



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**INGENIERÍA INVERSA APLICADA A UN
TENSÍOMETRO DIGITAL DE USO
DOMÉSTICO**

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Armando Seguí López

TUTORIZADO POR

Enrique Berjano Zanón

FECHA: Valencia, Mayo, 2020

Contenido Memoria

1. Objeto	5
2. Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes	5
2.1 La ingeniería inversa.....	5
2.2 Objetivos	6
2.3 Métodos de tomas de tensión arterial.....	6
2.4 ¿Por qué la automatización del método?	10
3. Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada	11
3.1 Tipos de tensiómetro	11
3.1.1 Modelo manual	11
3.1.2 Modelo Digital con brazalete	12
3.1.3 Modelo Digital de muñeca	12
3.2 Avances tecnológicos en el tensiómetro	13
3.3 El Modelo	13
4. Descripción detallada de la solución adoptada	14
4.1 Métodos	14
4.2 <i>Feedback</i> sobre cómo afrontar un Teardown.....	16
4.2.1 Parte Eléctrica/Electrónica	16
4.2.2 Parte Mecánica/Estructural	19
5. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución adoptada (cálculo y dimensiones)	21
5.1 Teardown	21
5.1.1 Análisis componentes electrónicos.....	22
5.1.2 Análisis del conjunto motor/bomba	36
5.1.3 Electroválvula	39
5.2 Estética y funcionalidad estructural de dispositivo.....	42
5.2.1 Ingeniería de factores humanos y usabilidad	42
5.2.2 Análisis de su diseño estructural y componentes funcionales.....	43
5.3 Fortalezas y debilidades	49
5.4 Propuesta de evolución del dispositivo	50
6. Conclusión	56
7. Anexos	57
7.1 Anexo Datasheet componentes.....	57
7.2 Anexos Apartado 5	62
7.2.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo	62
7.2.2 Introducción a conceptos básicos	63

8. Índice de figuras	64
-----------------------------------	-----------

9. Referencias.....	67
----------------------------	-----------

Contenido Planos

PLANOS.....	70
--------------------	-----------

Contenido Pliego de Condiciones (PDC)

1. Objeto	74
------------------------	-----------

2. Normativa	74
---------------------------	-----------

3. Condiciones de los materiales	75
---	-----------

3.1 Electrónica.....	75
----------------------	----

3.1.1 Circuito Acondicionamiento de la señal del sensor de presión	75
--	----

3.1.2 Sensor de presión.....	75
------------------------------	----

3.1.3 Microcontrolador	75
------------------------------	----

3.1.4 Memoria EEPROM.....	76
---------------------------	----

3.1.5 Elementos Resistivos.....	76
---------------------------------	----

3.2 Alimentación	76
------------------------	----

3.2.1 Alimentación parte eléctrica	76
--	----

3.2.2 Alimentación parte electrónica.....	76
---	----

3.3 Periféricos.....	77
----------------------	----

3.3.1 Motor Eléctrico para tracción de la bomba de aire	77
---	----

3.3.2 Bomba de aire	77
---------------------------	----

3.3.3 Electroválvula	77
----------------------------	----

3.4 Estructura	78
----------------------	----

3.4.1 Estructura exterior	78
---------------------------------	----

3.4.2 Tornillos.....	78
----------------------	----

3.4.3 Muñequera.....	78
----------------------	----

3.4.4 Bolsa inflable	78
----------------------------	----

3.5 Interface	79
---------------------	----

3.5.1 Pantalla.....	79
---------------------	----

3.5.2 Botones	79
---------------------	----

Contenido Presupuesto

4. Bill of Materials (BOM).....	80
--	-----------

PRESUPUESTO	83
--------------------------	-----------

Prefacio

Estamos en un mundo en donde tener una idea innovadora es difícil, especialmente si se intenta crear de la nada. Estamos rodeados de empresas ya muy asentadas en sus mercados, empresas con grandes recursos económicos y humanos, a las que difícilmente se puede hacer frente desde cero. Los nichos de mercado son cada vez más escasos, y si surgen, a la mínima son ocupados por quien más recursos tiene.

En ese mismo mundo se nos plantea la alternativa de la ingeniería inversa. Esta nos plantea la pregunta de ¿Por qué no?, ¿Por qué no un ingeniero puede seguir un camino diferente? Es decir, no intentar empezar desde cero, si no tomar algo del producto ya acabado, analizarlo e intentar mejorarlo, abriendo de este modo un hueco en ese mercado tan exigente.

(Esta página se deja en blanco a propósito)

MEMORIA

1. Objeto

En este TFG se realiza un trabajo de ingeniería inversa, aplicando en ello las técnicas y conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería. Un trabajo de ingeniería inversa se divide en dos partes, la de análisis de un producto de mercado y la de desarrollo del nuevo producto. En esta última intervienen aspectos tales como el saber innovar o el saber aportar algo útil.

Por consideración del contratista de que la parte de análisis del producto va a aportar más conocimiento técnico, este texto dará más protagonismo a la parte del análisis del producto, dejando el desarrollo de un nuevo dispositivo para trabajos futuros.

Es objeto del proyecto el aportar documentación técnica sobre tensiómetros digitales a la empresa contratista, para que ella misma pueda construir su propio tensiómetro. Se desarrolla el análisis de un tensiómetro digital de muñeca, en concreto el modelo "BS500" de la marca PIC Solution, fabricante Artsana, Grandate, Italia. El análisis abarca desde el nivel de componente electrónico/mecánico, hasta el análisis de su mercado actual como equipo electrónico, para finalizar con algunas propuestas de un posible nuevo dispositivo que pueda mejorar el del propio análisis.

2. Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes

En este apartado se hace una breve explicación de la ingeniería inversa y un planteamiento de objetivos del proyecto. Por otro lado, se realiza una explicación de los diferentes métodos de toma de tensión arterial, una descripción del método usado en la automatización del proceso de toma de tensión arterial y una justificación de cómo se llega a la automatización de dicho método.

2.1 La ingeniería inversa

La ingeniería inversa se podría definir como un método cuyos pasos se siguen a la inversa que en la ingeniería tradicional. Mientras en la ingeniería tradicional el desarrollo de un nuevo producto se realiza partiendo de una idea de producto, y desarrollando apartado a apartado de los que se componga, hasta llegar al producto final. La ingeniería inversa sin embargo escoge como modelo un producto ya existente en el mercado, el cual es el resultado del largo trabajo de ingeniería de desarrollo de alguna empresa puntera. Este producto se analiza y se estudia parte a parte, obteniendo así un alto conocimiento de este, hasta tal nivel como para poder realizar uno propio basado en el analizado. Este nuevo producto aplicara los conocimientos adquiridos de tal forma que deba mantener las fortalezas del analizado a la vez que incorporara cambios que suplan las debilidades.

