito de radiofrecuencia a un sistema mínimo, hecho por nosotros, que se basa en un microcontrolador de propósito general, y únicamente contiene los componentes esenciales para el buen funcionamiento del proyecto. De esta forma se logró reducir significativamente el costo de la producción del proyecto.

### **III.5 Desarrollo de los módulos de radiofrecuencia**

Las tarjetas de comunicación inalámbrica con las que trabajamos requieren de un controlador que mande a los registros adecuados toda la información de inicialización de potencia y frecuencia así como los comandos para que pueda comenzar a trabajar. Es por esto que se utiliza un microcontrolador de propósito general (en este caso un ATmega8535) para poder mandar continuamente todas las señales requeridas por el transmisor y el receptor.

Además de controlar la tarjeta de transmisión y la de recepción, el microcontrolador tiene funciones adicionales, como recibir el código que mandan los teclados y almacenarlos hasta que tenga el derecho a transmitir.

Para poder entender la forma en la que se desarrollaron los módulos de comunicación inalámbrica, se dividirá en dos partes diferentes: el módulo periférico, y el módulo maestro.

#### **III.5.1 Módulo Esclavo Inalámbrico**

Debido a la forma de comunicación y los requerimientos de esta parte del proyecto, se tomaron en cuenta varios aspectos importantes:

Los módulos periféricos debían comportarse como almacenes de información. Cada uno de estos módulos debía tener la capacidad de recibir la información de varios teclados, almacenar esta información y esperar hasta que le toque transmitir. En el momento en el que se detectara que se encontraba libre, es decir, que tuviera el permiso de transmisión, se tomaría todos los datos posibles, se mandarían al receptor, y se esperaría de nuevo a que tuviera permiso de transmitir.

Debido a que cada uno de los módulos transmisores tenía que esperar el permiso para transmitir lo que tuviera almacenado, fue necesario hacer que se comportara también como un receptor, que esperaría a recibir ese permiso. Una vez que lo tuviera, pasaría de nuevo a ser un transmisor.

Como podemos ver, el módulo periférico no siempre iba a tener el mismo comportamiento, por lo que se tuvo que desarrollar un código que le permitiera continuamente cambiar de estado.

Teniendo estos requerimientos, el programa que controla la parte de transmisión consta de las siguientes características:

- **Inicialización del módulo periférico en modo receptor:** Esta parte del programa se ejecuta en el momento en el que se prende el módulo, y se encarga de inicializar a la tarjeta de radiofrecuencia para que funcione en modo de recepción. Esto quiere decir que en el momento en el que el módulo es encendido, se mantiene esperando el permiso de transmisión, mientras no lo tenga, éste permanecerá en espera sin poder enviar nada.

Esta sección del programa controla los registros del transmisor con el fin de que sean configurados adecuadamente para recibir la información.

- **Recepción y almacenamiento de los datos:** Esta parte del programa es sumamente importante y se encuentra activa todo el tiempo, ya sea que el módulo se esté comportando como transmisor o como receptor. Esta parte se encarga de estar recibiendo continuamente la información que manda cada teclado. Para esta parte del programa se tiene que tomar en cuenta la comunicación que se tiene entre los teclados y el microcontrolador y de éste hacia el transmisor.

La razón por la cual se utiliza la comunicación SPI (Capítulo II) entre las tarjetas de radiofrecuencia y el microcontrolador, es porque se pueden mandar todas las palabras de control, que llegan a ser de hasta 32 bits, utilizando únicamente tres líneas, por lo que se ahorran muchas líneas de puerto.

- **Inicialización del módulo esclavo en modo de transmisión:** Esto sucede en el momento en que el módulo transmisor recibe su dirección. En este momento, su comportamiento cambiará de inmediato para convertirse en transmisor.

Para ello, se le manda al transceptor todas las palabras de control necesarias para que éste se comporte ahora como transmisor. Una vez que se mandan estas palabras, se tiene un tiempo de retraso en lo que cambia, por lo que se puede aprovechar para comenzar con la lectura de los datos que se tienen en memoria, ya que éste es un procedimiento muy lento.

- **Envío de los datos que se encuentran almacenados en la cola:** Este proceso comienza en cuanto se le mandan las palabras de control al módulo para convertirlo en transmisor. Como se mencionó anteriormente, existe un tiempo de retraso en el que el transmisor no podrá enviar ningún dato, por lo que se aprovecha para comenzar con la lectura de datos que se encuentran en la memoria SRAM del microcontrolador.

El procedimiento que se sigue para leer los datos consiste en recorrer la memoria una localidad a la vez hasta llegar a 8 localidades. Esto se hará con el fin de

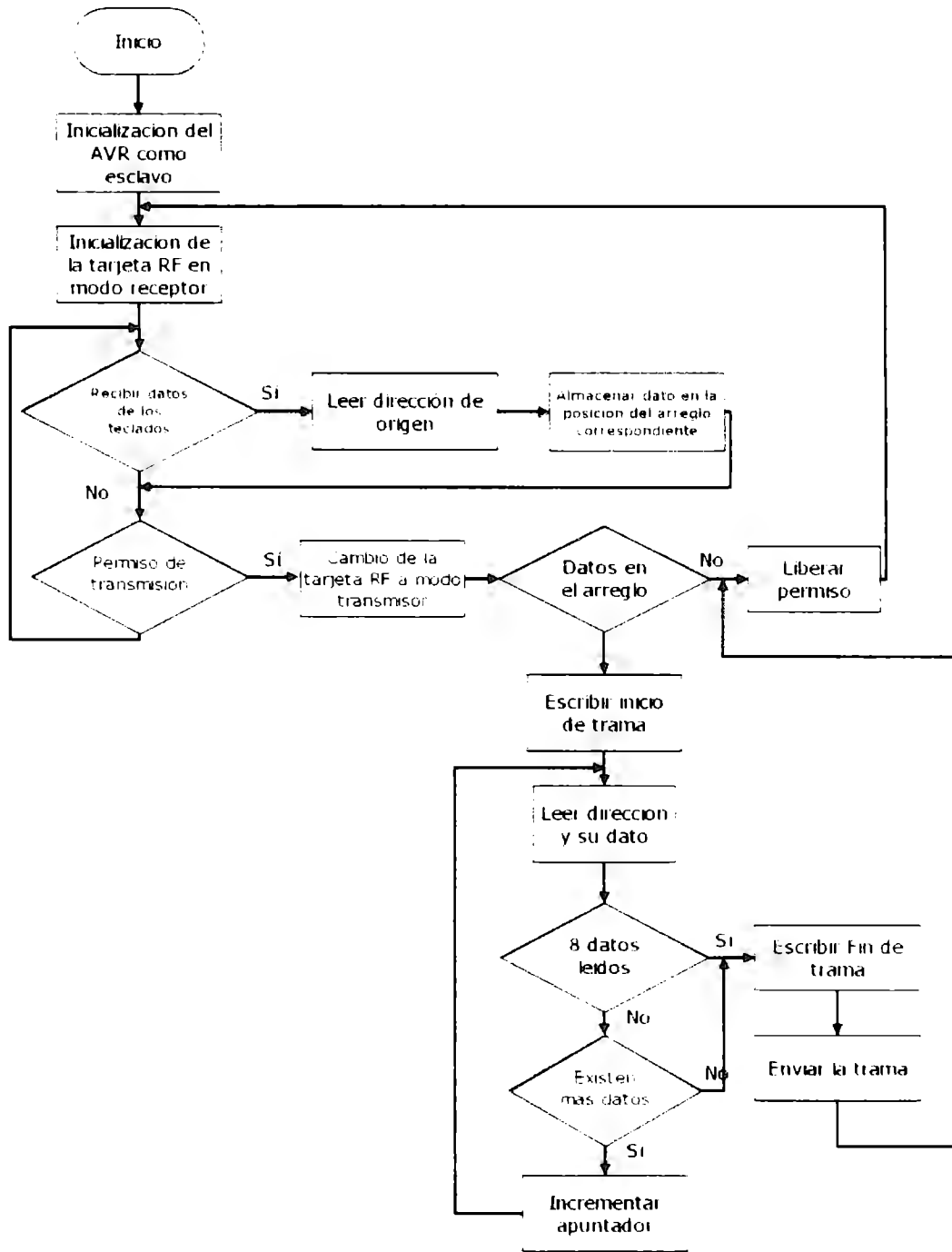
armar tramas completas de 8 datos (en el caso que se tengan al menos 8 datos) y mandarlas por el canal inalámbrico.

Una vez que se tenga cada una de las tramas armadas, ésta se enviará inmediatamente por medio del canal inalámbrico. Esto se seguirá haciendo mientras se tenga el *token* o hasta que se vacíe la memoria. Una vez finalizado este procedimiento, por cualquiera de las dos razones, se pasará al siguiente módulo del programa.

