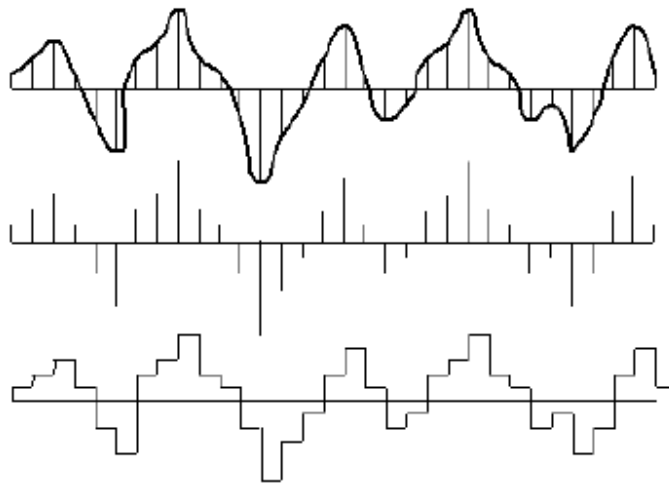


# PROYECTO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE TELEMEDICINA PARA EL MONITOREO DE BIOSEÑALES



## PRODUCTO P07 UNIDAD MODULAR DE CONVERSIÓN ANÁLOGA – DIGITAL

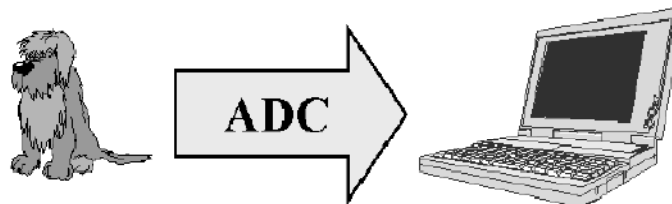
### Actividades:

- A07 – 1: Diseño y estructuración de las diferentes etapas que componen el circuito de Digitalización y transmisión Bluetooth.
- A07 – 2: Selección de los circuitos electrónicos a utilizar.
- A07 – 3: Montaje de los circuitos electrónicos en protoboard para la digitalización de las señales
- A07 – 4: Implementación y medidas de comprobación del circuito de Conversión Análoga - Digital.

## OBJETIVOS

- Elegir la tasa de muestreo, la resolución, velocidad de transmisión y el microcontrolador óptimo para la digitalización y administración de todas las bioseñales obtenidas anteriormente..
- Estudiar y Analizar la transmisión de datos USART utilizando un microcontrolador.
- Realizar un programa en el software MPLAB, cuya función es administrar la digitalización de todas las bioseñales cada milisegundo, guardarlas en la memoria del PIC para su posterior envío al Computador Personal.
- Desarrollar una secuencia de marcado digital para cada bioseñal adquirida y digitalizada para que el software del Computador Personal pueda diferenciarlas para su posterior graficación.
- Determinar en el microcontrolador el tiempo de 1 segundo para el envío de la bioseñal de Temperatura hacia el Computador Personal.

## INTRODUCCIÓN



**Figura No. 1 Cuando se desea pasar información a un computador se necesita de la conversión analógica digital**

La salida de los sensores utilizados para adquirir todas las bioseñales, que permiten al equipo electrónico interactuar con el entorno, es una señal analógica, continua en el tiempo. En consecuencia, esta información debe convertirse a binaria (cada dato analógico decimal codificado a una palabra formada por unos y ceros) con el fin de adaptarla a los circuitos procesadores y de presentación. El conversor analógico-digital (CAD) es un circuito electrónico integrado cuya salida es la palabra digital resultado de convertir la señal analógica de entrada (Figura No. 1).

Existen muchos diseños para realizar un circuito de conversión analógica digital. En general se utilizan circuitos integrados que realizan estas funciones directamente o con un mínimo de circuitería periférica, motivo por el cuál se utilizaron microcontroladores. Sin embargo, no todos son aptos para una aplicación concreta y por ello deben estudiarse cuidadosamente sus características y elegir el que mejor se adapte a nuestras necesidades. La precisión y la velocidad de muestreo son los más evidentes, pero la simplicidad del diseño, la estabilidad frente a condiciones adversas y el consumo suelen ser muchas veces las cualidades que condicionan todo el diseño.

### **Conversión analógica digital (ADC)**

El conversor analógico digital es el componente básico para que el Computador pueda realizar la medida de la señal analógica suministrada por la circuitería. Estos elementos pasan de una señal que varía continuamente a una señal que lo hace a saltos (resolución) y sólo cada cierto tiempo (muestreo).

El conversor analógico digital más sencillo consiste en una serie de circuitos comparadores ajustados cada uno de ellos a niveles de tensión de referencia sucesivamente cada vez más elevado, obtenidos mediante un divisor resistivo de una misma fuente de alta estabilidad. Al aplicar una tensión a la entrada

del conversor, conmutan todos aquellos conversores cuya tensión de referencia sea menor que la entrada.

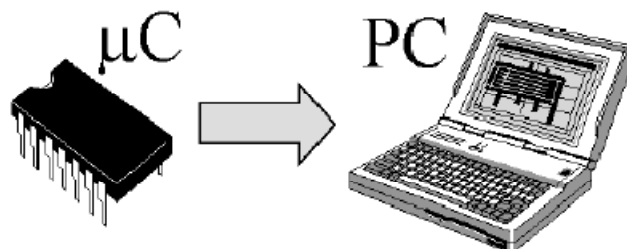
Un circuito lógico codifica la salida de los comparadores en un número en el formato binario deseado. La gran velocidad de muestreo y la cualidad de que la conversión se realiza con un sólo pulso de reloj, hace que a este tipo de conversores se les conozca como conversores flash.

El elevado número de comparadores que se precisan para realizar un conversor de este tipo hace que sólo existan en catálogo unos pocos circuitos de este tipo, todos ellos de poca resolución (8 bits). La elevada velocidad de conversión (>10MHz) que puede alcanzarse con ellos les hace aptos para el procesamiento digital de señales de alta frecuencia.

Dado que el número de bits que se obtienen de un convertidor es finito, el código de salida deberá ser siempre el correspondiente al valor más cercano que puede representarse mediante los bits, la conversión digital efectúa una cuantificación en la entrada analógica, acotándola entre dos niveles consecutivos cuya distancia es precisamente el grado de resolución obtenido.