2.2 Objetivos

El caso que nos abarca en este análisis es el de un tensiómetro digital con medición sobre la muñeca. El primer objetivo y principal de este trabajo es el de un análisis exhaustivo del dispositivo con el propósito de tener un conocimiento alto de la funcionalidad y funcionamiento de este mismo.

Este primer objetivo nos permitirá realizar el segundo paso, el segundo paso consistirá en tras tener un conocimiento exhaustivo del producto hacer un análisis de sus fortalezas y debilidades, incluyendo un análisis de usabilidad enfocado al cliente.

Estos dos pasos anteriores llevaran al último objetivo, el tercer paso, el cual necesita de los dos anteriores , pues va a consistir, en que una vez se tiene en el primer paso ese conocimiento exhaustivo del dispositivo y ese análisis de fortalezas y debilidades del segundo paso, se pasara al diseño de un nuevo dispositivo basado en el analizado y que como se ha comentado supla sus debilidades, mantenga sus fortalezas y aproveche los nichos de necesidades del usuario.

2.3 Métodos de tomas de tensión arterial

El método manual realizado por un médico Fig. 1, basado en los sonidos de Korotkoff y en auscultarlos por parte del médico a través del estetoscopio, básicamente consiste en que en primer lugar se infla un manguito colocado sobre el brazo, hasta una presión por encima de la sistólica esperada, de forma que se obstruya la arteria por la presión del manguito sobre esta, una vez aquí, se abre una válvula que descarga presión poco a poco, a su vez el medico auscultaba, cuando detectaba el primer sonido entonces la presión que marcaba el manómetro del brazalete en ese instante se correspondía con la presión sistólica, se seguía escuchando los latidos a la vez que se seguía descargando presión en el manguito, hasta que se dejaban de escuchar y en ese momento la presión marcada por el manómetro del brazalete se correspondía con la presión diastólica.



Figura 1 Toma de presión sanguínea de forma manual.[1]

Como el anterior método era necesario personal médico, se buscó la forma de automatizar la toma de tensión arterial, de forma que cualquier persona pudiera realizar la toma de esta sin necesidad de personal médico. El primer tensiómetro digital fue desarrollado por la marca Japonesa Panasonic en 1993, para la automatización de la toma de tensión arterial se apoyaría en un método sistemático conocido como método oscilométrico, es un método que se basa en observar las oscilaciones de la presión entre manguito y arteria, ya no se basa en la escucha de los sonidos de Korotkoff. El método oscilométrico para la toma de tensión arterial, es un método sistemático que sigue unos patrones estándar, por ello tuvo su éxito al incorporarse a dispositivos electrónicos.

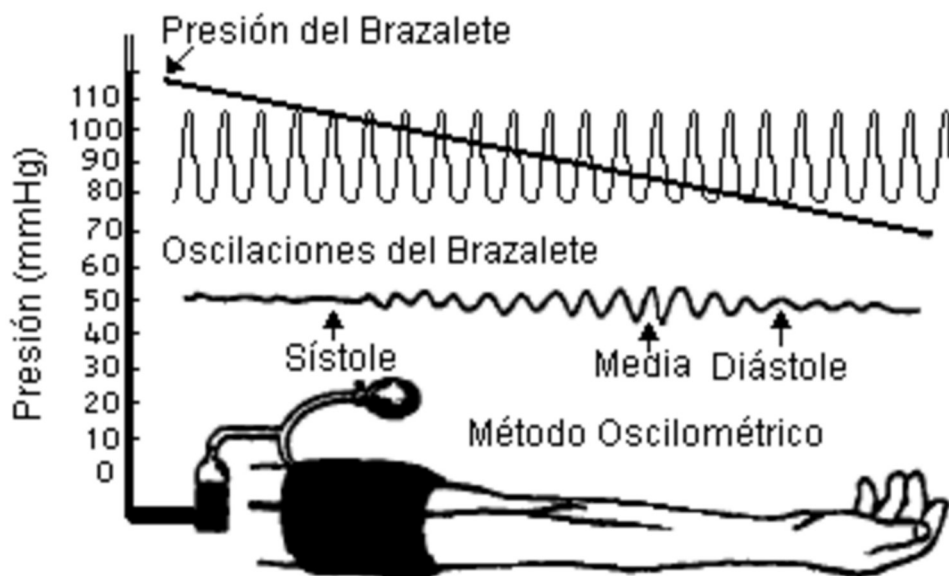


Figura 2 Gráfica de comparación entre presión del brazalete y la presión sanguínea.[2]

En la Fig. 2 se puede ver como varía la presión sanguínea conforme al ritmo cardiaco de los latidos del corazón, esta oscilación se verá contrapuesta contra la presión que ejerce el manguito sobre la arteria (Presión brazalete), creando una oscilación de la presión relativa entre ambos (Oscilaciones del brazalete) las cuales son medidas por un sensor de presión.

Conforme vaya cayendo la presión en el manguito, la presión relativa vendrá representada por lo mostrado en la Fig.3

