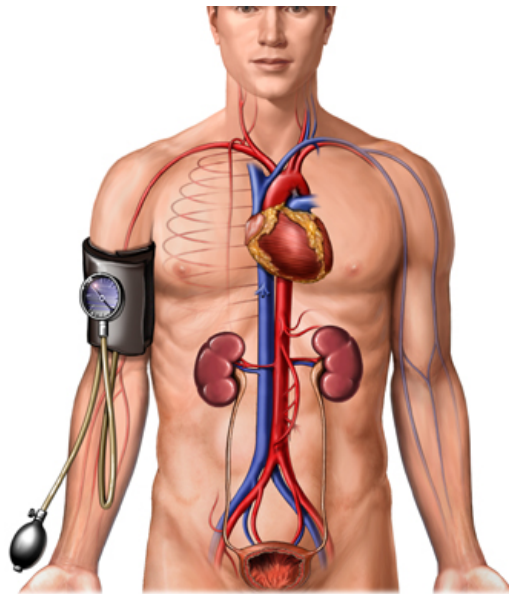


PROYECTO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE TELEMEDICINA PARA EL MONITOREO DE BIOSEÑALES



PRODUCTO P05 UNIDAD MODULAR DE PRESIÓN ARTERIAL NO INVASIVA

Actividades:

- A05 – 1: Diseño y estructuración de las diferentes etapas que componen la medición de la presión arterial.
- A05 – 2: Medidas de comprobación del circuito de Presión Arterial No Invasiva.

OBJETIVOS

- Analizar las técnicas para la toma y adquisición de la Presión arterial diastólica, sistólica y media.
- Estudiar el funcionamiento del sistema cardiovascular para poder obtener la presión arterial con sus respectivos valores normales y anormales.
- Diseñar un circuito electrónico que capture la señal proveniente del manguito inflable para su posterior tratamiento y digitalización.

INTRODUCCIÓN

La presión arterial mide la fuerza que se aplica a las paredes arteriales

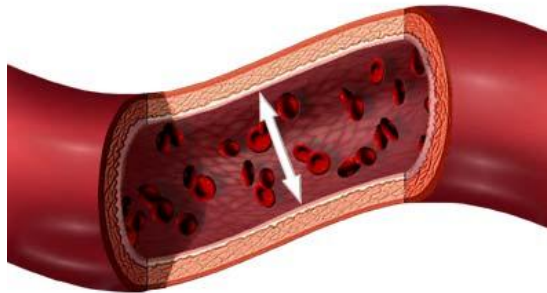


Figura No. 1 Presión Arterial

La presión arterial o tensión arterial (Figura No. 1) es la presión que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Esta presión es imprescindible para que circule la sangre por los vasos sanguíneos y aporte el oxígeno y los nutrientes a todos los órganos del cuerpo para que puedan funcionar. Es un tipo de Presión sanguínea.

El corazón bombea alrededor de 5 litros de sangre a través de la red de arterias, capilares y venas. La presión es más alta en las arterias, disminuyendo en sus ramas más pequeñas y alcanzando su valor más bajo en las venas que devuelven la sangre desoxigenada (usada por los tejidos) al corazón.

La presión arterial está causada por las contracciones periódicas del ventrículo cardíaco izquierdo en su función de bombear la sangre hacia todo el organismo a través de las arterias. Se denomina tensión arterial a la resistencia que ofrecen las paredes de las arterias al paso de la sangre impulsada por el corazón.

En cada latido del corazón se produce una onda de presión máxima llamada presión sistólica, cuando la sangre es impulsada por la arteria pulmonar y la aorta, mientras que la presión mínima o la llamada presión diastólica es la que se detecta cuando el corazón está totalmente distendido y lleno de sangre.

Con cada latido cardíaco una nueva oleada de sangre llena las arterias. Si no fuera por la distensibilidad del sistema arterial, la sangre fluiría por los tejidos solo durante la sístole cardíaca y no durante la diástole. La combinación de distensibilidad de las arterias y su resistencia al flujo sanguíneo reduce las pulsaciones de presión hasta casi desaparecer en el momento en que la sangre alcanza los capilares; por tanto, el flujo sanguíneo tisular suele ser continuo en vez de pulsátil.

La presión arterial depende de los siguientes factores:

1. Volumen de eyección: volumen de sangre que expulsa el ventrículo izquierdo del corazón durante la sístole del latido cardíaco. Si el volumen de eyección aumenta, la presión arterial se verá afectada con un aumento en sus valores y viceversa.
2. Distensibilidad de las arterias: capacidad de aumentar el diámetro sobre todo de la aorta y de las grandes arterias cuando reciben el volumen sistólico o de eyección. Una disminución en la distensibilidad arterial se verá reflejada en un aumento de la presión arterial y viceversa.
3. Resistencia vascular: fuerza que se opone al flujo sanguíneo al disminuir el diámetro sobre todo de las arteriolas y que está controlada por el sistema nervioso autónomo. Un aumento en la resistencia vascular, periférica, aumentará la presión en las arterias y viceversa.
4. Volemia: volumen de sangre de todo el aparato circulatorio. Puede aumentar y causar hipervolemia, o disminuir y causar hipovolemia.
5. Gasto Cardíaco: Determinada por la cantidad de sangre que bombea el corazón (Volumen Sistólico) en una unidad de tiempo (Frecuencia Cardíaca) dada por la frecuencia con que se contrae el ventrículo izquierdo en un minuto.