Existen diversos tipos de convertidores en igual forma utilizados para efectuar la conversión, en unos casos se efectúa la conversión directa, por comparación contra una tensión de referencia, en otros casos se efectúa una transformación a una variable intermedia, como puede ser el tiempo, también puede efectuarse la conversión AD efectuando una conversión inversa DA, usando al mismo tiempo una estructura de retroalimentación, si se usa lazo cerrado reciben entonces el nombre de servo convertidores, según sea el método utilizado se obtienen distintas características de precisión, rapidez de conversión y costo.

El proceso de conversión AD es generalmente más completo y largo que el proceso inverso DA, se han creado y utilizado muchos métodos de conversión AD como es: Aproximaciones sucesivas. Las conversiones analógicas digitales son muy importantes para poder enviar los datos al Computador, utilizando un microcontrolador (Figura No. 2).



**Figura No. 2 El conversor analógico digital estará controlado por un microcontrolador (µC) que transmitirá la información a un computador (PC)**

### **Ventajas de la comunicación digital**

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse en pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor.

Algunas de las ventajas de la transmisión digital (con respecto a la analógica) son:

- La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar esos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. En cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de

muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba (1) o abajo de un umbral específico (0).

- Almacenamiento y procesamiento: Las señales digitales se pueden guardar y procesarse fácilmente que las señales analógicas.
- Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
- Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar. Por lo tanto es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.
- Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, detección y corrección de errores), que los analógicos.
- Los equipos que procesan digitalmente consumen menos potencia y son más pequeños, y muchas veces con más económicos.

### Fuentes de alimentación

Los conversores analógico digitales y sus elementos de control requieren 5V (3 V en las realizaciones de muy bajo consumo) para la alimentación digital. Unos simples diodos protegen las entradas del conversor en caso de excursiones excesivas.

## DIGITALIZACIÓN DE LAS SEÑALES

La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud de la señal y traducirlas a un lenguaje numérico. La conversión A/D también es conocida por el acrónimo inglés ADC (analogic to digital conversion).

La operación básica de los conversores análogos digitales consta de los siguientes pasos:

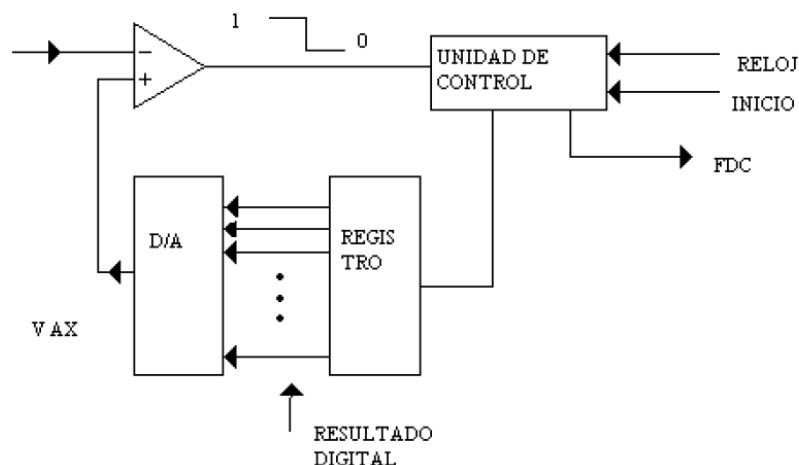


Figura No. 3 Operación básica de los conversores análogos digitales

- El comando de inicio pasa a alto dando inicio a la operación
- A una frecuencia determinada por el reloj la unidad de control continuamente modifica el número binario que está almacenado en el registro.

- El número binario del registro es convertido en una tensión analógico VAX; por el conversor
- El comparador compara VAX con la entrada analógica VA. Mientras que  $VAX < VA$ , la salida del comparador permanece en alto, cuando VAX excede a VA por lo menos en una cantidad igual a  $V_T$  (tensión umbral), la salida del comparador pasa a bajo y detiene el proceso de modificación del número de registro, que es el equivalente digital de VAX es así mismo el equivalente digital de VA, dentro de los límites de la resolución y exactitud del sistema.
- La lógica de control activa la señal de fin de conversión, FDC, cuando se completa el proceso de conversión (Figura No. 3).

En esta definición están patentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica digital:

### Muestreo

El muestreo (en inglés, sampling) consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de la señal analógica. El intervalo entre muestras debe ser constante (Figura No. 4). El ritmo de este muestreo, llamado frecuencia o tasa de muestreo determina el número de muestras que se toma en un intervalo de tiempo.

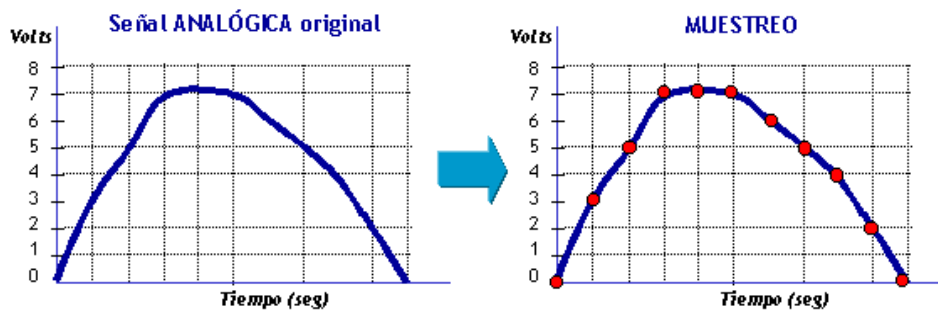


Figura No. 4 Muestreo de una señal Analógica

El muestreo se llevó a cabo según del Teorema de Nyquist (o Teorema del Muestreo): Si se muestrea una señal con una frecuencia mayor que el doble de la componente espectral máxima de la señal, ésta se puede reconstruir a partir de las muestras.

La señal muestreada se puede representar también como la secuencia de números (v.s. una función del tiempo)  $y(n) = y(nT_s)$  que pueden ser procesados analógicamente o cuantizados y manipulados por un procesador digital.

### Retención (En inglés, Hold)

Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (Hold), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas y carece, por tanto, de modelo matemático.

El circuito de cuantización requiere un determinado tiempo de conversión durante el cual la tensión de entrada  $v_x(t)$  debe mantenerse constante. Un circuito que permite realizar esta operación se presenta en la Figura No. 5.