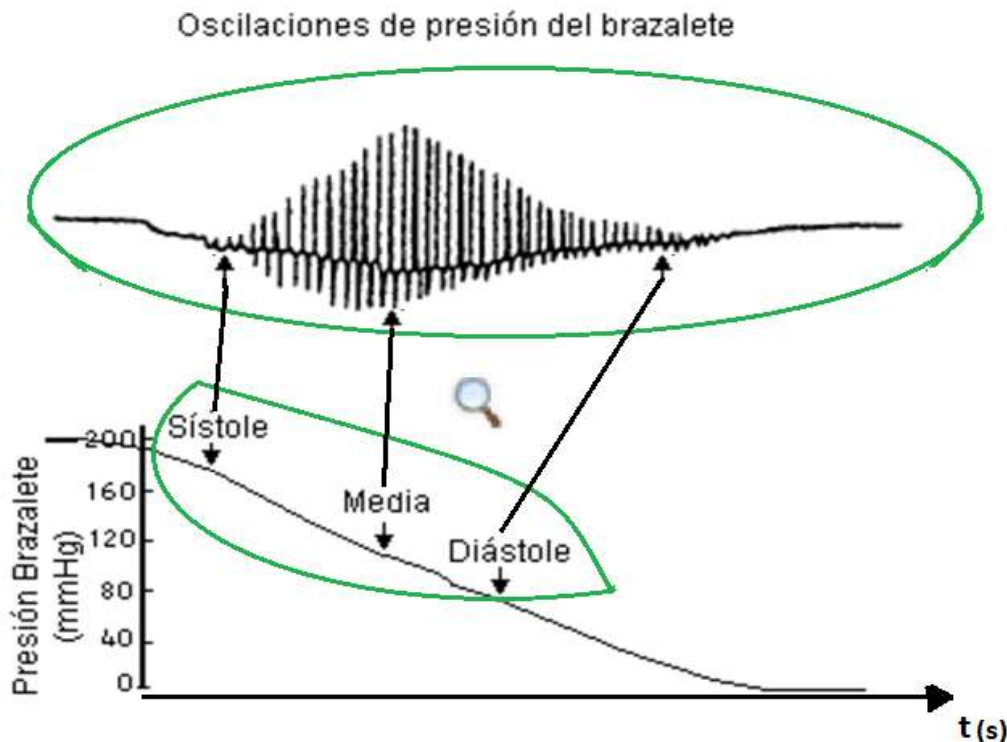


Figura 3 Gráfica de variación de la presión del brazalete respecto del tiempo con ampliación de la zona de interés. [3]

En la Fig. 3 se tiene ampliada la zona en la que se genera una presión relativa entre brazalete y arteria, en esta zona como se puede observar se produce unas oscilaciones de dicha presión relativa con unas características particulares, estas características son las que usa el método oscilo métrico para hallar la presión sanguínea Sistólica y Diastólica.

Aquí se tendrá la toma de la medida del método oscilo métrico, una vez se tiene capturada estas oscilaciones, cada fabricante tendrá un método diferente para hallar la presión sistólica y diastólica, pero lo anterior nombrado coincide en mayor o menor medida con todos ellos.

Principalmente este método, una vez tenido las medidas de oscilación, se basa el paso siguiente en los estudios de Posey y Geddes que demostraron por medio de pruebas que existía una relación entre la parte de la onda donde la amplitud era máxima con la amplitud de la sistólica y la diastólica, siendo estas relaciones de Amplitud sistólica/Amplitud máxima en torno a 0.57 a 0.45, mientras que la Amplitud diastólica/Amplitud máxima es del 0.82 al 0.74.

El algoritmo que dictamine la presión sistólica y diastólica en este caso solo tiene que detectar el momento en que la variación de presión tiene mayor amplitud, utilizar las relaciones con las presiones sistólica y diastólica demostrada por Posey y Geddes (1969), y encontrar así los valores numéricos de estas mismas.

Estas medidas conllevaban un error, que más adelante Ramsey, Yederman y Ream (1979) solucionarían, por medio de estudio hallaron una corrección estadística que relacionaba la medida de la presión media que se toma en el manguito (MAP) con la que corresponde realmente, esta relación encontrada fue:

$$D = 0.822 \cdot P + 7.48$$

Donde P es la medida de presión real tomada por el tensiómetro y D es la medida indirecta de presión basada en la corrección estadística de P.

El último avance al respecto de esto llegaría de la mano de Friesen y Litcher (1981), los cuales llevaron un paso más allá el trabajo de Ramsey, Yederman y Ream, haciendo dos fórmulas estadísticas, una para cada una de las presiones sanguíneas, para la relación con la sistólica se tiene:

$$D = 0.94 \cdot P + 3.53$$

Y para la relación con la diastólica:

$$D = 0.98 \cdot P + 1.70$$

Lo explicado es la base en la que se apoya el funcionamiento de la gran mayoría de tensiómetros digitales del mercado, nombrar que luego cada fabricante tendrá su parte secreta de cómo él lo aplica a sus modelos con mayor o menor acierto.

Hay otros métodos como puede ser la tonometría, pero no han sido tan productivos como el método oscilo métrico, también se han hecho avances intentando la medida con fotoplethismografía para medir el volumen de sangre en la arteria, como complemento para mejorar la medida de la tensión arterial por medio de oscilometría, así como que se han hecho aportaciones matemáticas de diferentes relaciones físicas para lograr una mayor exactitud en el método oscilo métrico, hay modelos de tensiómetros que hacen la medida en la fase de inflado sin necesitar un desinflado progresivo, sino que ya hacen un inflado progresivo y toman las medidas en este mismo, haciendo así un ahorro de tiempo.

Hay diferentes avances, pero hoy en día aún sigue siendo necesario el uso de un manguito que ejerza presión sobre la arteria, así como que el método oscilo métrico es el de mayor éxito y uso, y su base es sobre la que se han apoyado la mayoría de los métodos que se han desarrollado tras él.

2.4 ¿Por qué la automatización del método?

La presión arterial es una medida fisiológica de un ser vivo, la cual guarda su importancia en la información que aporta al especialista sobre el estado de salud del paciente. La información que aporta junto al logro de poder ser tomada por medios no invasivos, la ha llevado a ser su monitorización imprescindible en muchos ámbitos, se encuentra desde para controles rutinarios hasta quirófanos.

Sabiendo de la importancia de la medida de presión arterial, su automatización trajo con ello múltiples ventajas, permitió una estandarización que podía ser controlada por la institución médica, hasta ahora había sido a criterio del médico que la realizaba, por el contrario, un método automatizado deja de ser subjetivo y se le puede exigir una exactitud y precisión anteriormente acordada, con un estándar aplicable a todo dispositivo del mercado.

Añadió el ya no necesitar un médico para su realización, por lo que se pudo llevar a cabo de forma doméstica por cualquier persona, en el quirófano la automatización permitió una monitorización constante del ritmo cardíaco y presión arterial sin la necesidad de tener a un médico allí para encargarse solo de ello.

3. Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada

En este apartado se realiza un análisis sobre los diferentes modelos de tensiómetros, así como de las últimas tecnologías de su ámbito. Tiene el propósito de visualizar las alternativas de tensiómetro existentes en el mercado. También se realiza una descripción del modelo elegido para este trabajo, así como de la justificación de su elección.