La presión arterial tiene dos componentes:

- Presión arterial sistólica: corresponde al valor máximo de la tensión arterial en sístole cuando el corazón late. Se refiere al efecto de presión que ejerce la sangre eyectada del corazón sobre la pared de los vasos (Figura No. 2).
- Presión arterial diastólica: corresponde al valor mínimo de la tensión arterial cuando el corazón está en diástole o entre latidos cardíacos. Depende fundamentalmente de la resistencia vascular periférica. Se refiere al efecto de distensibilidad de la pared de las arterias, es decir el efecto de presión que ejerce la sangre sobre la pared del vaso (Figura No. 2).

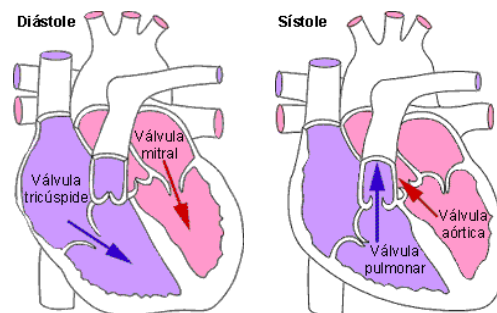


Figura No. 2 Presión Arterial Sistólica y Diastólica

- Presión arterial media: es la presión promedio (ciclo cardíaco). Se calcula:

$$\text{Presión diastólica} + \frac{1}{3} \text{ de la diferencia entre la presión sistólica y diastólica}$$

Cuando se expresa la tensión arterial, se escriben dos números separados por un guión, donde el primero es la presión sistólica y el segundo la presión diastólica. La presión de pulso es la diferencia entre la presión sistólica y la diastólica.

Se mide normalmente en milímetros de mercurio (mmHg) sobre la presión atmosférica. Los valores normales de presión arterial van desde 100/60 hasta 120/80 mm de mercurio (mmHg) sobre la presión atmosférica.

Valores por encima de 130/90 mm de mercurio son indicativos de Hipertensión o presión arterial alta y por debajo de 100/60 son indicativos de hipotensión o presión arterial baja. El aparato manual que mide la presión arterial se llama esfigmomanómetro o baumanómetro y el lugar habitual de su medida es el brazo.

La presión arterial cambia constantemente ya que cada latido del corazón es un valor de presión arterial adicionalmente muchos factores influyen en los valores de la tensión: por ejemplo la tensión arterial es mayor en invierno e inferior en verano, la actividad física, ansiedad, hora de la medición etc., influyen en los valores.

Nivel de presión arterial (mmHg)			
Categoría	Sistólica		Diastólica
Normal	<120	y	<80
Prehipertensión	120-139	o	80-89
Hipertensión arterial			
Hipertensión Estadio 1	140-159	o	90-99
Hipertensión Estadio 2	>160	o	>100

Trastornos de la presión arterial

Hipertensión arterial

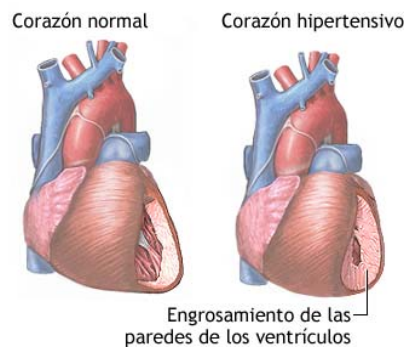


Figura No. 3 Hipertensión arterial

Es el aumento de la presión arterial, ya sea de la sistólica o de la diastólica. La hipertensión, junto con la hipercolesterolemia y el tabaquismo, es uno de los tres factores de riesgo cardiovascular más importante y modificable. Es una enfermedad silente, en sus primeros estadios (Figura No. 3).

Tiene cifras de tensión arterial sistólica de 160 mmHg o mayores, diastólica 95 mmHg.

Mecanismos que lo producen:

- Cuando aumente el volumen sistólico
- Ante la disminución de la elasticidad de las arterias
- Cuando hay un aumento de las resistencias periféricas por reducción del calibre arterial

La hipertensión puede ser por:

- Primaria o esencial: sin causa orgánica que la justifique (hereditario, genético)
- Secundaria a enfermedades orgánicas: por ejemplo la arterosclerosis, contracción de la aorta (crecimiento a nivel del tórax, tumoración), enfermedades renales, hipertiroidismo, leucociomocitoma (tumor benigno de la médula suprarrenal)

Hipotensión arterial

Es la disminución de la presión arterial, por debajo de los límites normales. Tiene cifras de tensión inferiores a 100 mmHg sistólica.