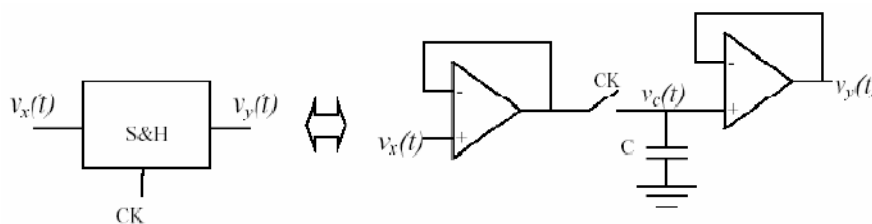


Figura No. 5 Diagrama de la Retención y Muestreo

## Cuantificación

Básicamente, la cuantificación lo que hace es convertir una sucesión de muestras de amplitud continua en una sucesión de valores discretos preestablecidos según el código utilizado (Figura No. 6).

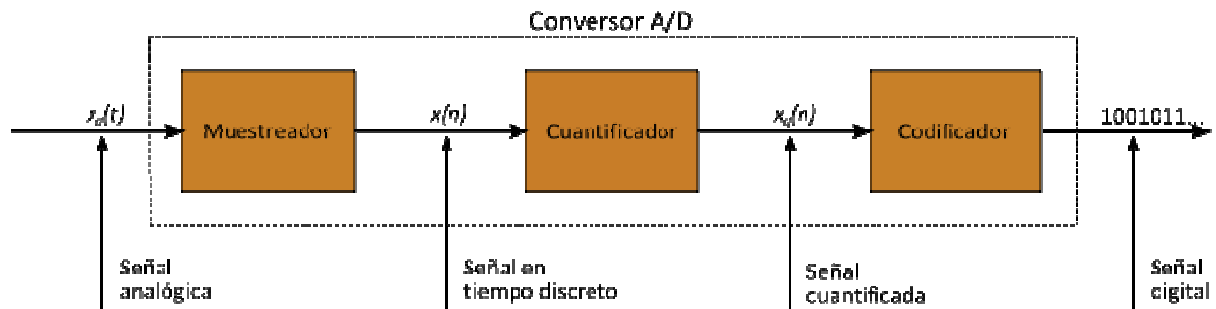


Figura No. 6 Conversor Análogo Digital

Durante el proceso de cuantificación se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras, obtenidas en el proceso de muestreo, y se les atribuye a un valor finito (discreto) de amplitud, seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente fijado (Figura No. 7).

Los valores preestablecidos para ajustar la cuantificación se eligen en función de la propia resolución que utilice el código empleado durante la codificación. Si el nivel obtenido no coincide exactamente con ninguno, se toma como valor el inferior más próximo.

En este momento, la señal analógica (que puede tomar cualquier valor) se convierte en una señal digital, ya que los valores que están preestablecidos, son finitos. No obstante, todavía no se traduce al sistema binario. La señal ha quedado representada por un valor finito que durante la codificación (siguiente proceso de la conversión analógico digital) será cuando se transforme en una sucesión de ceros y unos.

Así pues, la señal digital que resulta tras la cuantificación es sensiblemente diferente a la señal eléctrica analógica que la originó, por lo que siempre va a existir una cierta diferencia entre ambas que es lo que se conoce como error de cuantificación que se produce cuando el valor real de la muestra no equivale a ninguno de los escalones disponibles para su aproximación y la distancia entre el valor real y el que se toma como aproximación es muy grande. Un error de cuantificación se convierte en un ruido cuando se reproduzca la señal tras el proceso de decodificación digital.

## Codificación

La codificación consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante códigos preestablecidos (Figura No. 7). La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digital (sucesión de ceros y unos).

La codificación que se realiza mediante el sistema binario está basada en el álgebra de Boole.

Durante el muestreo y la retención, la señal aun es analógica puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital. Los cuatro procesos tienen lugar en un conversor analógico-digital.

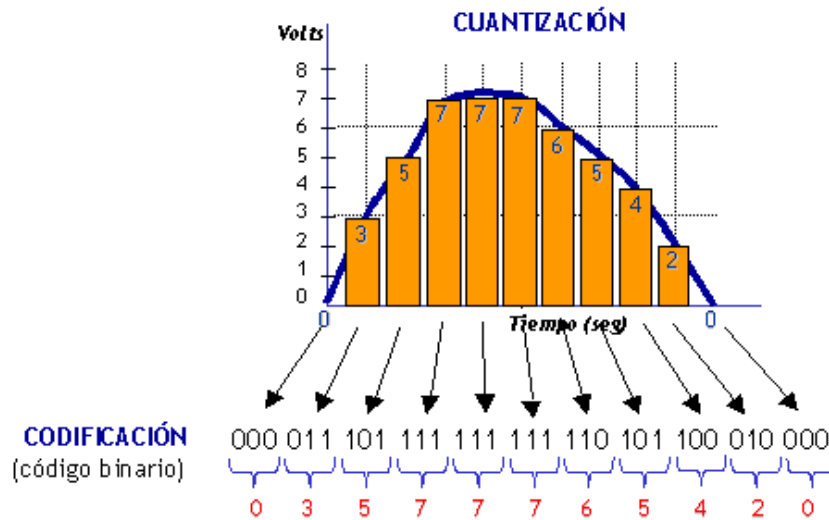


Figura No. 7 Cuantización y Codificación

### Especificaciones de los Convertidores

Para la selección de las conversiones de cada una de las bioseñales se miraron las especificaciones más importantes de los convertidores D/A para poder utilizarlos en la aplicación que se necesita.

Algunas de estas especificaciones son:

- Resolución: La resolución está relacionada únicamente con el número de bits que este posea.
- Precisión: Los fabricantes de los conversores tienen varias maneras de especificar la precisión, siendo las dos más comunes las llamadas error de escala completa y error de linealidad.

El error a escala es la máxima desviación de salida del DAC de su valor ideal, expresado como un porcentaje a escala completa.

El error de linealidad es la desviación máxima en el tamaño de paso, esto hablando del paso ideal.