3.1 Tipos de tensiómetro

3.1.1 Modelo manual

El primer tipo de tensiómetro Fig. 4 se trataba de un dispositivo manual, era de uso médico exclusivamente, había que tener unos conocimientos concretos para poder usarse, era un método no invasivo y para poder medir la tensión disponía de: una perita para bombear aire al brazalete, de un manómetro para detectar la presión y de un estetoscopio con el cual el médico debía auscultar el ritmo cardiaco para tomar las medidas de tensión sistólica y diastólica, así como de ritmo cardiaco.



Figura 4 Tensiómetro manual. [4]

3.1.2 Modelo Digital con brazalete

El próximo avance tecnológico sería el Tensiómetro Digital con brazalete Fig. 5, es el avance del manual, trajo la automatización del proceso de adquisición de las tensiones, pudiendo así prescindir del médico para la toma de tensión, el proceso de hinchado del brazalete fue automatizado por medio de una bomba de aire accionada por un motor eléctrico y todo el sistema de automatización es controlado por medio de un microprocesador, el cual incluye el algoritmo basado en el método oscilo métrico para hallar las presiones, además también se incorpora una pantalla LCD donde se mostraban los datos de estas.



Figura 5 Tensiómetro Digital con brazalete. [5]

3.1.3 Modelo Digital de muñeca

El tensiómetro Digital de muñeca Fig. 6, mantuvo el nivel de tecnología del tensiómetro Digital de brazalete, pero ahora se realizaría la medida de tensión en la muñeca, respecto al anterior fue un avance orientado a reducir el tamaño, incorporando en el mismo aparato la bolsa hinchable y el dispositivo electrónico, reduciendo así su tamaño significativamente.



Figura 6 Tensiómetro digital de muñeca. [6]

3.2 Avances tecnológicos en el tensiómetro

Otros avances pueden ser los tecnológicos, el mercado actual de tensiómetro ha evolucionado haciéndose eco de las nuevas tecnologías como la de los nuevos Smartphone, teniendo tensiómetros de muñeca que pueden compartir sus mediciones y datos con una aplicación móvil Fig. 7, en donde el cliente puede disponer de un historial y una gestión de las mediciones.



Figura 7 Tensiómetro Digital con conexión Bluetooth a Smartphone. [7]

3.3 El Modelo

El modelo del que se va a basar este trabajo es un Tensiómetro Digital del tipo de muñeca, en concreto es el modelo “BS500” de la marca PIC Solution, fabricante Artzana, Grandate, Italia Fig. 8, sus especificaciones son las siguientes, tiene unas dimensiones de 85x75x30 mm, un peso de 115 gramos, dispone de una alimentación por parte de 2 Pilas AAA de 1.5V y tiene una pantalla LCD de 1.2 pulgadas.



Figura 8 Vista general del modelo a analizar en esta memoria.

Se elige este modelo para el trabajo a realizar, por tratarse de un modelo típico de lo que es el rango medio de gama de los tensiómetros digitales que hay en el mercado, siendo así una buena referencia para el análisis.

4. Descripción detallada de la solución adoptada

En este apartado se especifica los instrumentos y materiales necesarios para realizar correctamente el proyecto, también se explica cuáles han sido los métodos de trabajo seguidos, así como una descripción estos.

4.1 Métodos

El primer paso de todo Teardown debe de ser el reconocer el objetivo y organizar la estrategia para lograrlo. La estrategia, su orden y métodos utilizados son como sigue:

1. Desmontar el dispositivo de forma externa e interna, para ello se hará uso de un kit de destornilladores de precisión, Fig. 9.



Figura 9 Conjunto de destornilladores de precisión.

2. Una vez abierta la carcasa, se procede a una visualización general de cómo está estructurado por dentro el dispositivo, un desmontaje de los componentes funcionales del dispositivo, un análisis de estos. Será necesaria una cámara de fotografiar Fig. 10 para documentar el proceso.



Figura 10 Cámara de fotos que se utilizara en el reportaje gráfico.

3. Un desmontaje de la parte electrónica y un análisis de toda la circuitería, componentes y averiguación de su funcionamiento. Para documentar esta parte se hará uso de un microscopio USB Fig. 11 para fotografiar los componentes electrónicos.



Figura 11 Microscopio USB para reportaje gráfico del circuito electrónico.

4. En cuanto al análisis de la circuitería se utilizará un multímetro Fig. 12 y una lupa Fig. 12 para ver cómo están conectados cada uno de los componentes.

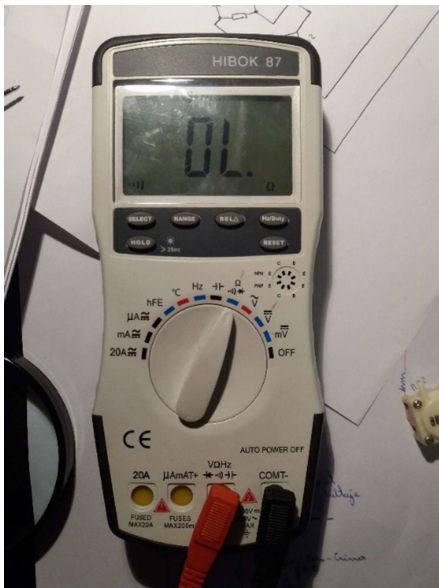


Figura 12 Multímetro y lupa.

5. Para acabar se realiza un análisis estructural y estético de la carcasa externa del Tensiómetro.

La estructuración de los apartados donde se desarrolle todo lo anterior incluirá una parte de texto y otra parte fotográfica, de forma que esta última aporta al texto una foto real para que el lector tenga más información y logre una mejor comprensión de lo que se le intenta explicar.

Se incluirá también dibujos tipo croquis del desmontaje con numeración y nombre de cada pieza, estos dibujos más propios de lo que se puede esperar por ejemplo en un documento de patente, tienen el objetivo de aportar a este TFG lo mismo que aportan en un documento de patente, el darle al lector un elemento gráfico, de forma que este tenga una guía en donde pueda encontrar la pieza a la que se refiere el texto y su localización en el proceso.

Con todo lo anterior se busca dar lo que cabe esperar de un Teardown, pero con una mejor documentación de este, mayor organización y rigurosidad técnica, de forma que el aporte al lector sea tan profesional como lo que se espera en un trabajo de ingeniería.