Puede ser:

- Primaria o esencial: no hay patología
- Enfermedad orgánica: hipertiroidismo, enfermedad de Addison (insuficiencia en la corteza suprarrenal), enfermedades cardíacas (insuficiencia cardíaca)

La repercusión que tiene en el organismo la hipotensión es mayor que la hipertensión

Medición de la Presión Arterial

Existen tres tipos de aparatos para medir la presión arterial:

- Esfigmomanómetro de mercurio, es el más exacto y menos expuesto a errores, para su uso se requiere un fonendoscopio. Al ser el mercurio un contaminante medioambiental este tipo de aparato se retirará en el futuro.
- Esfigmomanómetro de aire, es el más utilizado y es también preciso e igualmente necesita de un fonendoscopio para su uso.
- El aparato electrónico, se utiliza mucho para realizar el autocontrol, no necesita fonendoscopio porque lleva un detector del pulso incorporado, es de fácil manejo. Se trata de un equipo muy sensible a los ruidos y a los movimientos, para que los valores obtenidos sean exactos, es necesario que el brazo no se mueva y que no se hable.

La medición de presión arterial mediante la auscultación con un esfigmomanómetro, consta de un brazal insuflable conectado a un manómetro (de mercurio o aneroides), una fuente de presión (de inflar) que consiste de una perilla de caucho y una válvula de aire (controla la presión), y un estetoscopio que amplifica los ruidos del interior de la arteria (Figura No. 4).



Figura No. 4 Medición de la Presión Arterial

El flujo de sangre en la arteria humeral (elegida por comodidad) es suprimido temporalmente por insuflación del brazal aplicado alrededor del brazo. Los ruidos de "Korotkoff" son los ruidos que escucha el doctor o la enfermera cuando están tomando la presión arterial. Se llaman así debido a que el Dr. Nikilai Korotkoff, un médico ruso los describió en 1905 cuando trabajaba en la Academia Médica Imperial en San Petersburgo.

Método auscultatorio

Se coloca un fonendoscopio sobre la arteria antecubital y se infla un manguito de presión arterial alrededor del brazo. Mientras el manguito comprime el brazo con tan poca presión que la arteria

permanece distendida con sangre, no se escuchan sonidos con el fonendoscopio, a pesar del hecho de que la sangre dentro de la arteria es pulsátil. Cuando la presión del manguito es lo suficientemente grande para cerrar la arteria durante parte del ciclo de presión, se escucha un sonido con cada pulsación. Estos sonidos se llaman sonidos de korotkoff (Figura No. 5).

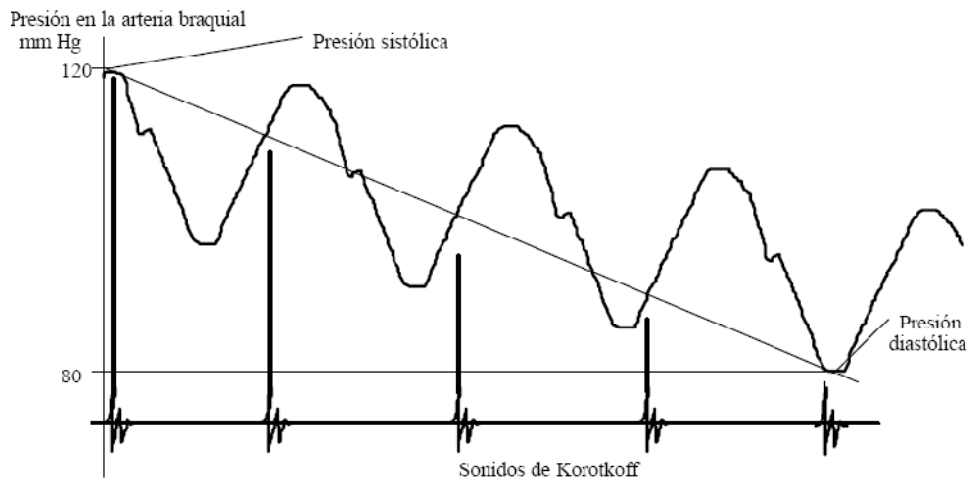


Figura No. 5 Sonidos de Korotkoff

Todavía se debate la causa exacta de los sonidos de korotkoff, pero se creen que están causadas por el chorro de sangre a través del vaso parcialmente ocluido. El chorro provoca turbulencias en el vaso abierto mas allá del manguito, y esto origina las vibraciones que se escuchan con el fonendoscopio. Al determinar la presión arterial con el método auscultatorio, primero se eleva la presión del manguito bien por encima de la presión arterial sistólica. Mientras esta presión sea mayor que la presión sistólica, la arteria braquial permanece colapsada y no pasan chorros de sangre a la parte distal de la arteria durante ninguna parte del ciclo de presión.

Por tanto, no se escuchan sonidos de korotkoff en la parte distal de la arteria. En ese momento se reduce gradualmente la presión del manguito. Justo en el momento en que la presión del manguito disminuye por debajo de la presión sistólica, la sangre se desliza a través de la arteria por debajo del manguito durante el máximo de presión sistólica, y se comienza a escuchar sonidos de golpeteo en la arteria antecubital sincrónicos con el latido cardíaco. Tan rápido como se oyen estos sonidos el nivel de presión indicado por el manómetro conectado al manguito es aproximadamente igual a la presión sistólica.