- Error de Desplazamiento u Offset: En el caso ideal un conversor dará cero volts de salida con código de entrada cero, pero en la práctica habrá una tensión de salida muy pequeña para esta situación que se llama error de desplazamiento. Si este error de desplazamiento no se corrige se sumará a la salida del conversor.
- Tiempo de Establecimiento: Es el tiempo requerido para que la salida del conversor cambie de 0 a su valor máximo ó de escala completa, cuando todos los bits de la entrada binaria cambien de todos 0 a todos 1. En la práctica el tiempo de establecimiento es el lapso transcurrido entre el cambio de una salida estable a otra y se mide desde el momento del cambio de la entrada digital hasta el instante en que la salida ingresa dentro de la banda de  $\pm \frac{1}{2}$  Bit LSB del valor final previsto.

### COMUNICACIÓN USART

La palabra Usart significa Receptor / Transmisor Sincrónico /Asincrónico Universal, en este proyecto se estudiaron las características del modo Asincrónico, conocido como modo UART

El modo asincrónico se elige al poner el bit SYNC = 0

### Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión de datos es expresada en bits por segundo o baudios. El baudio es un concepto más general que bit por segundo. El primero queda definido como el número de estados de la señal por segundo, si sólo existe dos estados (que pueden ser representados por un bit, que identifica



dos unidades de información) entonces baudio es equivalente a bit por segundo. Baudio y bit por segundo se diferencian cuando es necesario más de un bit para representar más de dos estados de la señal.

La velocidad de transmisión queda limitada por el ancho de banda, potencia de señal y ruido en el conductor de señal. La velocidad de transmisión queda básicamente establecida por el reloj. Para este caso la velocidad de transmisión es de 115200 bits/segundo.

### La base de reloj

Cuando se establece la comunicación es necesario implementar una base de tiempo que controle la velocidad. Con el microcontrolador, se utiliza la base de tiempos del reloj del sistema, si bien, en términos genéricos se utilizaría uno de los siguientes métodos:

- Mediante la división de la base de reloj del sistema. Es decir, mediante un contador temporizador programable.
- A través de un oscilador TTL. Para cambiar frecuencia hay que cambiar el cristal.
- Generador de razón de baudios. Existen diferentes dispositivos especializados que generan diferentes frecuencias de reloj.

### Líneas o canales de comunicación

Se establece el canal para la comunicación de full dúplex: Se utilizan dos líneas (una transmisora y otra receptora) y se transfiere información en ambos sentidos. La ventaja de este método es que se puede transmitir y recibir información de manera simultánea.

### La transmisión asíncrona

Cuando se opera en modo asíncrono no existe una línea de reloj común que establezca la duración de un bit y el carácter puede ser enviado en cualquier momento. Esto conlleva que cada dispositivo tiene su propio reloj y que previamente se ha acordado que ambos dispositivos transmitirán datos a la misma velocidad.

No obstante, en un sistema digital, un reloj es normalmente utilizado para sincronizar la transferencia de datos entre las diferentes partes del sistema. El reloj definirá el inicio y fin de cada unidad de información así como la velocidad de transmisión. Si no existe reloj común, algún modo debe ser utilizado para sincronizar el mensaje.

### Bit de inicio y bit de parada

En la transmisión asíncrona un carácter a transmitir es encuadrado con un indicador de inicio y fin de carácter, de la misma forma que se separa una palabra con una letra mayúscula y un espacio en una oración. La forma estándar de encuadrar un carácter es a través de un bit de inicio y un bit de parada.

Durante el intervalo de tiempo en que no son transferidos caracteres, el canal debe poseer un "1" lógico. Al bit de parada se le asigna también un "1". Al bit de inicio del carácter a transmitir se le asigna un "0". Por todo lo anterior, un cambio de nivel de "1" a "0" lógico le indicará al receptor que un nuevo carácter será transmitido (Figura No. 8).

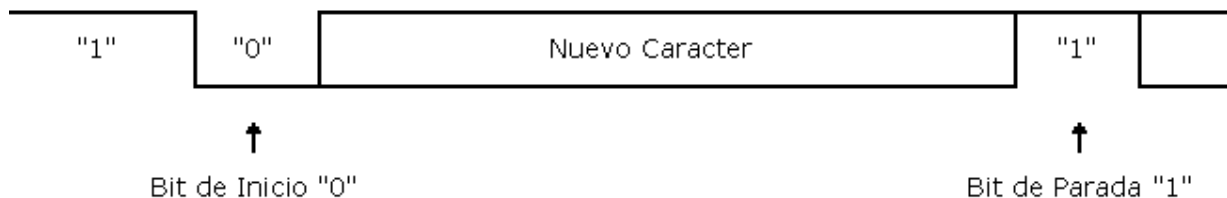


Figura No. 8 Formato de Transmisión Asíncrona



### Reglas de transmisión asíncrona

La transmisión asíncrona es la definida por la norma RS232, en la que se basa en las siguientes reglas:

- Cuando no se envían datos por la línea, ésta se mantiene en estado alto (1).
- Cuando se desea transmitir un carácter, se envía primero un bit de inicio que pone la línea a estado bajo (0) durante el tiempo de un bit.
- Durante la transmisión, si la línea está a nivel bajo, se envía un 0 y si está a nivel alto se envía un 1.
- A continuación se envían todos los bits del mensaje a transmitir con los intervalos que marca el reloj de transmisión. Por convenio se transmiten entre 5 y 8 bits.
- Se envía primero el bit menos significativo, siendo el más significativo el último en enviarse.
- A continuación del último bit del mensaje se envía el bit (o los bits) del final que hace que la línea se ponga a 1 por lo menos durante el tiempo mínimo de un bit. Estos bits pueden ser un bit de paridad para detectar errores y el bit o bits de stop, que indican el fin de la transmisión de un carácter.

Los datos codificados por esta regla, pueden ser recibidos siguiendo los pasos siguientes:

- Esperar la transición 1 a 0 en la señal recibida.
- Activar el reloj con una frecuencia igual a la del transmisor.
- Muestrear la señal recibida al ritmo de ese reloj para formar el mensaje.
- Leer un bit más de la línea y comprobar si es 1 para confirmar que no ha habido error en la sincronización.

### Velocidad de transmisión

En la transmisión asíncrona por cada carácter que se envía al menos 1 bit de inicio y 1 bit de parada así como opcionalmente 1 bit de paridad. Esta es la razón de que los baudios no se correspondan con el número de bits de datos que son transmitidos (Figura No. 9).