4.2 *Feedback* sobre cómo afrontar un Teardown

Este apartado está basado en la experiencia final que este trabajo ha aportado al autor, tiene la finalidad de aportar al lector dicha experiencia en forma de “*Tips*” que puedan serle útiles si algún día él se embarca en su propio proyecto. Este apartado merece la subdivisión en dos, un subapartado sobre la parte Eléctrica/Electrónica y otro subapartado sobre parte Mecánica/Estructural, pues cada una tiene sus características particulares.

4.2.1 Parte Eléctrica/Electrónica

Cuando uno abre por primera vez un dispositivo que contiene su parte eléctrica/electrónica es normal encontrarse con muchos cables y diferentes PCB. Demasiada información y piezas del puzle que juntar como para poder aclararse, es por ello por lo que la mejor táctica es la de divide y vencerás, así como ser metódico.

En cuanto al proceso que se siguió en este trabajo fue siguiendo los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se tomó nota de cada uno de los integrados de los que se tenga acceso a su referencia, para después buscar sus hojas de datos, así como el hacerse varias listas, intentado agruparlos por tipo, zona o función, lo que más interese, pero buscar agruparlos es interesante y facilita labores futuras. En la Fig.13 se puede ver un ejemplo de ello.

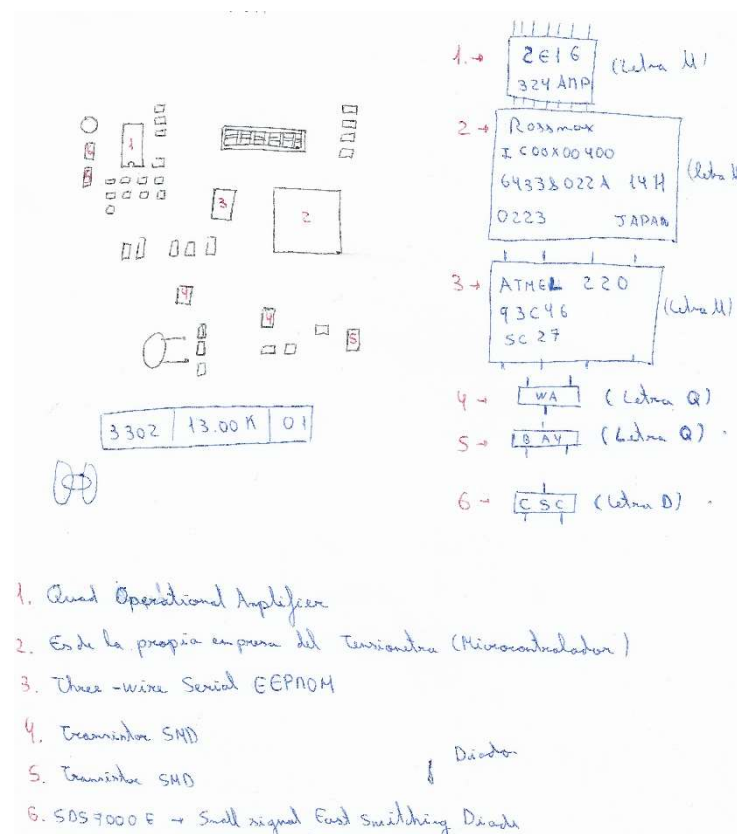


Figura 13 Ejemplo de croquis de los componentes.

- Una vez se tiene una guía donde ir a buscar el integrado en cuestión, así como una hoja de datos en donde consultar características que se vaya a necesitar. Ahora se debería coger todos los componentes pasivos y activos, ya sean resistencias, diodos, transistores, condensadores, bobinas, etc.... De normal vendrán numerados en la PCB, se deberá hacer un *Bill of materials* donde se tendrá a mano: la numeración del componente o *part reference* que indica el nombre que nosotros le adjudicamos dentro del análisis, el tipo que indicará de qué tipo de componente se trata y el valor o *part value* que indica el valor de dicho componente en caso de que tenga uno.
- El tercer paso empezará a interconectar los distintos componentes, es obvio que cualquier PCB tendrá bastantes pistas de conexión, por ello será necesario subdividir por zonas, agrupando esta vez por zonas funcionales, ya que del punto anterior se disponen de la información sobre que es cada integrado, se deberá hacer una suposición de que misión tiene en la PCB y escogerse con ese criterio diferentes zonas.
- Una vez se tiene las zonas, toca armarse de paciencia, con un multímetro midiendo continuidad y con buen ojo, se ira siguiendo las pistas, conformando así las conexiones y realizándose croquis tipo al de la Fig. 14.

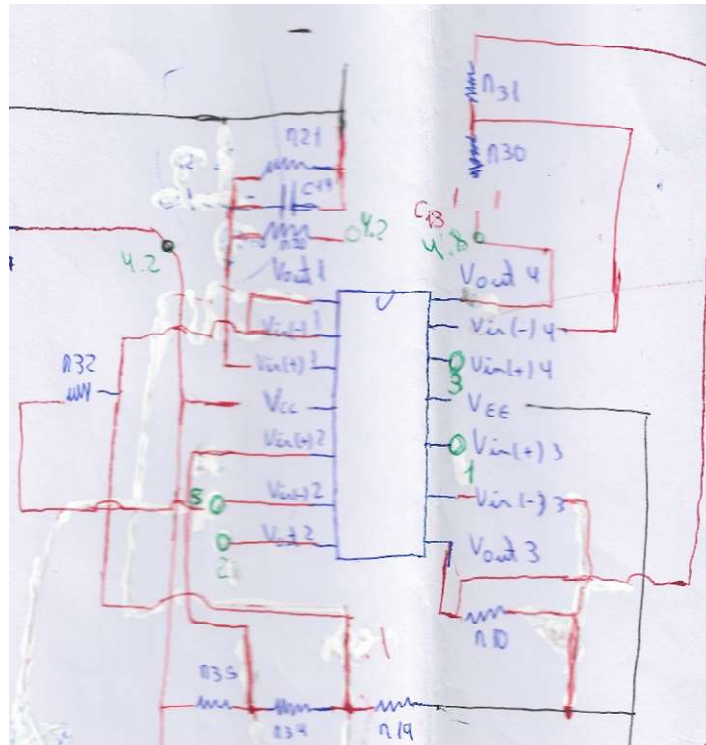


Figura 14 Ejemplo de croquis de conexión de un componente.