A medida que la presión en el manguito baja todavía más, los sonidos de korotkoff cambian su calidad, siendo ya no un golpeteo sino un sonido áspero y rítmico. Finalmente, cuando la presión en el manguito se reduce y se iguala a la presión diastólica, la arteria ya no se cierra durante la diástole, lo que significa que el factor básico que provoca los sonidos (chorro de sangre a través de una arteria apretada) ya no esta presente.

Por tanto, el sonido cambia bruscamente a un carácter sordo y después suele desaparecer por completo tras otros 5 a 10 mm de reducción de la presión del manguito.

Fase I: Ruidos golpeantes claros. Conforme escapa el aire podrá escuchar por el estetoscopio los primeros dos ruidos golpeante claros de la sangre que pasa por la arteria en esta fase. Se anota el número por el que pasa el menisco de la columna de mercurio (la parte alta de la columna) y registra esta cifra como la presión sistólica.

Para obtener una cifra exacta, hay que mantener la columna de mercurio en una superficie plana y observar la presión del manómetro con sus ojos colocados a nivel del menisco de la columna de mercurio.



Fase II: Ruidos golpeantes junto con un soplo.

Fase III: Ruidos golpeantes junto con un soplo.

Fase IV: Ruidos apagados. Al escuchar los primeros dos ruidos apagados de esta fase, registra la presión diastólica de la fase IV.

Fase V: Silencio. Conforme se desinfla el brazal el sonido del pulso se volverá mucho más suave y desaparecerá a continuación. En este punto (inicio del silencio) registra el número correspondiente del medidor de mercurio como la presión diastólica de la fase V.

En la medición se habla sobre los niveles de presión arterial, se refiere a dos cifras.

- El primer número, o el mayor, se refiere a la presión que existe en las arterias cuando late el corazón (sistólica).
- El segundo número, o el menor, se refiere a la presión que existe en las arterias entre latidos del corazón (diastólica).

Sistemas de regulación de la presión arterial a nivel global

- Sistema renina-angiotensina-aldosterona: Cuando las células yuxtglomerulares del riñón detectan una disminución del flujo sanguíneo secretan renina, que transforma el angiotensinogeno en angiotensina I que es convertida en angiotensina II por la ECA (enzima convertidora de angiotensina), la angiotensina II es un potente vasoconstrictor además promueve la secreción de aldosterona que disminuye la pérdida de agua por la orina.
- Vasopresina: Cuando las células del hipotálamo detectan un aumento de la osmolaridad del líquido cefalorraquídeo secretan vasopresina (también conocida como ADH o hormona antidiurética) que promueve la reabsorción de agua por parte del riñón y a su vez es un potente vasoconstrictor, este sistema es el causante de que la sal aumente la presión sanguínea, debido a que aumenta la osmolaridad del líquido cefalorraquídeo.
- Adrenalina-Noradrenalina: En situaciones de stress las cápsulas suprarrenales del riñón secretan estas dos hormonas que modifican el ritmo y la fuerza de contracción del corazón, además de provocar vasodilatación o vaso constricción según que zonas de la red capilar
- Factores nerviosos: en casos de stress o de peligro se activa el sistema nervioso simpático que hace aumentar el ritmo del corazón mediante el aumento de la permeabilidad al Ca de las células del marcapasos del corazón, lo que produce que la despolarización sea antes (en las células marcapasos cardiacas el Ca entra constantemente y cuando llega a un umbral se produce la apertura de canales de Na que provocan que se despolarice aun mas provocando la contracción, este movimiento eléctrico es lo que se observa en el electrocardiograma en cambio la disminución del stress provoca una activación parasimpática, que se traduce en un descenso de la permeabilidad al Ca y en un descenso de la frecuencia cardiaca.

DIAGRAMA A BLOQUES DE LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN ARTERIAL NO INVASIVA

Este método se basa en la detección de las ondas de presión en el brazalete como función de la misma decreciente y continua. Estas ondas son mínimas cuando el brazalete está inflado a una presión cercana a los valores sistólicos o diastólicos y máxima cuando la presión del brazalete es cercana a la presión media.

Normalmente se detecta sístole cuando las ondas aparecen por encima del ruido y diástole cuando las ondas desaparecen en el ruido. Por lo tanto teóricamente este equipo proporcionará valores de sístole

bajos, especialmente para relaciones de $sena$ a ruido bajas y muy bajas, como por ejemplo cuando el brazalete está colocado de una forma incorrecta; debido a esta razón los valores de diástole serían altos. Se podría esperar que la lectura de la presión media sería más reproducible que los valores de sístole o diástole. A pesar de ello se han producido equipos que poseen una exactitud razonable (Figura No. 6).