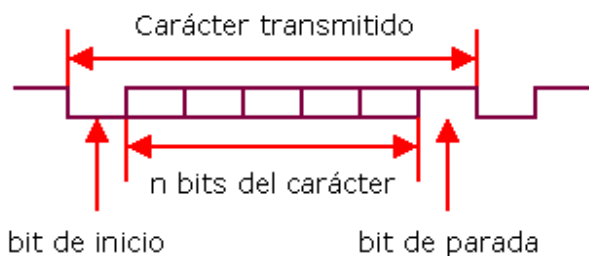


Figura No. 9 Formato Básico de Transmisión Asíncrona

La característica fundamental del formato de transmisión asíncrono es su capacidad de manejar datos en tiempo real, con un intervalo de longitud arbitraria entre caracteres sucesivos. Al final de cada carácter, la línea va a 1 en el bit de parada y permanece en ese estado durante un número arbitrario de bits ociosos. El inicio del nuevo carácter estará definido por la transición a 0 del bit de inicio (Figura No. 10).

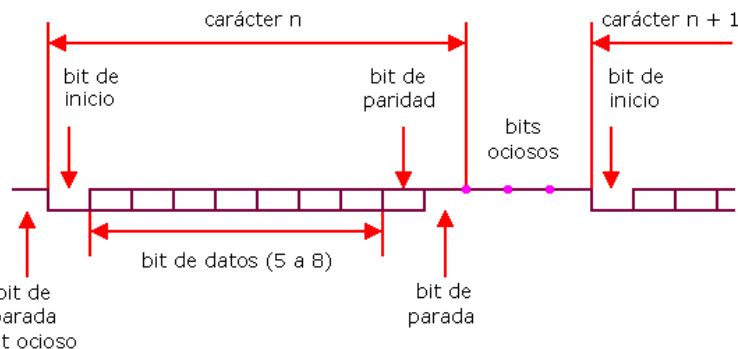
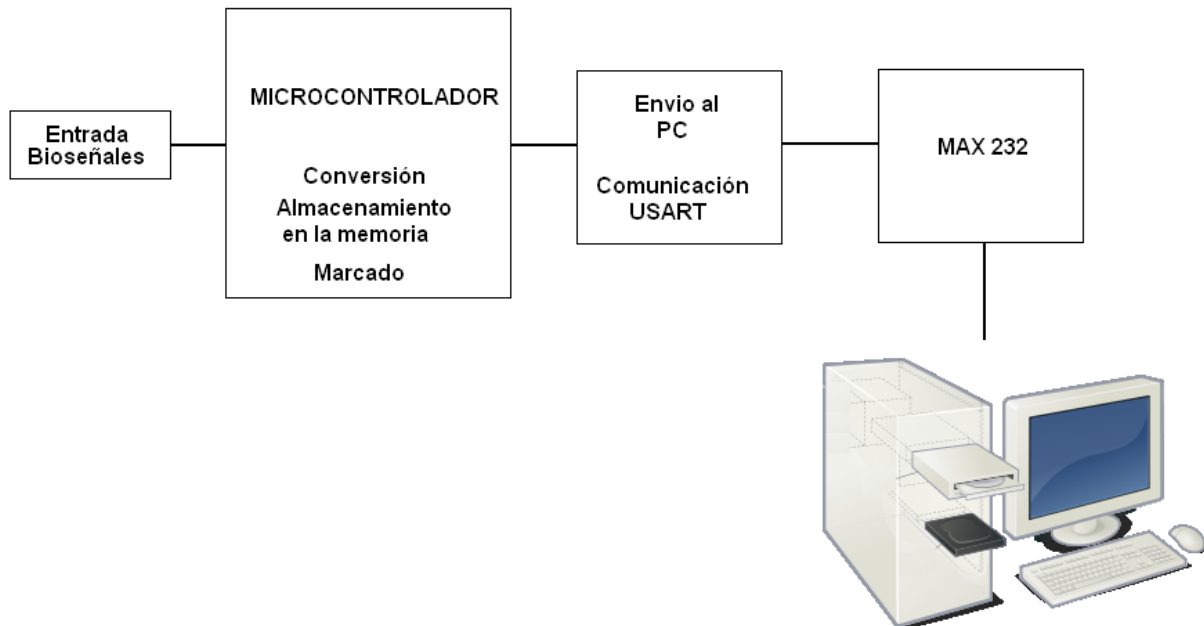


Figura No. 10 Transmisión asíncrona con velocidad menor que la máxima posible

## DIAGRAMA A BLOQUES DEL MÓDULO DE CONVERSIÓN ANÁLOGA DIGITAL



**Figura No. 11 Diagrama a bloques del Módulo de Conversión Analógica Digital**

El microcontrolador recibe las bioseñales de Electrocardiografía (12 derivaciones, un canal por cada una), Respiración y Temperatura Corporal; a medida que van llegando las va almacenando en la memoria del microcontrolador.

Una vez tenga todas las señales en su memoria, realiza el respectivo marcado a cada uno de ellas, dándole una etiqueta cuya función es darle un nombre a cada señal para que el software del Computador pueda discriminarlas para poder graficarlas.

Realizado este paso el microcontrolador se prepara para enviar los datos al PC por medio de comunicación USART. Se estableció un tiempo de 1 milisegundo para enviar las tramas de los datos al Computador.

### **MAX232**

El MAX232 es el circuito integrado estándar para convertir señales TTL/CMOS a señales RS232. Las señales en RS232 tienen 1 (unos) y 0 (ceros) estos son +12V y -12V respectivamente. Las señales de salida del PIC son entre 0 y 5V.

El MAX232 dispone internamente de 4 convertidores de niveles TTL al estándar RS232 y viceversa, para comunicación serie como los usados en los ordenadores, el COM1 y el COM2.

### Funcionamiento

El circuito integrado lleva internamente 2 convertidores de nivel de TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL con lo que en total se pueden manejar 4 señales del puerto serie del Computador, por lo general las más usadas son; TXD, RXD, RTS, CTS, estas dos últimas son las usadas para el protocolo handshaking pero no es imprescindible su uso. Para que el MAX232 funcione correctamente se colocan unos condensadores externos (Figura No. 12).