5. Una vez se tiene el croquis, se pasará a realizar un estudio más exhaustivo de las partes que se vea que lo necesitan y/o son más interesantes a la hora de conocer y entender cómo funciona el dispositivo. Esta parte deberá aportar sentido al *Teardown* y deberá ser útil para la posibilidad de realizar ingeniería inversa, pues debería aportar información de gran utilidad ya que este es el análisis de las capas más internas del dispositivo. Cabe nombrar que en este trabajo ante todo fue el estudio del circuito del sensor de Presión el que más información aportó.
6. En los casos que sea necesario, habrá partes del circuito que, una vez entendido su funcionamiento electrónico, no bastara con ello para comprender bien su tarea y habrá que informarse en búsqueda del porqué, en este estudio hubo que buscar metodología sobre “la toma de presión arterial por medio de un tensiómetro digital”, para poder tener una mayor comprensión del porqué del que el circuito electrónico fuese como es. También puede haber motivos de diseño ya sea por espacio, usabilidad del dispositivo, incluso estética, o más por temas de marketing o costes, todo tendrá su porqué y habrá que acercarse lo más posible a la respuesta verdadera si se quiere hacer con posterioridad ingeniería inversa.
7. En cuanto a la parte eléctrica depende del dispositivo puede entrañar mayor o menor dificultad en su análisis, en cuanto al dispositivo que se estudia en este trabajo, la parte eléctrica es mucho más simple, solo se debió tener en cuenta: la alimentación, la conexión de elementos como la electroválvula y el motor eléctrico que mueve la bomba de aire.

4.2.2 Parte Mecánica/Estructural

Afrontar la parte mecánica/estructural es incluso más metódica que la anterior, sobre todo si es requisito del Teardown el ser “no invasivo”, quiere decir que el dispositivo que se está estudiando pueda volver a ser montado y funcionar, ya sea por el coste de este o por cualquier otro motivo. Es obvio decir que a mayor complejidad mecánica más metódico se deberá ser.

1. El primer paso sería estudiar cómo se va a afrontar el despiece y con ello que herramientas van a ser necesarias, para disponer de ellas. Ser organizado, se necesitarán distintos recipientes donde ir subdividiendo los componentes que se van desmontando para su almacenaje. Como se puede observar en la Fig. 15 donde se ve el almacenaje de la tornillería.



Figura 15 Ejemplo de almacenaje de la tornillería.

2. Cuando se desmonta algo lo mejor es pensar dos veces por cada una que se hace algo, un ejemplo es un tornillo que no sale, pensar pues quizás no se está utilizando el destornillador adecuado, quizás no se está ejerciendo la fuerza de la forma correcta o quizás no se está teniendo en cuenta el hecho de que haya que aflojar alguna otra parte antes de quitar ese tornillo.
3. Antiguamente en los despieces se ejercía de memoria fotográfica y apuntes, hoy en día el tener dispositivos que hacen fotos al alcance de todos, como un Smartphone facilita la labor. Hacer fotos es indispensable, con ello, algún apunte y el organizar tornillos/piezas de forma adecuada no habrá problema en regresar el dispositivo a su estado original. No desmontar creyendo que uno va a saber montarlo después, no suele cumplirse, ser metódico, hacer fotos y a la hora de montar ante cualquier duda se tendrá donde consultar. En mecánica todo tiene su posición, orden de montaje y lugar, si no se sigue se puede desde perder tiempo por montar algo mal, que toca desmontar con posterioridad por ser un obstáculo a la hora de montar otra pieza, ya que no se montó en el orden correcto, hasta de montar algo en otra posición/orientación haciendo que el dispositivo al ponerse en funcionamiento produzca una rotura y quede inservible.

4. Ser ordenado evita muchos problemas y más aún cuando se llevan diferentes desmontajes o diferentes partes desmontadas, guardar las piezas desmontadas de forma que se evite su pérdida y/o su deterioro, este punto a menor tamaño de la tornillería y piezas mayor importancia tiene, por ejemplo, en el desmontaje de un reloj de muñeca se debería ser muy exhaustivo con este punto. En la Fig.16 se puede ver un ejemplo de un almacenaje correcto.



Figura 16 Ejemplo de almacenaje del desmontaje del tensiómetro.

5. Justificación detallada de los elementos o componentes de la solución adoptada (cálculo y dimensiones)

Para el análisis se opta por una metodología de desarrollo, propia del tutor y autor, desarrollada a partir del fruto del aprendizaje obtenido durante el desarrollo del propio TFG.

Esta metodología recoge mucho del Teardown cuya traducción al castellano es “demoler”, es el seudónimo que se le ha escogido por parte de un público mayormente amateur al acto de desmontar por completo un dispositivo con intención de aprender de ello. Este método carente de una metodología estándar para su desarrollo y con una finalidad de ser mostrado en plataformas tales como YouTube, es la base escogida. La metodología aplicara un Teardown con una mayor rigurosidad propia de la ingeniería.

5.1 Teardown

La parte de teardown incluirá el análisis, desmontaje y explicación de la funcionalidad de los componentes más importantes del tensiómetro digital, para de esta forma tener una comprensión del funcionamiento de este. En la Fig.17 se tiene un diagrama de bloques general del dispositivo en donde se muestran los componentes más importantes en el lugar que ocupan en la funcionalidad como conjunto en el tensiómetro.