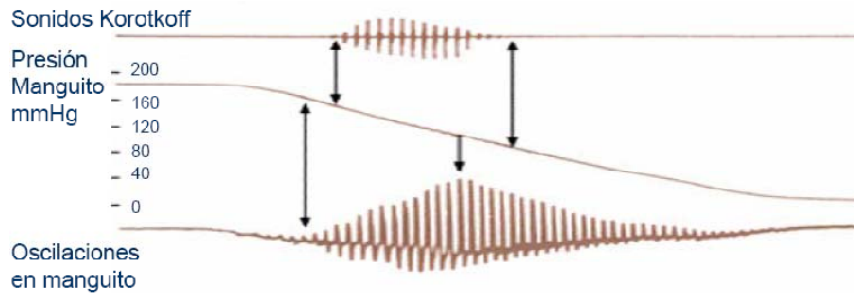


Figura No. 6 Método basado en oscilometría

El circuito desarrollado de presión arterial es un instrumento que permite monitorear durante 24 horas o más la presión sistólica, diastólica y media. El algoritmo implementado para determinar estos valores se basa en el método oscilométrico. El circuito requiere para su funcionamiento de un brazalete que se infla automáticamente mediante una microbomba de aire.

El algoritmo implementado para determinar estos valores como ya se dijo anteriormente se basa en el método oscilométrico. El equipo requiere para su funcionamiento de un brazalete que se infla automáticamente mediante una microbomba de aire. Este brazalete se coloca alrededor del brazo (Figura No. 7) de tal forma que al inflarse ocluye la arteria braquial y permite registrar las pulsaciones, a medida que se desinfla por medio de un sensor de presión. Los datos adquiridos en cada medición son almacenados en una memoria, la cual permite registrar la actividad de la presión arterial durante 24 horas.



Figura No. 7 Brazalete para obtener la Presión Arterial

El voltaje de alimentación es 12V para brindar autonomía hasta más de 24 horas. Una vez realizado el monitoreo los datos almacenados en memoria se transmiten por comunicación serial al computador personal para su visualización y análisis.

En la Figura No. 8 el Diagrama de bloques del circuito de Presión Arterial No Invasiva y en la Figura No. 9 medición de la presión arterial con respecto al equipo.

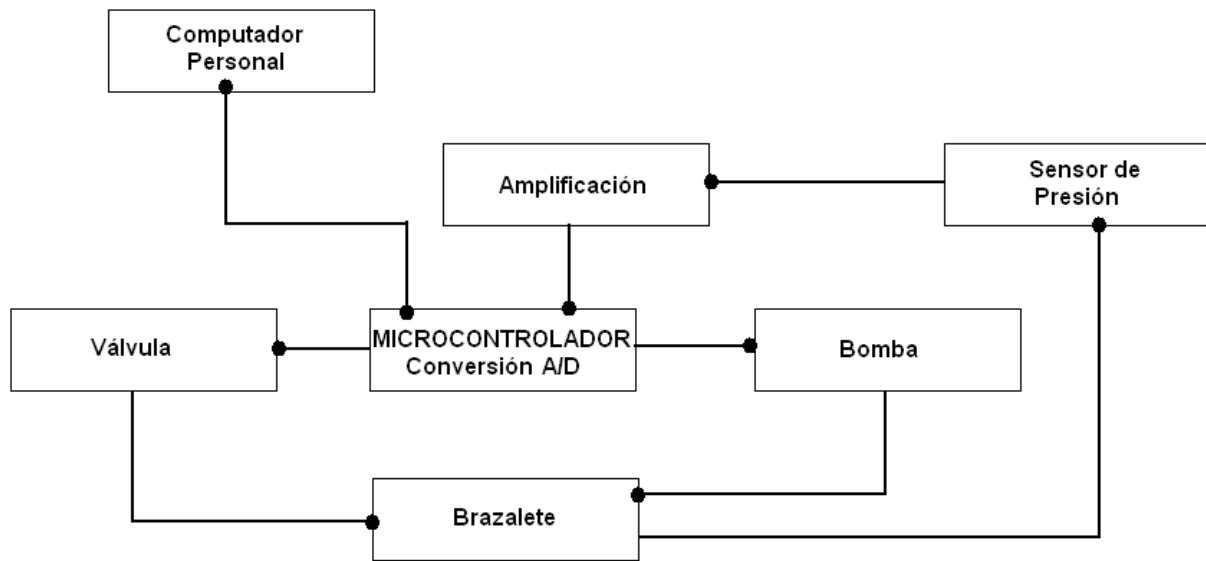


Figura No. 8 Diagrama a bloques de la Presión Arterial Sistólica, Diastólica y media