En el MAX232 todos los condensadores deben ser de 1 microfaradio para llegar hasta 120 Kbps o de 100 nanofaradios para llegar hasta 64 Kbps. Para el MAX232A los condensadores han de ser de 100 nanofaradios y se consiguen hasta 200 Kbps.

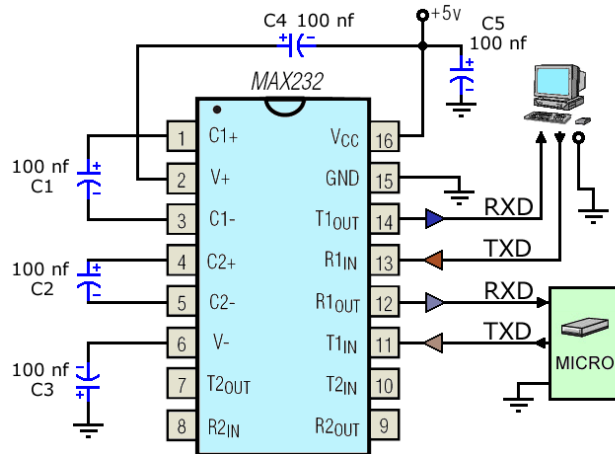


Figura No. 12 Conexión microcontrolador con un Computador mediante MAX232

Este integrado es usado para comunicar un microcontrolador o sistema digital con un Computador o sistema basado en el estándar RS232.

### RS232 en el PC

El puerto serie de un computador trabaja en modo asincrónico. En puerto serie recibe y envía información fuera del computador mediante un determinado software de comunicación o un driver del puerto serie. La información se envía al puerto carácter a carácter. Cuando se ha recibido un carácter, el puerto serie envía una señal por medio de una interrupción indicando que el carácter está listo. Cuando el ordenador ve la señal, los servicios del puerto serie leen el carácter.

### El cable

Para que la comunicación se lleve a cabo es necesario tener un conector de 9 pines (DB9, cable serial) puesto en el conector hembra de la placa y por el otro lado enchufado en el puerto serial del Computador (Figura No. 13).

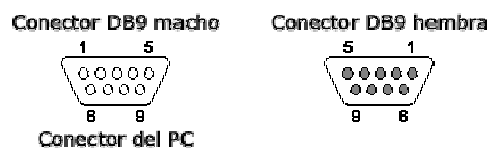


Figura No. 13 Conector DB9

En la placa de circuito impreso donde se encuentra el microcontrolador y donde se coloca el conector DB9 hembra se realiza la interconexión entre patillas que se describe en la Figura No. 14.

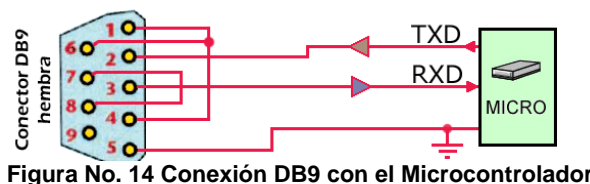
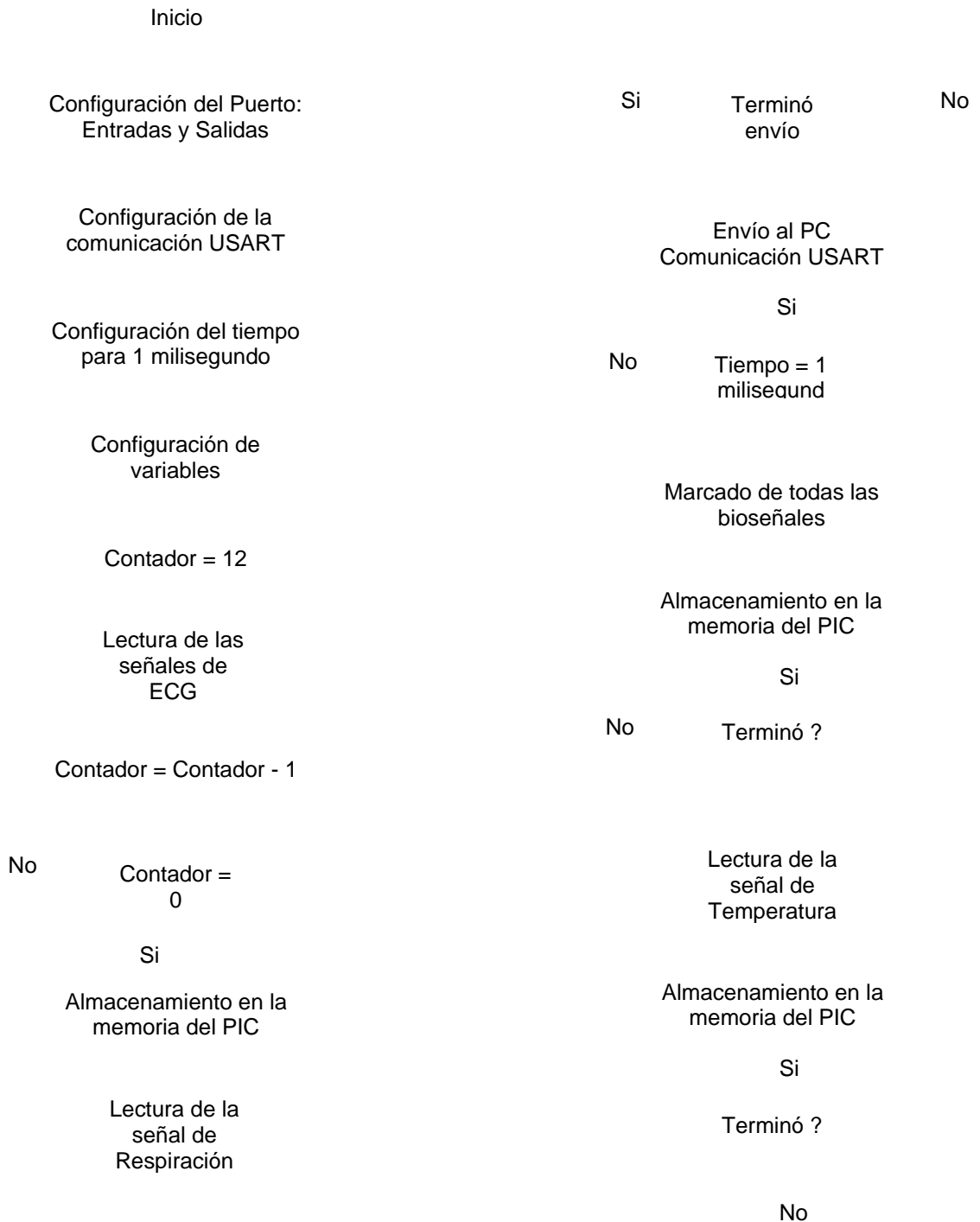


Figura No. 14 Conexión DB9 con el Microcontrolador

Las conexiones que presenta la Figura No. 14 garantizan que cualquier programa de comunicación acepte la transmisión del microcontrolador. La salida DTR (patilla 4, Terminal de Datos Preparado) entrega señal a la entrada DCD (patilla 1, Detección de Portadora) y a la entrada DSR (patilla 6, Dispositivo Preparado). Por otro lado la salida RTS (patilla 7, Petición de Envío), entrega señal a la entrada CTS (patilla 8, Preparado para el Envío).