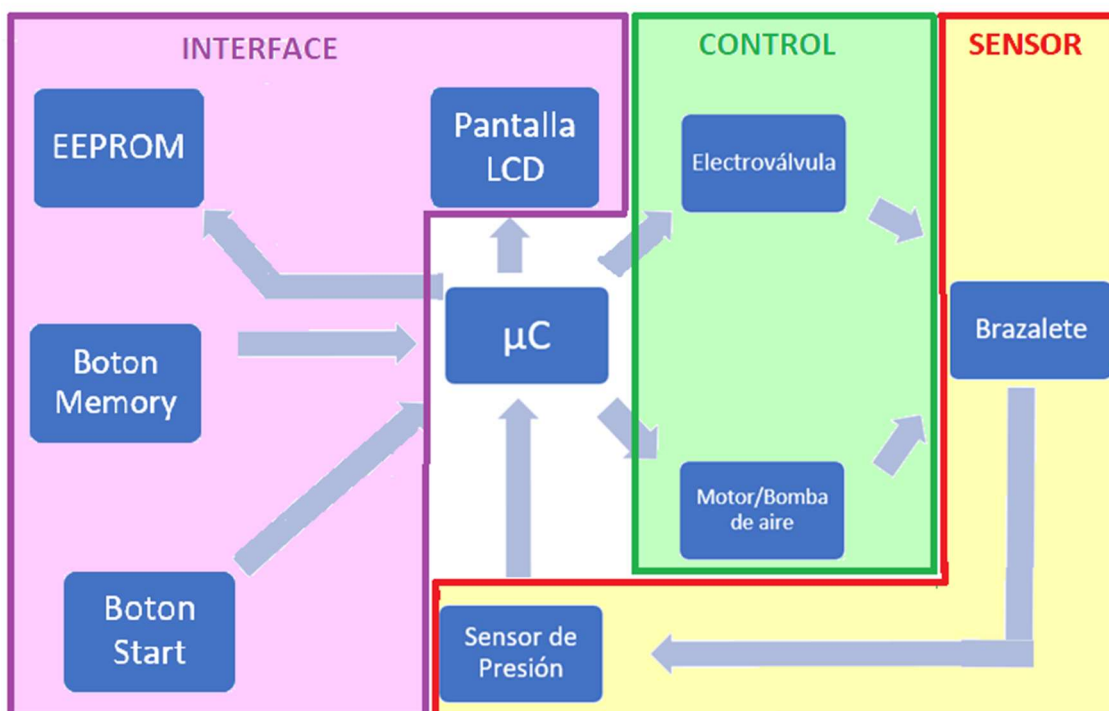


Figura 17. Diagrama de bloques de la funcionalidad del tensiómetro digital.

5.1.1 Análisis componentes electrónicos

En este apartado se hará un análisis en profundidad de la parte electrónica de la que dispone el Tensiómetro Digital.

PCB de Potencia y Circuito de Acondicionamiento del sensor de presión

Este apartado se centrará en el análisis de la PCB en la que se encuentra la parte de alimentación y control, tanto del motor que mueve la bomba de aire como de la electroválvula, también se encuentra en ella el circuito de acondicionamiento de la señal del sensor de presión y este mismo. A partir de ahora se referirá a ella como PCB de potencia para diferenciarla de la PCB de control, que será la PCB en donde va integrado el microcontrolador y el circuito de control de la LCD y la botonera del tensiómetro digital.

En la Fig.18 se puede ver una imagen general de la PCB, los cables blanco y rojo de la izquierda corresponden a la alimentación de la electroválvula, los de la parte derecha inferior negro y rojo corresponden a la alimentación del motor de la bomba de aire, los de la parte derecha superior es la alimentación que viene directamente de las pilas del dispositivo. En A con la ref. FPN-07PG se tiene el sensor de presión, en B el integrado de 4 AO para su acondicionamiento, en C se tiene los distintos conjuntos de resistencias y condensadores del circuito de acondicionamiento del sensor de presión, en D la conexión hembra que conectaría con la macho de la PCB de control.

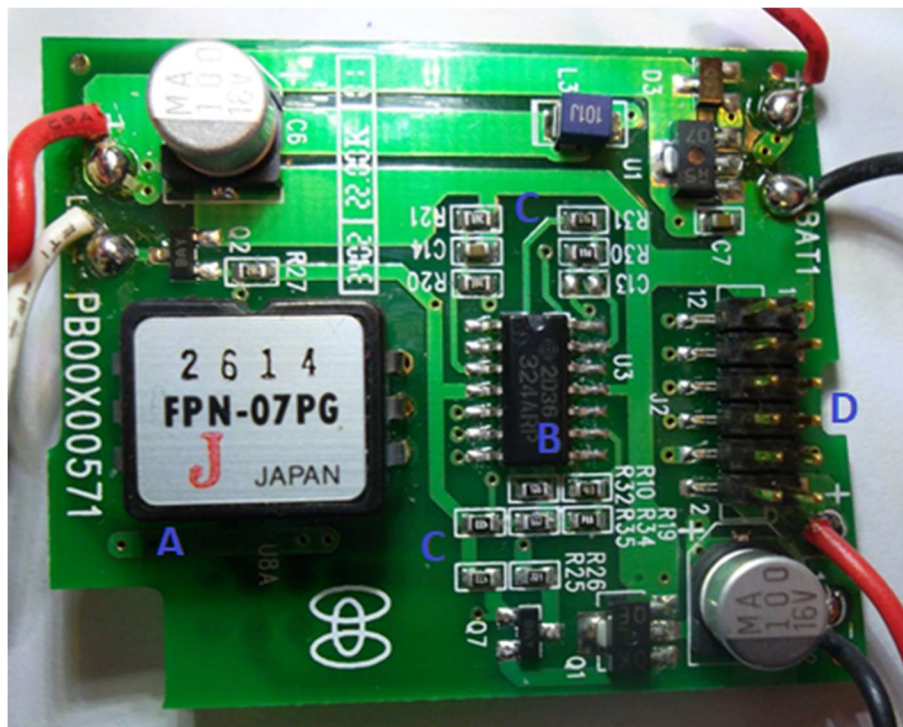
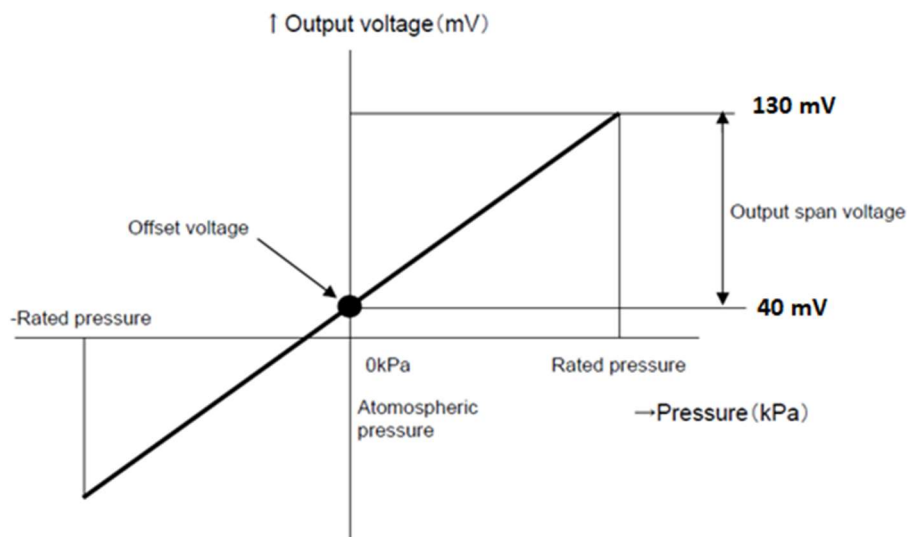


Figura 18 PCB de potencia, sensor de presión y su acondicionamiento.