- **Modo de recepción y espera:** Esta parte del programa tiene como finalidad volver al módulo esclavo en receptor para que éste pueda estar escuchando en el canal inalámbrico, esperando así que el maestro le ceda el permiso de nuevo, para que pueda transmitir una vez más.

Aquí, se mandarán al módulo todas las palabras de control necesarias para que éste tome la función de receptor y permanezca escuchando el canal inalámbrico, para poder transmitir una vez más en cuanto tenga el permiso. En el momento en que esto suceda, se pasará a inicializar el módulo en modo transmisor y se repetirá una vez más todo el procedimiento para el envío de datos.

En la Figura III.2, presentada a continuación, se puede observar claramente el proceso que sigue el programa en un diagrama de flujo. Este diagrama ilustra, paso a paso, el procedimiento del programa que tiene cada uno de los esclavos.



Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México  
**Biblioteca**

Figura III.2. Diagrama de flujo del módulo esclavo

El código completo correspondiente a este módulo puede encontrarse en el disco anexo bajo la carpeta “Código Fuente/Esclavo”.

### III.5.2 Módulo maestro inalámbrico

El módulo de recepción consta de un microcontrolador conectado al receptor inalámbrico por medio de uno de sus puertos, así como a la computadora central por medio de otro de ellos.

Este módulo tampoco será siempre un receptor, ya que tiene que transmitirle los permisos a cada uno de los transmisores, comportándose en este momento como un transmisor e inmediatamente después pasar a escuchar su respuesta, adoptando su papel de receptor.

Para ello, se desarrolló un programa que cumpliera con los siguientes módulos:

- **Inicialización del receptor en modo de transmisión:** Esta parte del programa se ejecuta en el momento en que se inicializa el programa. Consta de la inicialización del módulo de radiofrecuencia, configurándolo con las palabras de control adecuadas para que éste se comporte como un transmisor. Esto se hace con el fin de iniciar la comunicación entre el módulo transmisor y el receptor. Una vez que se configuran los registros de la tarjeta de radiofrecuencia, se pasará al siguiente módulo del programa, el cual se encargará de iniciar el protocolo de comunicaciones.
- **Envío de direcciones para protocolo de comunicación:** Este módulo es el encargado de la comunicación entre el maestro y todos los esclavos. Cada uno de los esclavos tendrá una dirección única, con la cual el maestro podrá identificarlos [Capítulo II].
- **Cambio del modo de transmisión al modo de recepción:** Con el fin de que este módulo pueda recibir la cadena de datos de los esclavos, una vez que se le haya mandado el permiso a éste, será necesario configurar los registros del módulo de radiofrecuencia con los valores correctos para que éste pase a ser receptor y así pueda recibir todos los datos. Esto se hará en el instante después de que se envía el permiso al esclavo. Una vez que se comporte como receptor, pasará a escuchar el canal, esperando la respuesta.
- **Recepción de datos y envío a la computadora:** Esta parte del programa se encargará de recibir la cadena de datos que le envía cada uno de los esclavos. Una vez que el esclavo haya tenido permiso de transmisión, éste le enviará al receptor una trama con los datos y las direcciones de los teclados que tenga conectados. El módulo de recepción simplemente se encargará de retransmitir esta cadena a la computadora que tiene conectada para que ésta pueda procesar los datos y desplegarlos en pantalla. La computadora será la encargada de manipular los datos según se requiera.

Este módulo de recepción tiene la finalidad de controlar todas las comunicaciones del protocolo y de recibir los datos de todos los teclados. En la Figura III.3, que se muestra a continuación, podemos observar los pasos mencionados anteriormente en un diagrama

de flujo, entendiendo claramente la forma en la que el programa desarrolla su tarea para controlar eficientemente a cada uno de los esclavos y de recibir los datos que éstos le manden.

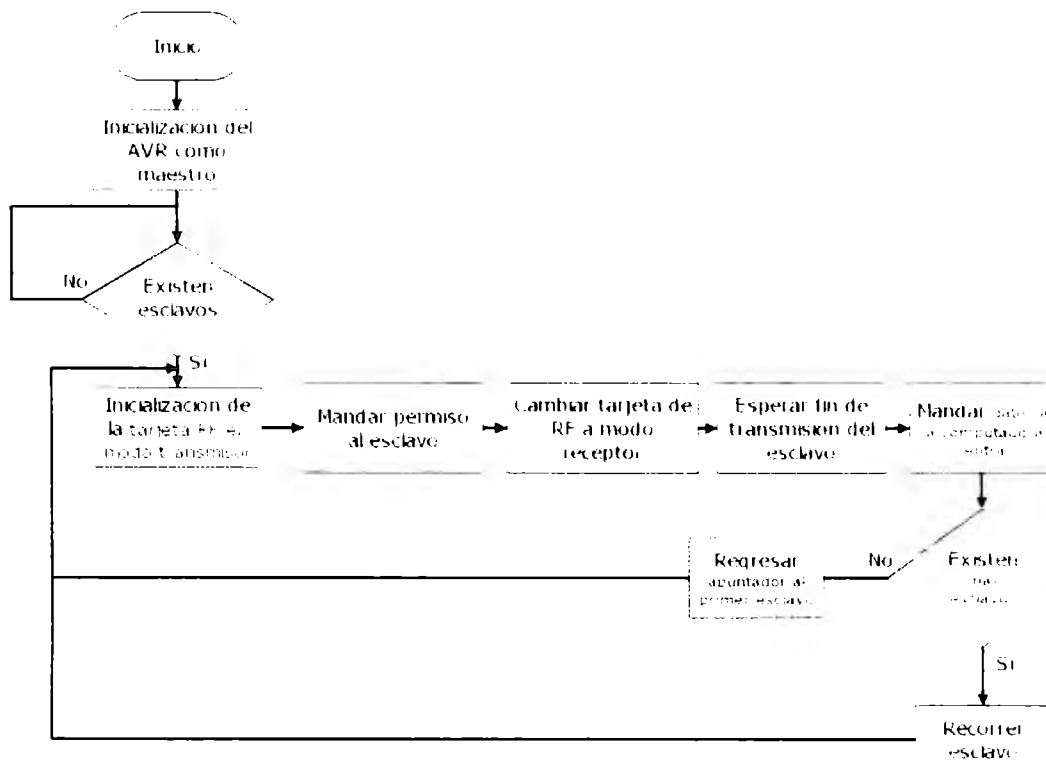


Figura III.3. Diagrama de flujo del módulo maestro

El código completo correspondiente a este módulo puede encontrarse en el disco anexo bajo la carpeta “Código Fuente/Maestro”.

### III.6 Hardware de radiofrecuencia

Durante las etapas de desarrollo de los módulos de radiofrecuencia, fue necesario utilizar dos tarjetas de desarrollo para el control de los módulos de transmisión y recepción; sin embargo, una vez finalizada la etapa de pruebas, se desarrolló un hardware dedicado a controlar estos módulos.

El hardware debía ser capaz de controlar todos los registros de control de las tarjetas de radiofrecuencia, así como de manejar los programas que se mencionaron anteriormente. Para ello, se desarrollaron dos sistemas mínimos con los siguientes elementos:

- **Microcontrolador:** Este microcontrolador se encarga de la ejecución de todas las instrucciones necesarias para el control de la tarjeta de radiofrecuencia, así como de recibir o mandar los datos, según sea el caso (recepción o transmisión). Para este módulo, se decidió trabajar con el microcontrolador AVR ATmega8535 de ATMEL, el cual cumplía con los requisitos de velocidad, de memoria y capacidad de procesamiento que se tenía para poder controlar tanto el



módulo de radiofrecuencia como el programa de comunicación que se desarrolló.

Esta parte incluye todos los sistemas necesarios para que funcione correctamente el microcontrolador, así como un cristal de cuarzo, de la velocidad exacta, para que pudiera generar correctamente las frecuencias de transmisión.

- **Fuente regulada de alimentación:** Era muy importante que las tarjetas de radiofrecuencia contaran con un sistema de alimentación regulado de 3.3V DC, y que pudieran utilizarse, ya fuera con un adaptador de corriente alterna, o con pilas. Para esto, se incluyó en el sistema mínimo, una etapa de alimentación, la cual regula cualquier entrada de voltaje DC que se le coloque de entre 5 y 18v para que a la salida entregue 3.3V continuos. Esta etapa de alimentación puede funcionar correctamente con conectores positivos o negativos, ya que la entrada inmediatamente rectifica la onda. Además, permite que se escoja si se va a trabajar con una fuente DC conectada a la corriente alterna o con una pila de 9V.
- **Líneas de control:** Las líneas de control son todos los *buses* de comunicación que se tienen entre el microcontrolador y las tarjetas de radiofrecuencia, así como los buses entre el microcontrolador y el receptor de los teclados o el envío hacia la computadora.