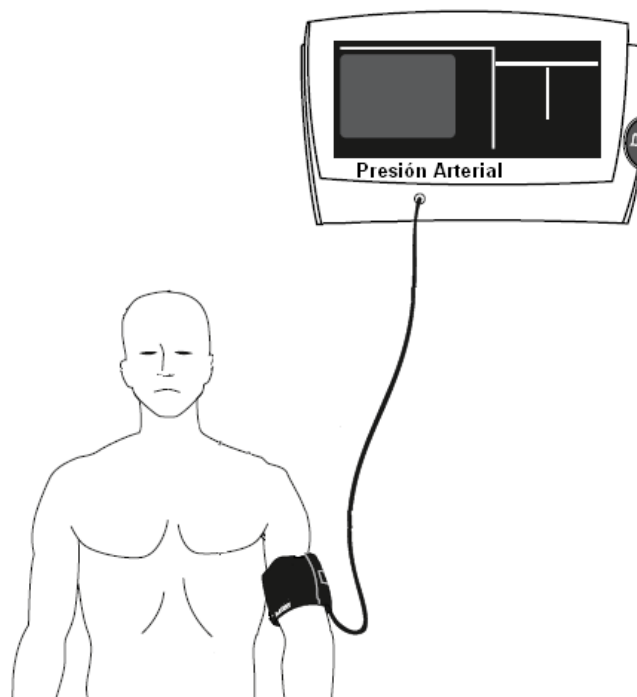


Figura No. 9 Forma de medición para obtener la Presión Arterial Sistólica, Diastólica y media

Sensor de Presión

El sensor de presión transforma las vibraciones de presión en una señal eléctrica proporcional; es decir, proporciona un rendimiento de voltaje muy exacto y lineal, directamente proporcional a la presión aplicada (Figura No. 10).

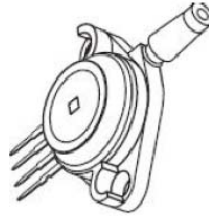


Figura No. 10 Sensor de Presión

La presión que la cinta de tela ejerce sobre la vena humeral se convierte a una señal de voltaje mediante el transductor de presión. Este transductor proporciona una salida de voltaje en proporción con la presión aplicada a este.

El sensor es un diafragma monolítico simple de silicona con la medida de tirantez y una película fina resistiva integrada en el chip. La pastilla es arreglada por láser para el empalme preciso, la calibración del desplazamiento y compensación de temperatura. El voltaje diferencial de salida del sensor es directamente proporcional a la diferencia de presión aplicada. El voltaje de la salida diferencial o del sensor mismo, aumenta con el aumento de la presión aplicada en P1 en relación al conector P2 que está vacío; similarmente, si se aplica vacío en el conector P2 con respecto a P1, la tensión de salida aumentará. En nuestro caso, se deja al conector P2 a la presión atmosférica y trabajamos con P1 (Figura No. 11).

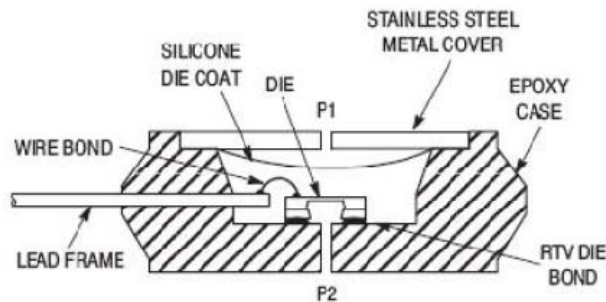


Figura No. 11 Corte Transversal del Transductor

Bomba

Se usó una microbomba para inflar de manera automática el brazalete (Figura No. 12). En la selección se tuvo en cuenta que la capacidad de llegar a un valor de presión máxima de inflado cercano a 280 mmHg, puesto que existen pacientes que pueden llegar a presentar esta presión.

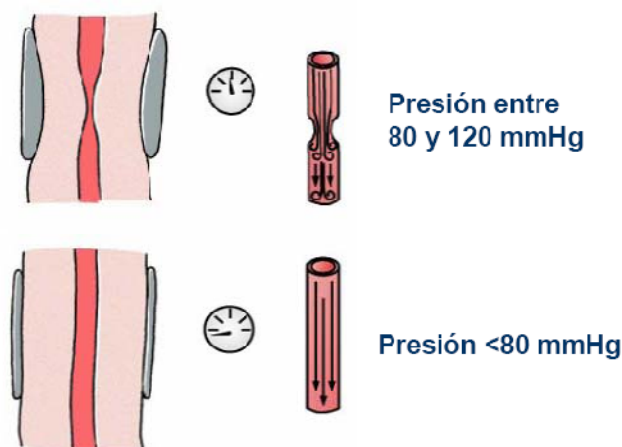


Figura No. 12 Presión sobre la arteria

Amplificación

Esta etapa consta de un amplificador de instrumentación, con una configuración de dos operacionales que provee entrada diferencial de alta impedancia, alta ganancia (200), un nivel de referencia continuo (para señal de entrada cero) y una salida referida a masa. El rechazo de modo común depende de la igualdad de los pares R2 - R3 y R1 - R4. La entrada de tensión de referencia pasa por las dos etapas sin sufrir ninguna modificación a la salida respecto a la original. La entrada diferencial, alimentada por la salida diferencial del sensor, contiene un nivel de señal de modo común igual a $\frac{1}{2}$ de la tensión de alimentación (5V) que posibilita el correcto funcionamiento de esta etapa a pesar de que se elimina en la salida.