A continuación se presenta el diagrama de flujo:

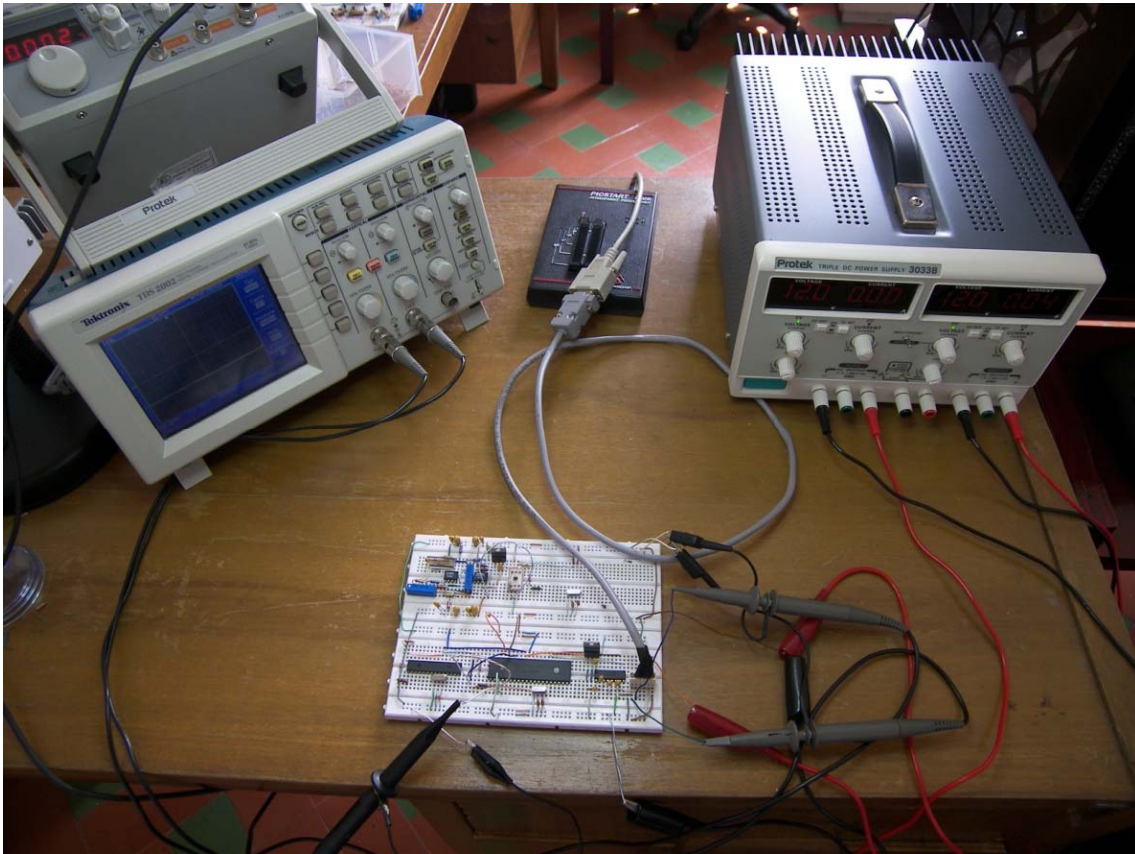


## FOTOS DEL MODULO DE CONVERSIÓN ANÁLOGA DIGITAL

En las Figura No. 15, 16, 17 y 18 se encuentran el circuito implementado del módulo de Conversión:

En la Figura No. 15 se encuentran los equipos que se utilizaron para desarrollar este módulo. Entre estos están:

- Osciloscopio Digital
- Fuente de Alimentación
- Cable para la comunicación RS232
- Circuito de Conversión