En la Figura III.4, que se muestra a continuación, se puede observar el diagrama a bloques del sistema mínimo, y en la Figura III.5 se muestra en circuito eléctrico a detalle.

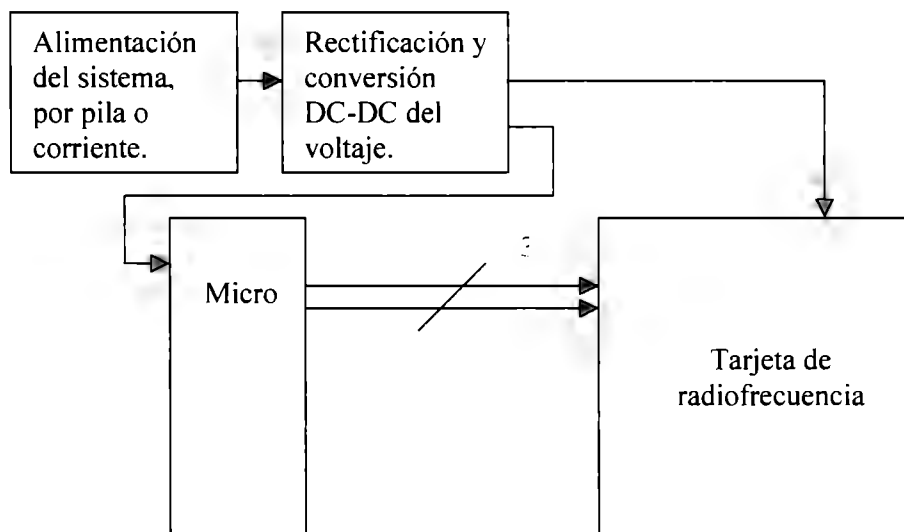


Figura III.4. Diagrama del sistema mínimo

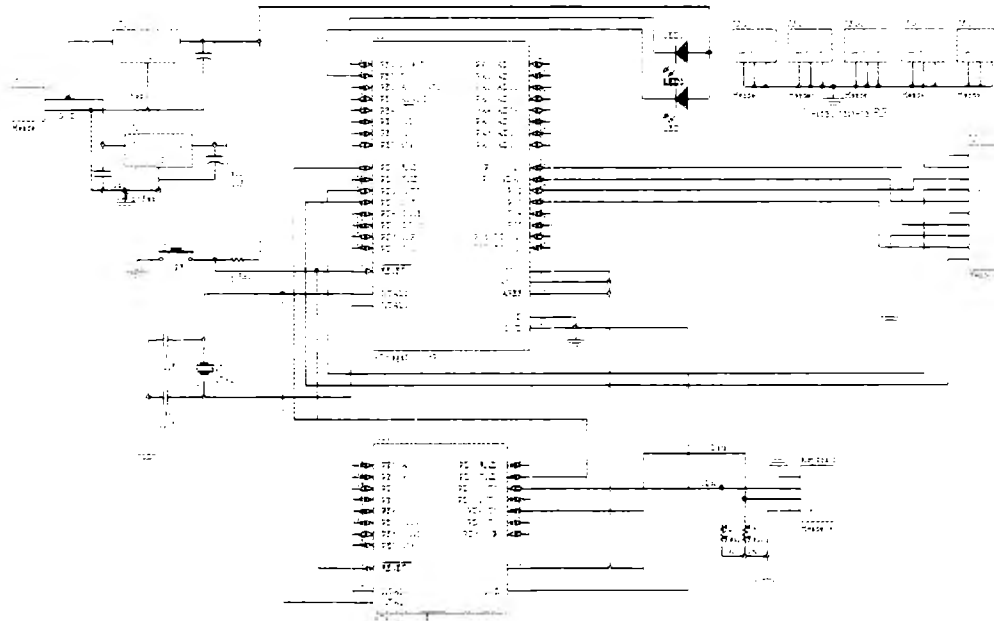


Figura III.5 Diagrama eléctrico del sistema mínimo

El desarrollo de estos sistemas mínimos fue sumamente importante para el proyecto, ya que las tarjetas de desarrollo con las que se trabajó en un inicio, elevan mucho el costo del proyecto, además de que incluyen funciones que no son necesarias para el objetivo. Al haber hecho estas tarjetas, se redujo significativamente el costo del proyecto y se dejó espacio para poder incluir otras aplicaciones más importantes, eliminando todos aquellos componentes que no se utilizaban y que aumentaban el costo del desarrollo.

### **III.7 Conclusiones**

Por medio de una comunicación inalámbrica se logró enviar los datos recibidos de los teclados a distancias mucho mayores que aquellas establecidas en los estándares de comunicación alámbrica por medio de USB. Esto hizo posible que, dentro de una sala de juntas, se pudieran tener comunicaciones seguras y eficientes, sin el costo de tener que hacer un cableado con repetidores para que los datos llegaran correctamente a su destino.

Utilizando el método que se mencionó en este capítulo, se logró tener una comunicación eficiente, utilizando un canal inalámbrico y transmitiendo los datos a la frecuencia establecida en una sala de juntas.

Este capítulo presenta claramente los pasos que se siguieron para poder desarrollar cada una de las etapas y los módulos necesarios para lograr la comunicación inalámbrica. Después de leer este capítulo, se tendrá pleno entendimiento de la forma en la que funciona cada una de las partes involucradas en la transmisión inalámbrica, así como la forma en la que se da ésta.

## Capítulo IV

# ADMINISTRADOR DE TECLADOS

---

### Introducción

Las personas dentro de la sala de juntas interactúan con el sistema por medio de un teclado básico. Cada uno de estos teclados debe ser controlado con el fin de poder decodificar los datos provenientes de él, y almacenarlos.

En este capítulo se presenta el funcionamiento básico del teclado, sus características principales y la forma en la que se tiene que controlar al mismo. También se presentará el desarrollo del driver necesario para poder sincronizar y leer los datos provenientes del teclado y almacenarlos en forma de caracteres válidos en la memoria de un microcontrolador.

### IV.1 Características de los teclados

Desde sus inicios, los teclados han tenido poca evolución, y sus principios funcionales siguen siendo básicamente los mismos. Cada teclado está compuesto por un arreglo matricial de interruptores, que se encuentran normalmente abiertos. En el momento que una tecla es presionada se cierra el circuito y permite un flujo de corriente. Además, consta de una circuitería de control que se encarga de decodificar la posición de la tecla que ha sido presionada, y asignarle un código específico.

La circuitería de control también se encargará de eliminar el rebote mecánico que se genera cada vez que se presiona una tecla, pero también reconoce si el usuario desea mandar más de un caracter presionando la tecla una sola vez.

Una vez que el microcontrolador interno del teclado decodificó la tecla presionada, y le asignó un valor de acuerdo con la posición en la que se encuentra, este microcontrolador manda esta información hacia el exterior de muchas maneras diferentes. Ya sea de forma serial, o por medio de paquetes USB.

#### IV.1.1 Teclados seriales

Durante mucho tiempo la interfaz serial ha sido la más común para conectar un teclado a la computadora. Esto por muchas razones diferentes, pero principalmente por la facilidad de programación y los bajos requerimientos de velocidad que se tienen cuando se desea leer los datos provenientes de éste.

Existen muchas interfaces diferentes que se pueden utilizar para conectar los teclados a la computadora de forma serial. Hoy en día todavía se pueden ver computadoras que utilizan la conexión serial por medio de un PS/2 o de un DIN. Estas dos conexiones, utilizan un puerto redondo de distinto tamaño con 6 pines, como se muestra en la Figura V.1.

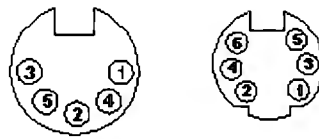


Figura V.1. Conector DIN(izquierda) y PS/2(derecha)

En el caso de estos dos conectores, se utilizan únicamente 4 de los 6 pines que se tienen. Se tiene una línea de alimentación (5V) y una línea de tierra. Las dos líneas restantes son de datos y de reloj.

La línea de datos se encarga de mandar el código de la tecla que fue presionada a una velocidad de 9600Bps, y con el siguiente formato: un bit de inicio de trama, ocho de datos y dos de parada.

La línea de reloj se encarga de sincronizar estos datos para que la computadora o el dispositivo que los vaya a leer pueda interpretarlos adecuadamente.