Microcontrolador

Se detectaran los valores de presión máxima y mínima, enviando los resultados a través del microcontrolador para luego ser enviado al puerto serie RS232 al Computador Personal. Durante el proceso de medición, se mostrara en todo momento la presión (en mm Hg.) proveniente de la manga. Para este análisis se usará un microcontrolador de la línea PIC (Figura No. 13).

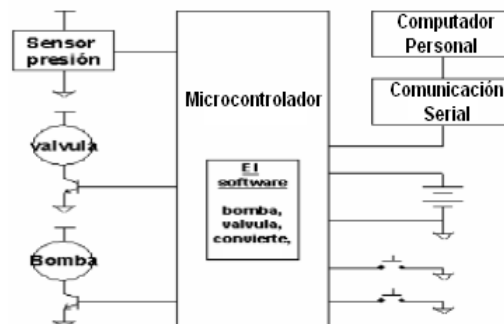


Figura No. 13 Microcontrolador

En los que respecta a las oscilaciones, sus valores picos serán almacenados en memoria RAM durante el proceso de medición en par con los valores de presión correspondiente a la señal de presión.

El tiempo durante el cual se analizan las oscilaciones, durante el proceso de medición, es aproximadamente de 30 segundos que con un pulso promedio de 90 pulsaciones por minuto, arroja 45 oscilaciones cuyos picos serán almacenados en 45 bytes de memoria RAM más 45 de sus respectivas presiones. Tomando un valor de 40 bytes para variables de uso general, se tiene en necesidad 130 bytes aproximadamente. La señal de presión cuyo rango de tensión es de 0,5V a 0 mm Hg., hasta 4,5V a 375 mm Hg. proveniente del sensor, es acondicionada para la entrada a un canal del convertor A/D. Las oscilaciones llegan al segundo canal A/D montadas sobre un nivel de continua de 1,5V. La frecuencia de reloj utilizada para el PIC es de 20 Mhz (adecuada para los tiempos de conversión requeridos).

Como función principal el programa se encarga de analizar las oscilaciones, para de esta forma detectar el pulso y los instantes donde se encuentran los valores de presión buscados (diastólica y sistólica), en la señal de presión que ingresa por el otro canal analógico.

El sistema de control realiza las siguientes operaciones:

- Inflado del brazalete a través de la microbomba
- Desinflado mediante una microelectroválvula proporcional
- Almacenamiento de los datos en una memoria serial externa
- Comunicación con el PC.

Memoria

Además de la memoria que posee el microcontrolador, se requiere una memoria externa para almacenar los datos de presión sistólica, diastólica, presión arterial media (MAP), pulsaciones por minuto y registro del tiempo obtenidos de las mediciones realizadas durante las 24 horas, partiendo del hecho de que el intervalo de toma se programa acorde con el criterio del especialista.

Brazalete

El brazalete se inflará hasta que la arteria esté totalmente bloqueada. La velocidad de la inflación y el nivel de la presión son maximizados. El circuito toma la presión mientras el brazalete se infla o desinfla; esto se debe a la función que ejerce la válvula, quien se encarga de controlar la entrada y salida de aire hacia el brazalete (Figura No. 14).

Para colocarlo la etiqueta del marcador ARTERY (Arteria) debe ir sobre la parte central del brazo, entre el bíceps y el tríceps. El manguito y el brazalete deberían estar aproximadamente 2 cm por encima del pliegue del codo, o la fosa antecubital. Y después se enrolla el brazalete alrededor del brazo.

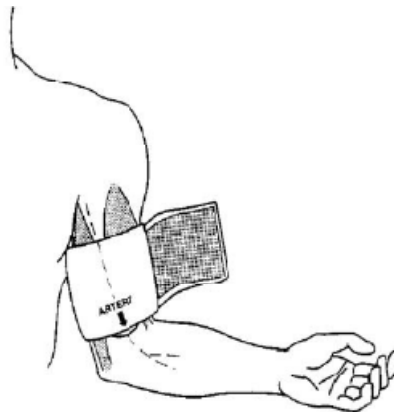


Figura No. 14 Brazalete

FOTOS DEL MODULO DE PRESIÓN ARTERIAL NO INVASVA

En las Figura No. 15 y 16 encuentra en circuito implementado del módulo de Presión Arterial No Invasiva, correspondiente al diagrama de bloques descrito anteriormente:

En esta fotografía se encuentra:

1. Bomba
2. Sensor de Presión
3. Válvula
4. Microcontrolador

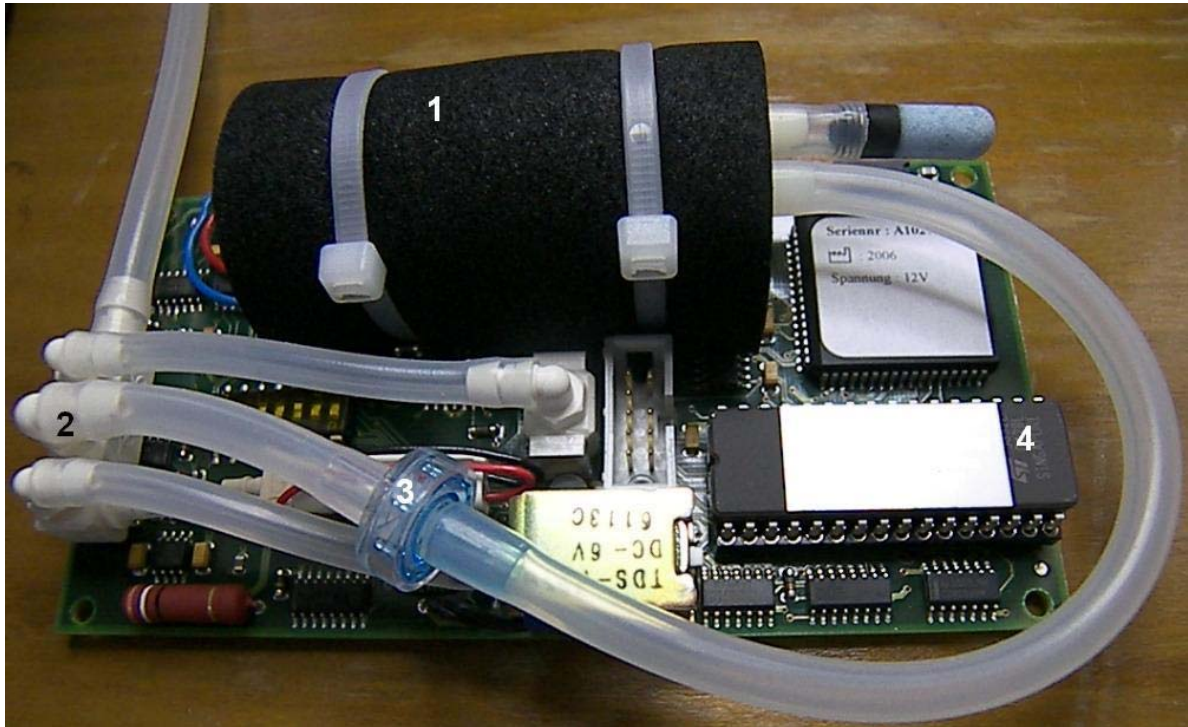


Figura No. 15 Circuito de Presión Arterial

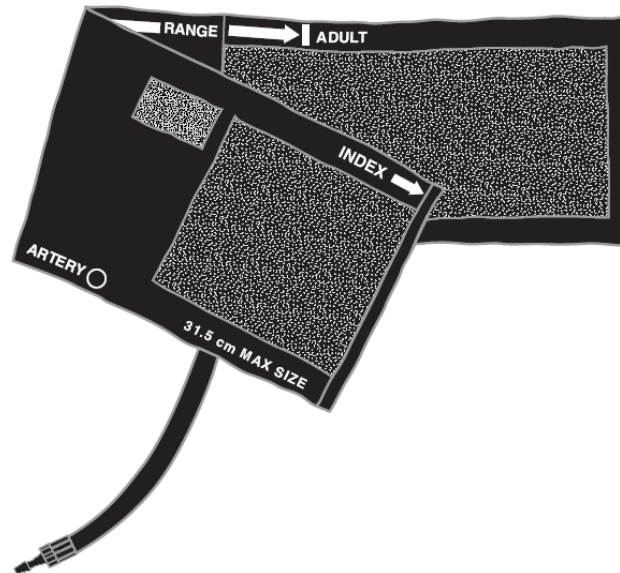


Figura No. 16 Brazaletes

En la Figura No. 17 se muestra las mediciones obtenidas del circuito de presión arterial no invasiva:



Figura No. 17 Medición del circuito de Presión Arterial

CONCLUSIONES

- Este circuito permite la toma de presión arterial de un paciente. Este proceso es propenso a errores de medición debido a la sensibilidad de los componentes que se utilizan y debido a que la mala colocación del dispositivo provoca con frecuencia mediciones erróneas. Por otra parte, el uso de microcontroladores reduce en gran parte la circuitería de un dispositivo; en este caso es de gran utilidad debido a la comodidad que se debe proporcionar para usar este aparato.
- Es importante usar el brazalete de tamaño correcto para poder obtener una lectura fidedigna. Si el brazalete es demasiado grande, se obtendrá una lectura inferior a la presión arterial correcta, si el brazalete es muy pequeño producirá una lectura más alta que la correcta.
- La conversión análoga – digital de 10 bits, la realiza el microcontrolador, quien realiza los cálculos y envía los resultados Computador Personal, utilizando la comunicación RS232.
- El circuito desarrollado es fácil de utilizar y presenta lectura digital de las mediciones de presión arterial sistólica, diastólica y media. Se basó en el "método oscilométrico": una determinación no invasiva de la presión arterial. El término "oscilación" se refiere a la medición de las vibraciones producidas por el pulso arterial. El circuito examina la presión pulsátil que la expansión y contracción de la pared arterial generan contra el brazalete con cada latido cardíaco.

DIANA CAROLINA GODOY
Emprendedor