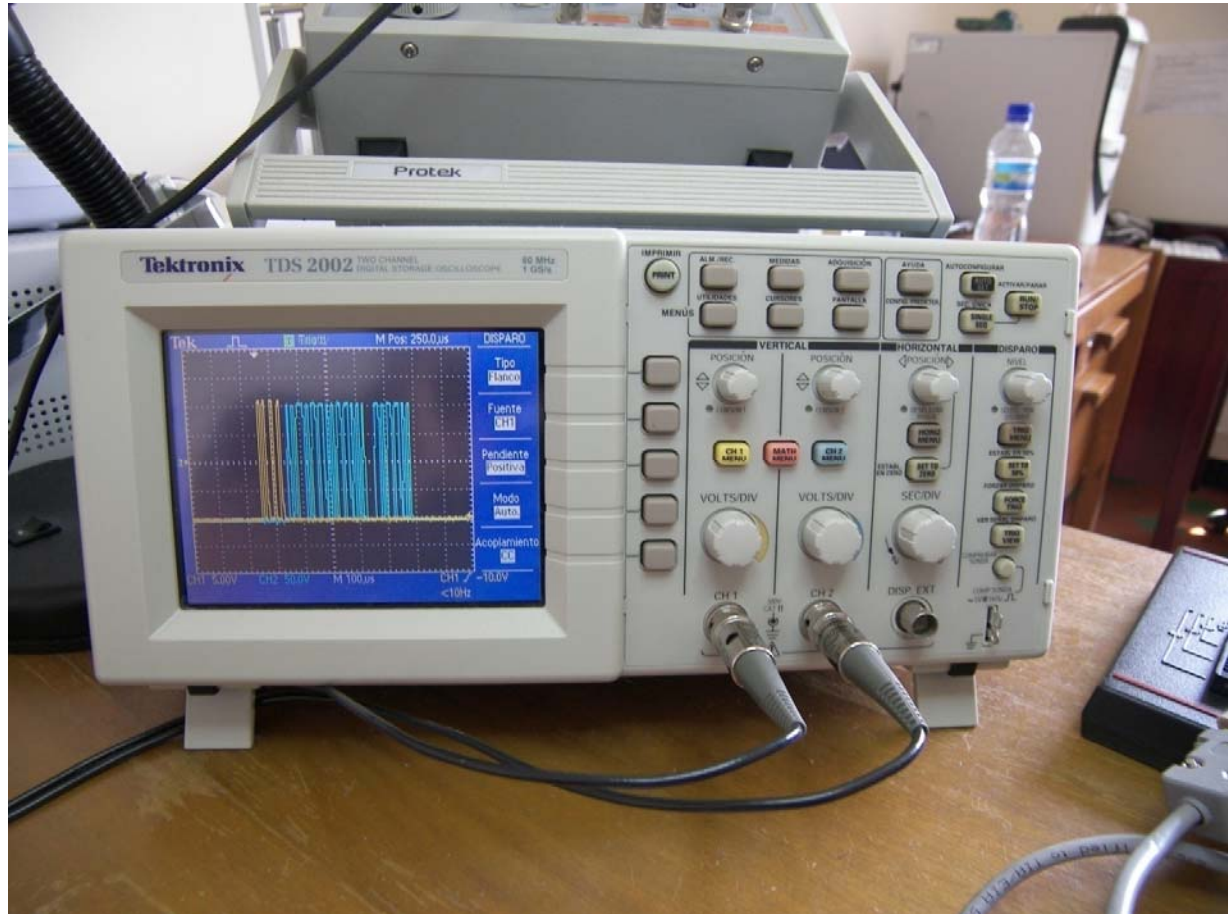
**Figura No. 15** Equipo para el desarrollo del Circuito de Conversión

En la Figura No. 16 se encuentra la señal de inicio para empezar la comunicación entre el microcontrolador y el Computador.

La trama de datos de color Amarillo es señal enviada del Computador al Microcontrolador.

La trama de datos de color Azul es la respuesta enviada del Microcontrolador al Computador.





**Figura No. 16 Comunicación entre el Microcontrolador y el Computador**

En la Figura No. 17 se puede observar la información que es enviada desde el microcontrolador al Computador de cada una de las bioseñales.

Esta información es mostrada en formato Binario, con su respectivo marcado y señalización.



Figura No. 17 Recepción de datos en el Computador desde el Microcontrolador

En la Figura No. 18 se puede observar el envío de la trama de datos desde el Microcontrolador al Computador Personal, de todas las bioseñales.

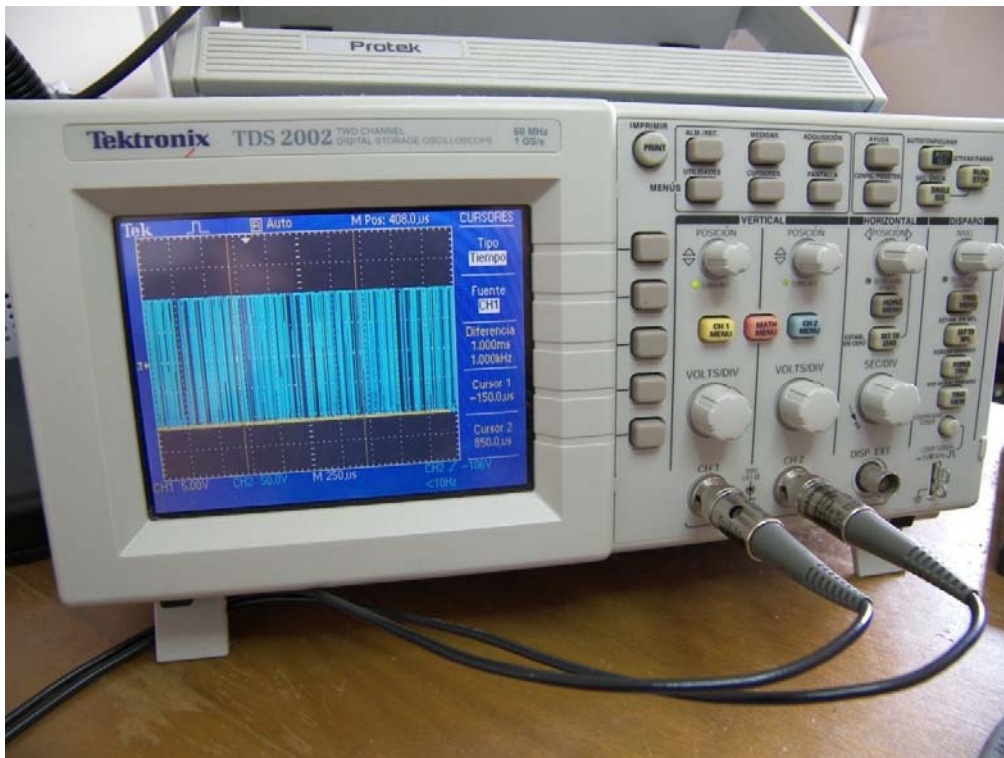


Figura No. 18 Trama de Datos



## CONCLUSIONES

- Los bits de resolución de cada bioseñal se encuentran entre los 10 bits a los 18 bits, obteniendo señales digitales confiables, con una frecuencia de muestreo de 1000Hz.
- Existe una gran diversidad de configuraciones posibles para los conversores analógico/digital, los cuales han ido tratando de mejorar ciertos inconvenientes de versiones anteriores. En la actualidad existe una nueva generación de conversores de fácil manejo y eficientes, los cuales fueron implementados en el desarrollo de este proyecto.
- La comunicación RS232 tiene un bajo porcentaje de error de -1.36%, aun cuando la velocidad de transmisión es alta, garantizando una señal confiable.
- Cada bioseñal tiene un marcado específico para hacer detección y corrección de errores en caso de que se pierda algún dato durante la transmisión.
- Cada milisegundo se envían tramas de datos desde el microcontrolador al computador y viceversa, lo cual garantiza que la señal sea en tiempo real.

**DIANA CAROLINA GODOY**  
Emprendedor