#### IV.1.2 Teclados USB

Los teclados USB tienen un principio de funcionamiento muy parecido al de los teclados seriales, ya que el sistema mecánico de interruptores es igual al de un teclado serial, y el microcontrolador que se encarga de asignarle el código de la tecla presionada funciona de la misma manera, sin embargo, la forma en la que le manda los datos a la computadora o al dispositivo receptor varía mucho.

Para cualquier teclado USB, será necesario considerar los estándares y el protocolo completo de USB, con el cual se hará la transferencia de paquetes. Una vez que el teclado se conecta a la computadora se comienza el intercambio de paquetes de control, los cuales tienen la finalidad de identificar al dispositivo que se conectó (en este caso un teclado), la marca de éste, y una dirección que le es asignada por la computadora. Esta dirección será utilizada en todo intercambio de paquetes para identificar el origen del paquete así como su destino.

Una vez que el intercambio de paquetes de control finaliza, se puede comenzar el intercambio de datos, que en este caso será la clave de la tecla presionada. Para esto, una vez que el microcontrolador interno del teclado tiene el código de la tecla presionada, arma una trama de USB, dentro de la cual se enviará el dato. Esta trama se conforma por los siguientes campos [11]:

- SYNC: Este es un campo de 8 bits que sincroniza el reloj del transmisor (teclado) con la del receptor (computadora).
- PID: Este campo tiene el indicador del tipo de paquete que se enviará. Los posibles paquetes que se pueden enviar son: *Token*, *Data*, *Handshake* o *Special*. Cada uno de estos paquetes tiene información distinta que debe ser tratada de acuerdo a lo que indica.
- ADDR: Este campo de 7 bits contiene la dirección del dispositivo que está mandando la información.
- ENDP: Este campo es una señalización para la separación de datos.

- CRC: Este es el campo de comprobación, y contiene datos de un algoritmo matemático para la verificación de la trama completa. En caso de no ser igual este campo en el transmisor como en el receptor se puede saber que existió un error en la transmisión.
- EOP: Indica el final de la trama enviada.

Una vez que se arma la trama completa, se envía por medio del conector USB, y la computadora se encargará de recibir la trama, leerla y procesarla. La Figura V.2 muestra los dos tipos de conectores más utilizados para un teclado USB.



Figura V.2. Conectores USB. “Tipo A” (izquierda) “Tipo B” (derecha)

## IV.2 Tecnología utilizada

Para este proyecto, fue necesario tener una serie de teclados conectados a un microcontrolador, el cual pudiera decodificar las teclas que se presionaran, y escribirlas en un arreglo, para que posteriormente se mandara toda la información por medio del canal inalámbrico que se mencionó en los capítulos anteriores.

Para ello, considerando las dos tecnologías mencionadas anteriormente, sus ventajas y desventajas, se optó por utilizar la tecnología serial para establecer una comunicación entre el microcontrolador y el teclado.

El microcontrolador que se utilizó para recibir los datos del teclado fue un ATTiny2313. Este microcontrolador se encuentra en un sistema mínimo que lo controla y tiene únicamente los componentes necesarios para que funcione correctamente.

Este microcontrolador recibe simultáneamente la línea de reloj del teclado y la línea de datos. Teniendo estas dos líneas conectadas puede decodificar correctamente cada clave que se le envía, y almacenarla para enviarla utilizando una comunicación serie al controlador de las tarjetas inalámbricas.

A continuación, presentamos la Figura V.3, en la que se puede ver el diagrama eléctrico del sistema controlador del teclado.

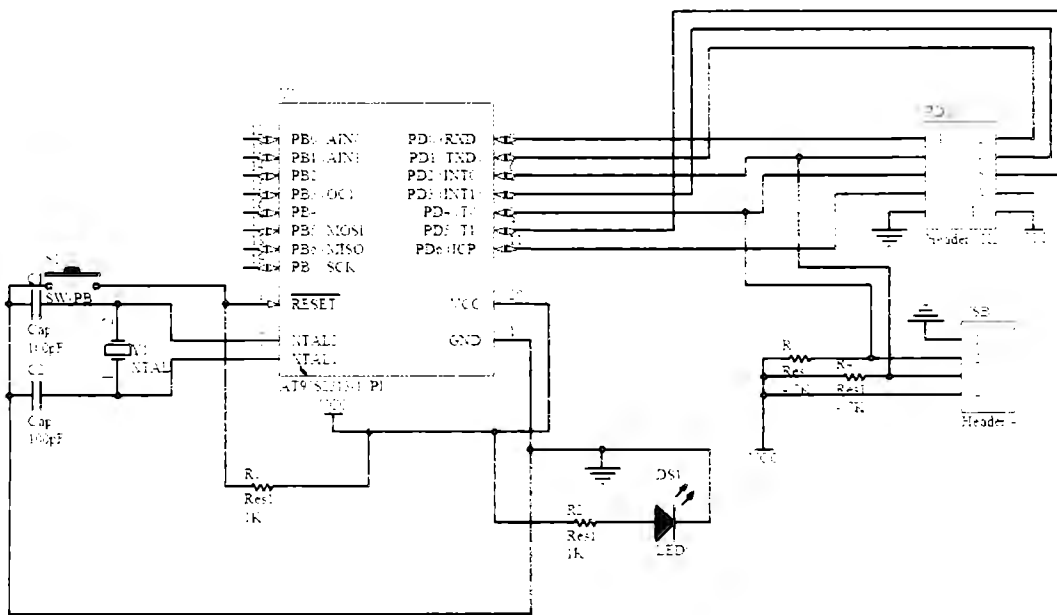


Figura V.3 Diagrama eléctrico del controlador de teclados

### IV.3 Desarrollo del Driver

Para decodificar el código de tecla que recibe el microcontrolador, y después enviarlo utilizando una comunicación serial fue necesario desarrollar un driver que tuviera las siguientes características:

- Sincronización con la línea de reloj para recibir los datos correctamente:** en cuanto se presiona una tecla en el teclado, el microcontrolador interno de éste, la decodifica y le asigna un código dependiendo de la posición de la tecla que fue presionada. Este código se llama *Scan Code* o código de barrido. En este momento el microcontrolador interno genera un pulso de reloj, con el cual se hace la sincronización. Este pulso comienza en alto, y se genera un flanco de bajada en el momento en que se manda el primer dato. Este primer dato es un bit de inicio, lo que le indica al dispositivo receptor, que es el comienzo de la trama de datos. En el siguiente flanco de bajada se envía el primer bit, y así sucesivamente hasta llegar a 8 bits de datos. Una vez que se han enviado todos los datos, se envían dos datos más que indican el final de la trama. Estos dos bits también se sincronizan con el flanco de bajada de la señal de reloj.

Con el fin de sincronizar al microcontrolador con el reloj enviado por el teclado, se utilizó la interrupción externa. Esta interrupción tiene la función básica de coordinar la recepción de datos con la línea de reloj para que se pueda saber cuántos datos son los que se han mandado, y si es que se le tiene que hacer caso o no al dato entrante. Para ello, cada vez que se genera la interrupción se cuenta el dato, y se verifica que no sea el primero o los últimos dos bits de la trama. En caso de no serlo, se almacena el dato, ya que esto indica que es un bit del código de barrido, y debe ser almacenado. Una vez que han sucedido 11 interrupciones, se sabe que se tiene el dato completo, por lo que se deberá decodificar.

- **Decodificación del código de barrido:** Como se mencionó anteriormente, una vez que el microcontrolador haya recibido una trama completa de datos es necesario que ésta se decodifique y se le asigne el código ASCII correspondiente a la letra presionada. Esto es importante porque no es lo mismo el código de barrido de una tecla que el código ASCII que se puede imprimir en pantalla como una letra o un número, y si no se hace esta decodificación simplemente se verían números.

Para poder hacer la decodificación se detectan dos casos básicos. El primer caso es cuando se presiona una tecla sencilla, es decir cualquiera de las letras del abecedario, alguna letra o símbolo que tenga una tecla asignada. Cuando éste es el caso, se busca el código de barrido en una tabla que se encuentra almacenada en memoria, y se le asigna el carácter ASCII correspondiente de la tabla. El segundo caso, es cuando se presiona la tecla *Shift* antes de cualquier otra tecla. Este es un caso especial, ya que se tiene que buscar el carácter ASCII de la letra mayúscula que se presionó, o el carácter especial asignado a la tecla. Para esto se tiene una segunda tabla con los valores especiales de las teclas y las letras mayúsculas. Una vez que se tiene el código ASCII de la letra que se presionó se puede manipular de cualquier forma deseada. En el caso de este proyecto es necesario mandar el código ASCII por serial para que después pueda ser enviado por medio del canal inalámbrico.

- **Envío serial del código ASCII:** Una vez que se tiene el código ASCII de la tecla presionada es necesario que se junte en una trama para que pueda ser enviada esta trama por medio del canal inalámbrico. Para realizar la transmisión, se utiliza el puerto UART del microcontrolador, configurado a una velocidad de 9600bps. Esta velocidad nos permite mandar todos los datos sin tener pérdidas, ya que la velocidad a la que escribe la persona no es tan rápida como para sobrepasar esta velocidad.

La transmisión serie se hace en el momento en el que se tiene completamente decodificado el dato, y el microcontrolador que recibe el dato se encarga de almacenarlo para armar la trama una vez que tenga el número de datos necesario.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del driver que se desarrolló. En este diagrama, se pueden observar claramente los pasos que se siguieron para poder leer el teclado y enviar los datos por medio del puerto UART del microcontrolador.



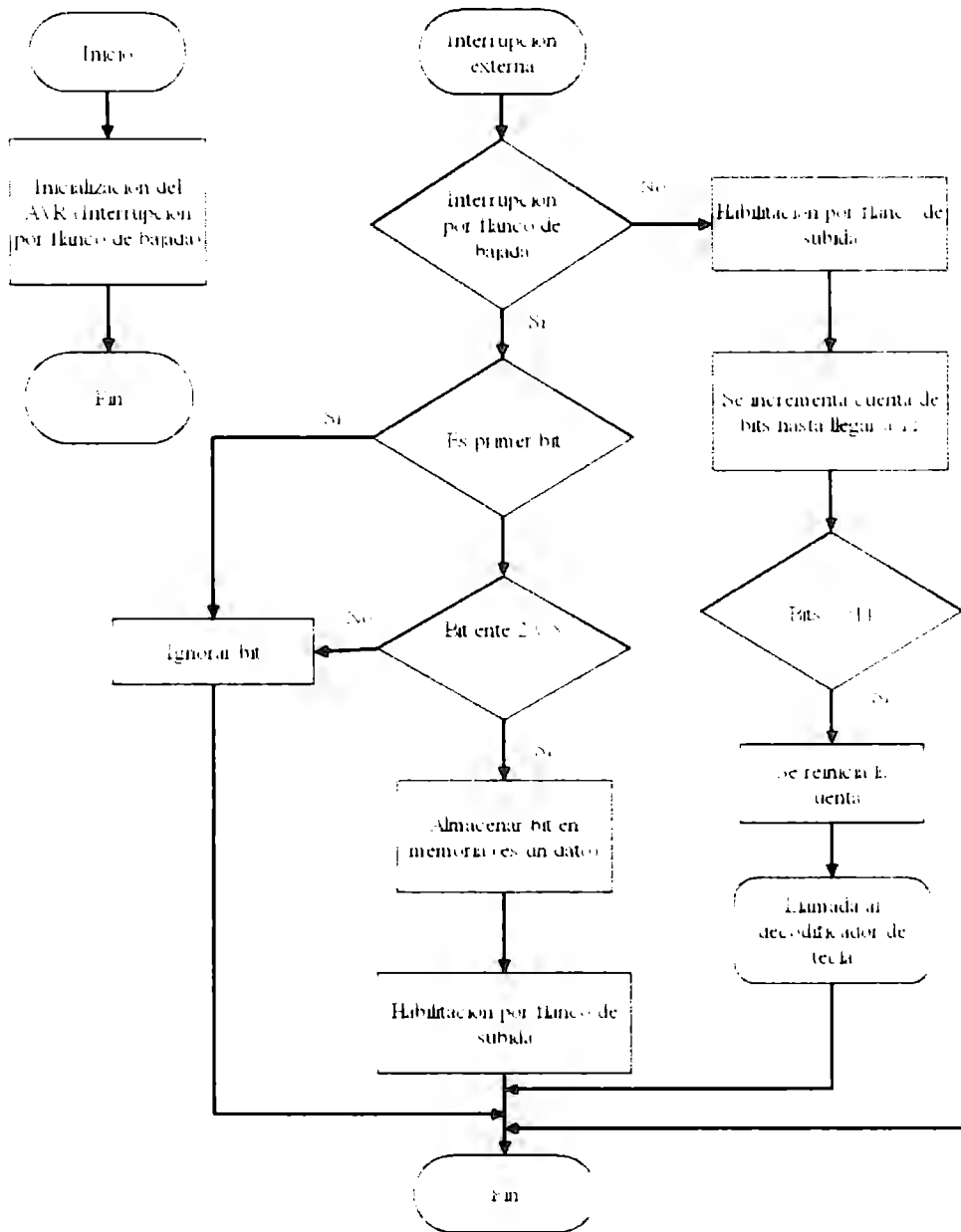


Figura V.4. Diagrama de flujo de la sincronización del teclado.

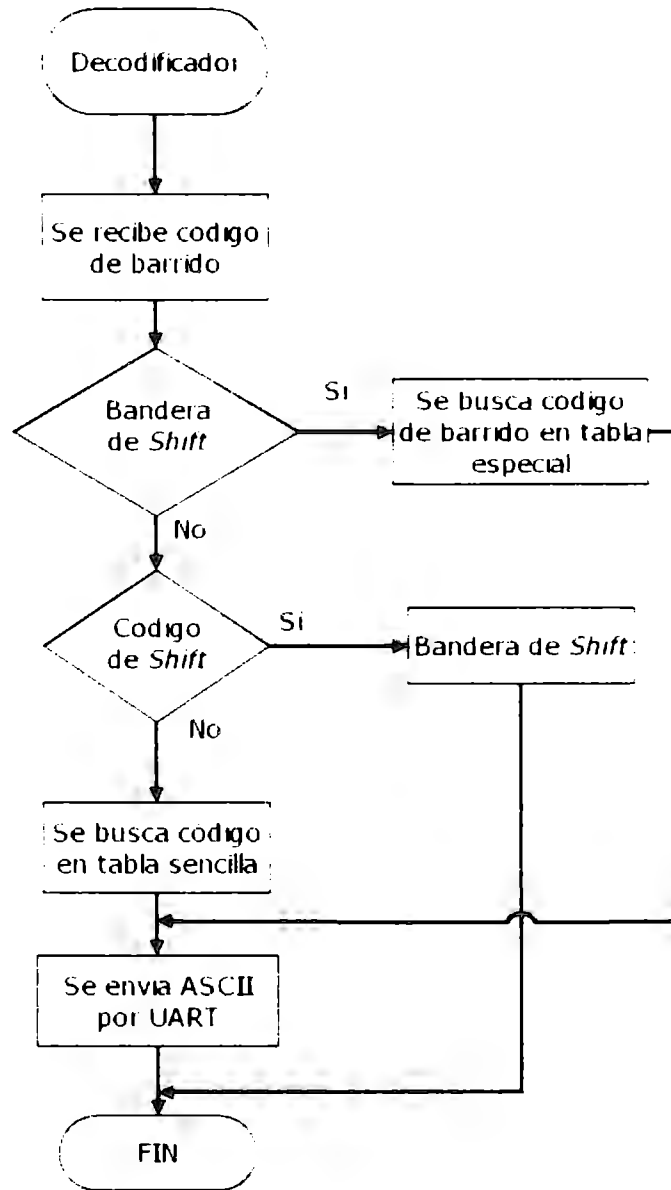


Figura V.5. Diagrama de flujo de la decodificación del código de barrido.

En el disco anexo, se puede encontrar bajo la carpeta "código fuente/Administrador de teclados" el código completo, escrito en lenguaje C, del administrador de teclados.

#### IV.4 Avances hacia USB y posibles mejoras

El avance de la tecnología nos ha llevado a tener cada día más dispositivos USB debido a la facilidad que tienen los usuarios al adquirir y utilizar cualquier producto USB. Los teclados USB son cada día más comerciales y utilizados, y debido a ello, se realizó una investigación y se comenzó con la implementación de un Host USB para conectar los teclados, recibir la información y mandarla hacia el microcontrolador que se encargará de enviarla al módulo inalámbrico.

Para ello, se utilizó la tarjeta de evaluación de ATMEL AT43USB380, la cual tiene la función de actuar como un host para poder recibir la información de los teclados. Esta tarjeta de evaluación tiene varias características que fueron importantes para poder comenzar con el análisis de la comunicación utilizando el USB. Las características más importantes con las que cuenta esta tarjeta son:

- Protocolo USB: el microcontrolador USB380 ya tiene integrado el protocolo de USB. Esto quiere decir que automáticamente el microcontrolador reconoce en cuanto se le conecta un dispositivo, le asigna una dirección, y lee los valores del dispositivo así como su identificador de marca, operación, etc.

Éste es el primer paso para poder manejar cualquier dispositivo USB, y es una enorme ventaja que el microcontrolador ya tenga integrado el protocolo, ya que después que ya se tiene enumerado el dispositivo, se puede proceder a armar las tramas de datos que se requieran mandar por medio del USB.

- Función integrada de HUB: Esto quiere decir que se le pueden conectar automáticamente hasta 7 dispositivos a la tarjeta, y todos ellos serán enumerados automáticamente. Mientras se esté en la etapa de desarrollo del proyecto será importante poder hacer pruebas conectando varios teclados sin tener que preocuparse por implementar todo el protocolo de USB.

#### IV.5 Conclusiones

Este capítulo presenta las diferentes tecnologías existentes para enviar datos de un teclado a una computadora, o a cualquier dispositivo que lo controle, las ventajas, desventajas y forma de uso de cada una de ellas. Además, se muestra el desarrollo completo del *driver* desarrollado para poder leer y decodificar correctamente el teclado.

Los avances de la tecnología nos han llevado a utilizar el USB como medio de comunicación casi universal, y es por esto que se decidió que este proyecto podría beneficiarse ampliamente del uso de esta tecnología. Teniendo esto en mente, se realizó una investigación y se comenzó con el desarrollo del proyecto utilizando la tecnología de USB, logrando avances significativos en esta área, y plantando las bases para una posible mejora en el futuro cercano de este proyecto.

# Capítulo V RESULTADOS, CONCLUSIONES Y MEJORAS FUTURAS

---

## Introducción

A lo largo de este documento se fue exponiendo, en forma modular, el desarrollo por partes del proyecto *Sistema de Multiteclados Inalámbricos*. Cada uno de los módulos fue el encargado de una tarea en específico y su realización se encuentra documentada en los capítulos anteriores. El presente capítulo explica la forma en que se unieron estos tres módulos para conformar todo el sistema capaz de recibir la información de varios teclados y transmitirla de forma inalámbrica hacia un receptor conectado a una computadora central.

Además de presentar la forma en la que se integraron los tres módulos y los resultados obtenidos, este capítulo presenta las posibles mejoras y avances futuros que se le podrían hacer a este proyecto para mejorar su rendimiento. Tanto para los resultados aquí logrados como para las futuras mejoras es importante tener en cuenta que este proyecto ya cuenta con una parte funcional que fue desarrollada previamente.

## V.1 Integración del Sistema

La unión de los tres módulos: radiofrecuencia, protocolo y teclados se realizó en una serie de pasos intermedios. El primero de ellos fue el extraer caracteres de un teclado y enviarlos por radiofrecuencia y para ser recuperados en la computadora central. Los caracteres del teclado fueron almacenados en un arreglo en el microcontrolador al mismo tiempo que fueron recibidos. Este primer paso no considera la parte inalámbrica del protocolo que dictamina a cuál de todos los módulos esclavos le corresponde transmitir.

Para poder integrar la parte de la recuperación del dato del teclado con la transmisión inalámbrica, se manejó una lógica interna en el microcontrolador del teclado, la cual, activa la transmisión cada vez que se oprime una tecla. Esta lógica consiste en manejar una bandera global que es activada cada vez que se entra a la interrupción producida por el teclado y es desactivada una vez que se ha transmitido el dato. Para poder realizar la transmisión es necesario tener esta bandera activada.

El funcionamiento correcto de un protocolo inalámbrico garantiza que el sistema sea efectivamente de multiteclados, recuperando la información de más de un dispositivo. La lógica para poder realizar esto consta de un módulo maestro que pide la información a cada uno de los dispositivos de forma inalámbrica. Para ello, se hace un *broadcast* con la dirección, el cual es escuchado por todos los dispositivos; cuando los esclavos la escuchan, la comparan con la suya. Si la dirección escuchada es la misma que la propia, ocurre lo siguiente: ese esclavo cambia de ser receptor a ser transmisor, y mediante la activación de la bandera, transmite el dato que tiene recuperado del teclado en ese momento.

Es importante recordar que los tiempos que manejan los microcontroladores y la transmisión inalámbrica son muy inferiores a los tiempos en los que una persona puede oprimir una tecla. Esto es lo que permite recuperar y transmitir la tecla presionada en cada uno de los teclados.

## V.2 Resultados generales

Se logró una comunicación inalámbrica eficiente entre un transmisor y un receptor. Como una primera instancia, esta comunicación fue empleando los equipos de desarrollo de ATMEL para las tarjetas de radiofrecuencia. ATMEL proporciona un código que sincroniza dos tarjetas, donde una tiene activado un sensor de luz que constantemente está realizando mediciones y transmite este valor a la otra tarjeta. Ambos sistemas cuentan con una LCD que muestra al usuario el valor transmitido. Para comenzar con el desarrollo de nuestros módulos fue necesario estudiar y comprender el código del sensor de luz de ATMEL, no sólo para poder modificarlo a la conveniencia de este proyecto, sino porque el código no era completamente funcional.

Una vez que el código original de ATMEL funcionó con los equipos de desarrollo, se siguieron dos caminos: elaborar un sistema mínimo para sustituir a los equipos de desarrollo y realizar un código propio que transmitiera valores asignados por nosotros. El sistema mínimo está integrado únicamente por los componentes necesarios para controlar la tarjeta de radiofrecuencia, así como algunos aditamentos para integrarla al resto del proyecto. Este sistema cuenta con los siguientes bloques:

- El sistema de alimentación consiste en un selector de pila o corriente directa, de forma que sólo puede estar activo uno de ellos a la vez.
- La etapa de rectificación y conversión de voltaje consta de un puente de diodos tiene como objetivo asegurar que esté bien referenciado el voltaje y la tierra. Tiene, además, dos convertidores DC-DC que permiten tener una alimentación entre 6V y 30V y lo regula a 3.3V y 5V, dependiendo del componente que lo requiera.
- El microcontrolador requiere de un cristal que oscile a 3.68MHz con el fin de generar las frecuencias exactas para la tarjeta de radiofrecuencia, así como la frecuencia de transmisión serial.
- Las líneas de control son el bus de datos y control que conectan al microcontrolador con la tarjeta de radiofrecuencia.

Este sistema funciona en su totalidad, y así se sustituye el equipo de desarrollo, lo cual es básico para hacer después una comercialización de este proyecto, ya que el costo de las tarjetas de evaluación es muy elevado. Además, este sistema cuenta únicamente con los componentes necesarios para el funcionamiento de este proyecto, dejando la posibilidad de que en un futuro se le añadan elementos conforme estos se vayan necesitando.

El código desarrollado para la comunicación inalámbrica está basado en el código proporcionado por ATMEL; sin embargo, únicamente se utilizan los módulos de inicialización de los registros del transmisor/receptor.

El programa del módulo maestro se encarga de pedir secuencialmente la información de cada uno de los módulos esclavos. En el caso de que alguno de ellos no conteste en un tiempo determinado, se ignora a este módulo y se procede a pedir la información del siguiente. De esta forma, se evita el problema de que el sistema permanezca esperando la respuesta de alguno de los esclavos indefinidamente.

El maestro está continuamente pidiendo datos de los esclavos. Tiene para ello un contador, el cual se incrementa hasta que se llega al número de esclavos y vuelve a cero. Ese contador indica la dirección del esclavo a quien le corresponde responder. Cuando el esclavo responde, le indica al maestro si tiene o no datos del teclado, de tenerlos los transmite y de no ser así, envía un carácter nulo. Si el maestro recibe un dato válido, lo trata de la forma conveniente; si se trata de un carácter nulo, lo descarta y sigue con la secuencia de envío y recepción.

El módulo esclavo tiene un programa que recupera, de forma serial, los datos que son enviados por la interfaz del teclado, y los almacena para que estos puedan ser enviados cuando se tenga el permiso. Cada uno de los esclavos responde únicamente cuando la dirección enviada por el maestro sea la suya, evitando así que más de un esclavo esté transmitiendo los datos al mismo tiempo. La dirección de cada uno de los esclavos es programada en memoria ROM cuando se le escribe el programa al microcontrolador. Este código, en conjunto con el código del módulo maestro, permite la sincronización entre el envío y la recepción de datos.

El protocolo es sencillo, pero tiene el papel fundamental de sincronizar todos los módulos y de permitir que, aún cuando uno de los esclavos no responda, se siga consultando a los demás. La implementación del protocolo en la parte del maestro permite siempre saber de qué esclavo son los datos recibidos, ya que, al pedir los datos de determinado esclavo, los datos que reciba deben de pertenecer a éste.

Para poder leer y recuperar los datos que son enviados desde un teclado, se elaboró una interfaz que lo controla. Esta interfaz está compuesta básicamente de un programa que recibe el dato que mandó el controlador del teclado, lo almacena y lo transmite de acuerdo al protocolo. Esta lectura se hace por medio de una interrupción serial, que además de recibir el dato, inicializa una bandera que alerta al microcontrolador que se ha recibido un dato y que éste puede ser transmitido en la siguiente trama que se desee mandar.

A continuación se presenta, detalladamente, cada uno de los métodos que se desarrollaron para la comunicación inalámbrica que ha sido descrita.

- **Main():** además de mandar llamar las funciones de inicialización, se encarga de llevar la lógica del protocolo. Este modulo inicia según necesario según la función del módulo (maestro o esclavo) y cambia según el protocolo lo indique para alternar constantemente la funcionalidad de transmisión o recepción de datos.

- **Init\_AVR():** configura los registros internos y puertos del microcontrolador para cada una de las funciones requeridas. Aquí se inicializan correctamente los valores para los timers y las interrupciones.
- **Init\_TRX01():** manda las palabras de control correspondientes al módulo de radiofrecuencia para que éste sea inicializado como transmisor o receptor, la velocidad a la que transmitirá, la potencia y la frecuencia a la que se transmitirá.
- **Recepcion\_RF():** es el método que se ejecuta cuando la tarjeta está recibiendo información. Esta información puede ser la dirección emitida por el *broadcast* o los datos provenientes del usuario. Según sea lo recibido, éste mismo método envía los datos a la computadora (en caso de ser datos de usuario) o verifica si la dirección recibida es la suya. Si es así, toma la decisión de enviar los datos almacenados.
- **Transmisión\_RF():** es el método encargado de transmitir la información por el canal inalámbrico. Este método es iniciado automáticamente en el módulo maestro y se activa en el módulo esclavo cuando la dirección recibida corresponde con la suya. En éste último módulo, se toma la decisión de enviar los datos del teclado o algún carácter nulo, si es que el *buffer* del teclado se encuentra vacío.
- **Uart\_rx\_isr():** es una subrutina de interrupción que se activa en el momento en el que se recibe un dato de la interfaz serial. Almacena el dato recibido en el *buffer* y activa una bandera que indica que ya existen datos almacenados.

Para la recuperación de los datos de los teclados se presenta a continuación, en detalle, los diferentes métodos que se desarrollaron y las funciones que tienen dentro del programa completo.

- **main():** se encarga de inicializar los puertos y las interrupciones necesarias para el resto del código, así como de llamar la inicialización del teclado.
- **init\_kb():** inicializa por primera vez la interrupción por flanco de bajada del microcontrolador, inicializa la cuenta de bits en 11 (8 de datos, 2 de parada, 1 de inicio).
- **ext\_int\_isr():** ésta se activa por primera vez en el momento en el que se recibe el primer flanco de bajada proveniente del reloj del teclado, invierte el flanco con el que se interrumpirá la próxima vez y almacena los bits correspondientes a los datos, ignorando los demás.
- **decode():** se manda llamar una vez que se tiene en el *buffer* un dato completo. Al ser llamada esta rutina, realiza una búsqueda en memoria ROM del *scancode* recibido y le asigna el carácter ASCII correspondiente. Una vez que se tiene el ASCII, se envía por serial al microcontrolador del módulo esclavo correspondiente.

### V.3 Mejoras posibles y trabajo futuro

El trabajo presentado cumple eficientemente con los objetivos planteados al inicio de éste; sin embargo, se tiene que tomar en consideración que es sólo una parte de un proyecto más amplio que ya cuenta con algunos módulos desarrollados y otros más que serán implementados en etapas posteriores.

Tomando por ahora únicamente los módulos desarrollados en este trabajo, a continuación se presentan varias líneas de trabajo que deberán ser retomadas en un futuro, así como las posibles mejoras de los módulos ya presentados:

- A pesar de que los puertos estándar siguen en uso, el USB cada vez acapara una mayor parte del mercado. Una de las mejoras posibles a este proyecto sería sustituir a los teclados seriales por teclados USB. Para poder hacer dicha sustitución, será necesario leer los datos del teclado por medio del protocolo USB, y almacenarlos en la memoria de un microcontrolador. Una vez que se tienen los datos, la manipulación de ellos se puede hacer de la misma forma, ya que únicamente se tendría que sustituir el módulo de los teclados seriales, que se presenta en este capítulo, por el nuevo módulo USB.
- Cuando se está manejando un protocolo de comunicación inalámbrica en una banda de frecuencia que todos pueden utilizar, existe el riesgo de que se dé una pérdida de datos o errores en la transmisión. El protocolo que se presenta en este trabajo no incluye métodos de corrección de errores, ni de reenvío de tramas. Sería muy recomendable incluir en el protocolo un sistema de corrección de errores y de verificación de la integridad de los datos enviados.
- El sistema mínimo que se diseñó utiliza componentes comerciales y fáciles de conseguir; sin embargo, la producción en serie de este sistema mínimo requiere de un diseño en un circuito impreso con componentes de dimensiones mucho más pequeñas para que se pueda mejorar aún más la portabilidad que ya se tiene. Una vez que se diseñe un circuito impreso, basado en el sistema mínimo propuesto en este trabajo, se podrá mandar a hacer fácilmente una producción en serie del sistema.

Además de las mejoras aquí mencionadas, falta la integración de los módulos que ya se encontraban desarrollados por la empresa Grupo de Visión Global S.C. con los que entregamos. Una vez que se dé esta integración, se podrán enviar y recibir datos desde los teclados y recibirlos en una computadora que cuenta con una aplicación encargada de recibir la información de todos los teclados, separarla en diferentes archivos, y desplegarla en la pantalla, de forma que los usuarios puedan leer lo que cada uno haya escrito en una fracción de la pantalla. Con esto, se podrán decidir nuevas líneas de acción y mejoras que se le podrían hacer al sistema para que su desempeño sea mejor.



### **Conclusiones:**

La aportación de este trabajo al proyecto de multiteclados inalámbricos, va mucho más allá que la unión y desarrollo de algunos módulos de comunicación y protocolo. Cada uno de los módulos descritos a lo largo de este documento sienta las bases para poder integrar el sistema completo, así como para poder continuar con el desarrollo de este proyecto, más allá de los objetivos establecidos para este término.

Durante este periodo de trabajo, se logró exitosamente tener una comunicación entre varios transmisores y un solo receptor, a través de un protocolo de comunicación. Esta comunicación es muy importante, ya que es necesario que dentro del lugar de operación de este proyecto, se puedan comunicar varios módulos a la vez, sin tener problemas de interferencia o sincronización. El protocolo es el encargado de que se pueda dar esta comunicación, ya que sin él, solamente se puede tener a un transmisor y a un receptor prendidos simultáneamente, debido a que las tarjetas no se pueden comunicar si hay transmisiones simultáneas.

La realización de un sistema mínimo controlador de las tarjetas de radiofrecuencia, hecho a la medida, fue muy importante, ya que el costo de las tarjetas de evaluación es sumamente elevado, y además, incluye componentes que no son de utilidad en este proyecto. Al remover estos componentes y asegurar que el funcionamiento sea adecuado, aún sin ellos, nos brinda la facilidad de expandir el proyecto conforme vaya siendo necesario, sin aumentar los costos significativamente.

A pesar de que existen varias líneas de trabajo que permanecen abiertas, este trabajo presenta una solución a los problemas de comunicación alámbrica que se mencionaron a lo largo de este documento, y brinda la facilidad de incluir un número mucho mayor de teclados que se comuniquen con una sola computadora.

## Bibliografía

---

- [1] Enciclopedia libre en línea, consultada septiembre 2005, última actualización 1 de septiembre del 2005. Liga: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>
- [2] Artículo sobre la tecnología Bluetooth, consultado septiembre 2005. Publicada octubre 2004. Liga: <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2004/octubre/bluetooth.htm>
- [3] Artículo sobre Bluetooth. Consultada septiembre 2005. Publicada 11 junio 2004. Liga: <http://www.noticiasdot.com/publicaciones/2004/0604/1106/noticias110604/noticias110604-4.htm>
- [4] Artículo sobre Bluetooth, Albert García. Consultado septiembre 2005. Publicado 2001-2002. Liga: [http://www.zonablueetooth.com/que\\_es\\_blueetooth2.htm](http://www.zonablueetooth.com/que_es_blueetooth2.htm)
- [5] Artículo sobre Bluetooth, Albert García. Consultado septiembre 2005. Publicado 2001-2002. Liga: [http://www.zonablueetooth.com/que\\_es\\_blueetooth.htm](http://www.zonablueetooth.com/que_es_blueetooth.htm)
- [6] Página informativa con varios artículos de USB. Consultada septiembre 2005. Última actualización agosto 2005. Liga: <http://www.everythingusb.com>
- [7] Página informativa con varios artículos de USB. Consultada septiembre 2005. Última actualización 26 de agosto 2005. Liga <http://www.bevondlogic.org>
- [8] Whitaker Jerry C. "*Radio Frequency Transmision Systems. Design and Operation*" McGraw-Hill. 1991. Singapore.
- [9] Página oficial de la Comisión Federal de telecomunicaciones. Consultada noviembre 2005, última actualización: noviembre 2005. Liga: [http://www.cofetel.gob.mx/cofetel/html/agitec/cuadro/index\\_espectro.htm!](http://www.cofetel.gob.mx/cofetel/html/agitec/cuadro/index_espectro.htm!)
- [10] Artículo sobre técnicas de modulación. Consultado: Octubre 2005. Actualización No disponible. Liga: <http://www.dxing.com/modesand.htm>
- [11] USB IN A NUTSHELL, Craig Peacock, Third Release, November 2002
- [12] Enciclopedia libre en línea, consultada septiembre 2005, última actualización 1 de septiembre del 2005. Liga <http://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>

## Artículos consultados:

Página informativa con varios artículos de USB. Consultada septiembre 2005. Última actualización agosto 2005. Liga <http://www.everythingusb.com/timeline.html>

Página oficial de Wi-Fi. Consultada Octubre 2005. Última actualización: 2005. Liga: <http://www.wi-fi.org/OpenSection/index.asp>

Artículo sobre *Token Ring*. Eduard Puigdemunt i Gelabert & Harlam, José Alvarado Sediles 1999. Liga: [http://www.pchardware.org/redes/redes\\_tokenring.php](http://www.pchardware.org/redes/redes_tokenring.php)

## Wireless Networks

Author: Nicopolitidis, P.

Publication: Chichester, England ; Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Ltd. (UK), 2003.

Product ID: 79540

eBook ISBN: 0470858028

ISBN: 0470845295

Subject: Wireless communication systems.

Language: English

Liga del portal de la empresa de Grupo de Visión Global: [www.gvg.com.mx](http://www.gvg.com.mx)

## Hojas de datos de los circuitos utilizados.

### ATMEGA8535

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?family\\_id=607&family\\_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part\\_id=2008](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=607&family_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part_id=2008)

### ATTINY2113

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?family\\_id=607&family\\_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part\\_id=3229](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=607&family_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part_id=3229)

### AT86RF211S

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?family\\_id=651&family\\_name=Smart+RF&part\\_id=3662](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=651&family_name=Smart+RF&part_id=3662)

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc5307.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc5307.pdf)

### AT43USB380

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?family\\_id=655&family\\_name=USB+Controllers&part\\_id=3393](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=655&family_name=USB+Controllers&part_id=3393)

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc3485.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc3485.pdf)

## Regulador de voltaje

[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/F/3/3/LF33CV.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/F/3/3/LF33CV.shtml)

**MAX232**

[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml)



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY**

**Campus Ciudad de México**

Valeria Jiménez Schiavón  
Johann Picos Whitehouse  
José Francisco Cabrera Creus

**Asesor:**  
Ing. Alfonso Menroy Olascoaga

**Sinodales:**  
M. en C. Israel Macías Hidalgo  
Dr. Rogelio Bustamante Beño

**Professor:**  
Dr. Francisco Javier Cuevas Ordaz

# SISTEMA DE MULTITECLADOS INALÁMBRICOS

## RESUMEN:

Este proyecto consta del desarrollo de un sistema electrónico que permite a varios teclados comunicarse de forma inalámbrica con una misma computadora central, dentro de un salón de conferencias. La realización de este sistema se dividió en tres módulos: recepción de la información proveniente de los teclados a través de un microcontrolador; comunicación inalámbrica entre microcontroladores y computadora central; y, por último, un protocolo de comunicación que dirija el intercambio de datos.



1. Tarjeta de radiofrecuencia AT86RF211S

## DESCRIPCIÓN:

El primero de los módulos de este proyecto es la interfaz encargada de leer y decodificar los datos provenientes de los teclados. Los datos son almacenados hasta que puedan ser enviados al dispositivo inalámbrico de la computadora central. El segundo módulo consiste en el intercambio de datos por el canal inalámbrico, usando transmisión por radiofrecuencia. El último de los módulos corresponde al protocolo de comunicación, encargado de la sincronización en la comunicación de los diversos dispositivos periféricos y el dispositivo central.

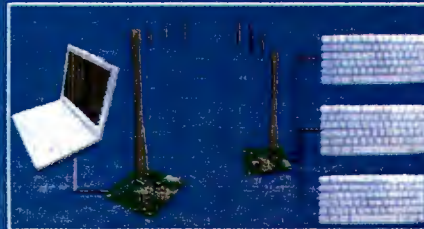


Figura 2. Sistema Multiteclados

forma serial y la envían utilizando un canal inalámbrico a 915MHz y con una modulación FSK. Cada una de las tarjetas se encuentra controlada por un sistema mínimo basado en un microcontrolador AVR.

El protocolo de comunicación sincroniza el envío y recepción de la información por medio de un modelo "maestro-esclavo". El maestro, es decir, la tarjeta que se encuentra conectada directamente a la computadora, le asigna permiso de transmisión a cada esclavo, uno a la vez. Una vez que el esclavo tiene el permiso de ocupar el canal de transmisión, manda los datos que tiene almacenados hasta que se terminen sus datos. Inmediatamente después, el maestro le asignará el permiso al siguiente esclavo.

## OBJETIVOS:

- Lograr la comunicación inalámbrica entre dos dispositivos utilizando radiofrecuencia.
- Lograr la comunicación entre los teclados y el microcontrolador para poder enviar estos datos por medio del canal inalámbrico.
- Desarrollar un protocolo de comunicación que permita el envío y recepción de datos entre los teclados y la computadora central.

## DESARROLLO:

Para la interfaz, que se desarrolló entre el teclado y las tarjetas de radiofrecuencia, se utilizó el microcontrolador, el cual se encarga de leer, de forma serial, los datos provenientes de los teclados. Además, sincroniza, por medio de una interrupción, la lectura de los caracteres con el reloj interno de cada teclado. Una vez que se tiene el dato enviado por el teclado, lo decodifica, entregando el código ASCII de la tecla presionada.

Los módulos de comunicación inalámbrica se implementaron con las tarjetas de AT86RF211S (Figura 1), configuradas como receptores o transmisores, según sea su caso. Estos módulos reciben la información proveniente de la interfaz de los teclados de

## RESULTADOS:

Se logró transmitir la información adquirida de los teclados por medio de la radiofrecuencia empleando las tarjetas AT86RF211S de ATMEL. Para controlar al transmisor y al receptor se desarrolló un sistema mínimo capaz de controlar la tarjeta de radiofrecuencia según lo dictamine el protocolo. El microcontrolador de este sistema contiene el código necesario para hacer funcionar la tarjeta, y controlar la transmisión.

Asimismo, se logró desarrollar un driver, el cual obtiene el scancode de las teclas básicas de un teclado y lo traduce a código ASCII. Esta información queda almacenada en el microcontrolador de la interfaz y posteriormente se envía al microcontrolador del sistema mínimo.

Se realizó un protocolo de comunicación inalámbrica, encargado de la sincronización entre el envío y la recepción de todos los datos provenientes de los diversos periféricos.



Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema electrónico que permite la comunicación inalámbrica de múltiples teclados con una única computadora central en un auditorio o sala de juntas. El diseño está compuesto de tres módulos (interfaz, comunicación inalámbrica y protocolo de comunicación) que controlan cada una de las tareas que ejecuta el sistema.

- Se tiene una interfaz que comunica a los múltiples teclados con el transmisor, cuyo objetivo es enviar la información de cada uno de los teclados al módulo de transmisión inalámbrica.
- El módulo de comunicación inalámbrica consta de un transmisor inalámbrico que envía los datos de todos los teclados a un receptor, el cual se encuentra conectado a la computadora central.
- Un protocolo de comunicación, el cual permite la coordinación entre el envío y recepción de datos de cada uno de los módulos transmisores, y el receptor central.

La unión final de los módulos mencionados anteriormente permite la comunicación y el envío de datos eficientemente entre varios módulos inalámbricos a una computadora central que procesará la información de acuerdo a los requerimientos del usuario.

This project develops an electronic system which allows a wireless communication of several keyboards with one central computer in a meeting room or an auditorium. This design involves three different modules (interface, wireless communication and communication protocol), each one in charge of a specific task in the system.

- The interface is dedicated to communicating all the keyboards and the transmitter.
- The wireless module includes a wireless transmitter that sends all the data received from the keyboards to a wireless receiver that is connected to a central computer.
- A communication protocol that is in charge of coordinating the transmission and reception of the data coming from the keyboards.

The project, as a whole, allows several transmitting modules to efficiently send all their data to the central computer which will concentrate it, and manipulate it according to the users' needs.