-Características del sensor de presión FPN-07PG:

Antes de analizar la parte electrónica, se profundizará en las características del sensor de presión, para así tener datos que ayuden a la comprensión de apartados posteriores, para ello del *Datasheet* se tienen los siguientes datos:

En la Fig.19 se puede observar la gráfica que relaciona presión y tensión diferencial de salida del sensor, esta grafica junto a sus valores aportados por el *Datasheet* del sensor dan la información necesaria, pero se debe primero pasar el rango y unidades de la gráfica a las medidas que se tiene en la aplicación que se está estudiando, es por ello por lo que como es un Tensiómetro digital se pasará el rango de presión que está en kPa a mmHg, solo se cogerá la parte de presiones positivas de la gráfica pues en esta aplicación no existen en la medida las presiones relativas negativas.



Electric characteristics (Drive Current 1.5mA constant ,ambient temperature Ta=25deg.C)		
Output span voltage	40 to 130 (at 0kPa to rated pressure)	mV
Offset voltage	+/-25 (at 0kPa)	mV
Bridge resistance	4000 to 6000	Ω

Figura 19 Función de transferencia del sensor de presión que aporta su propio Datasheet. [8]

Se sabe que $1\text{kPa}=7.5\text{ mmHg}$ y se propone que el rango de medida máximo de un tensiómetro digital deba estar en torno a los 200 mmHg , pues ya es una tensión arterial lo suficientemente alta para un paciente, es por ello por lo que obtenemos lo dado en la Fig.20

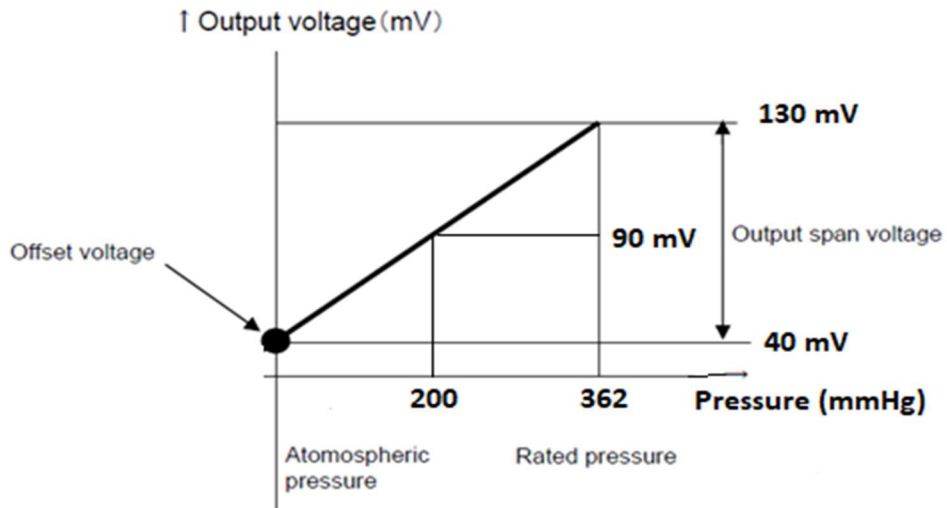


Figura 20 Función de transferencia del sensor de presión adaptados sus rangos a la aplicación en cuestión. [9]

En la Fig.20 se tiene la gráfica adaptada a las unidades de medida y rangos del dispositivo del estudio, de ella se obtiene la siguiente ecuación de la función de transferencia:

$$Vd_{(P)} = \frac{130-40}{362} \cdot P + 40 \rightarrow Vd_{(P)} = 0.2486 \cdot P + 40 \text{ (mV)} \quad \text{Ec.1}$$

De donde se obtiene el rango de medidas de la tensión diferencial de salida del puente sensor que varía entre 90 mV y 40 mV en función del rango de presiones que varía entre 200 mmHg y 0 mmHg , respectivamente.

-Circuito del sensor de presión:

Centrando el análisis en lo que corresponde al circuito de acondicionamiento del sensor de presión, se procede a aislar lo que pertenece a él. En la Fig.21 se tendría la imagen representativa de la forma en estado físico en la PCB, que corresponde al sensor de presión y su circuito de acondicionamiento. Este hecho, sería lo primero que uno se encuentra al realizar el *TearDown* y se empieza a dividir la PCB en zonas a analizar por separado, siendo esta la que corresponde a la parte del Sensor de presión y el integrado de 4 AO para acondicionarlo.

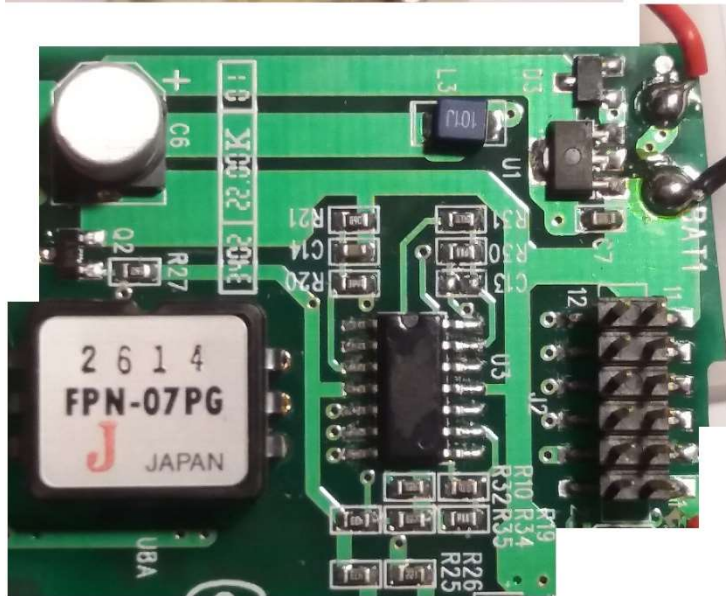


Figura 21 Zona de la PCB de potencia que corresponde al sensor de presión y su acondicionamiento.

En la imagen se tiene una parte física que no aclara mucho y que se debe analizar siguiendo una por una las pistas de conexión hasta llegar a un circuito.

En primer lugar, se interconectan los componentes aislándolos de lo que no forma parte de la zona a estudiar y que es de interés, a la vez que se le empieza a dar sentido al conexionado de las pistas que se ha resuelto. Obteniéndose como resultado la Fig.22.

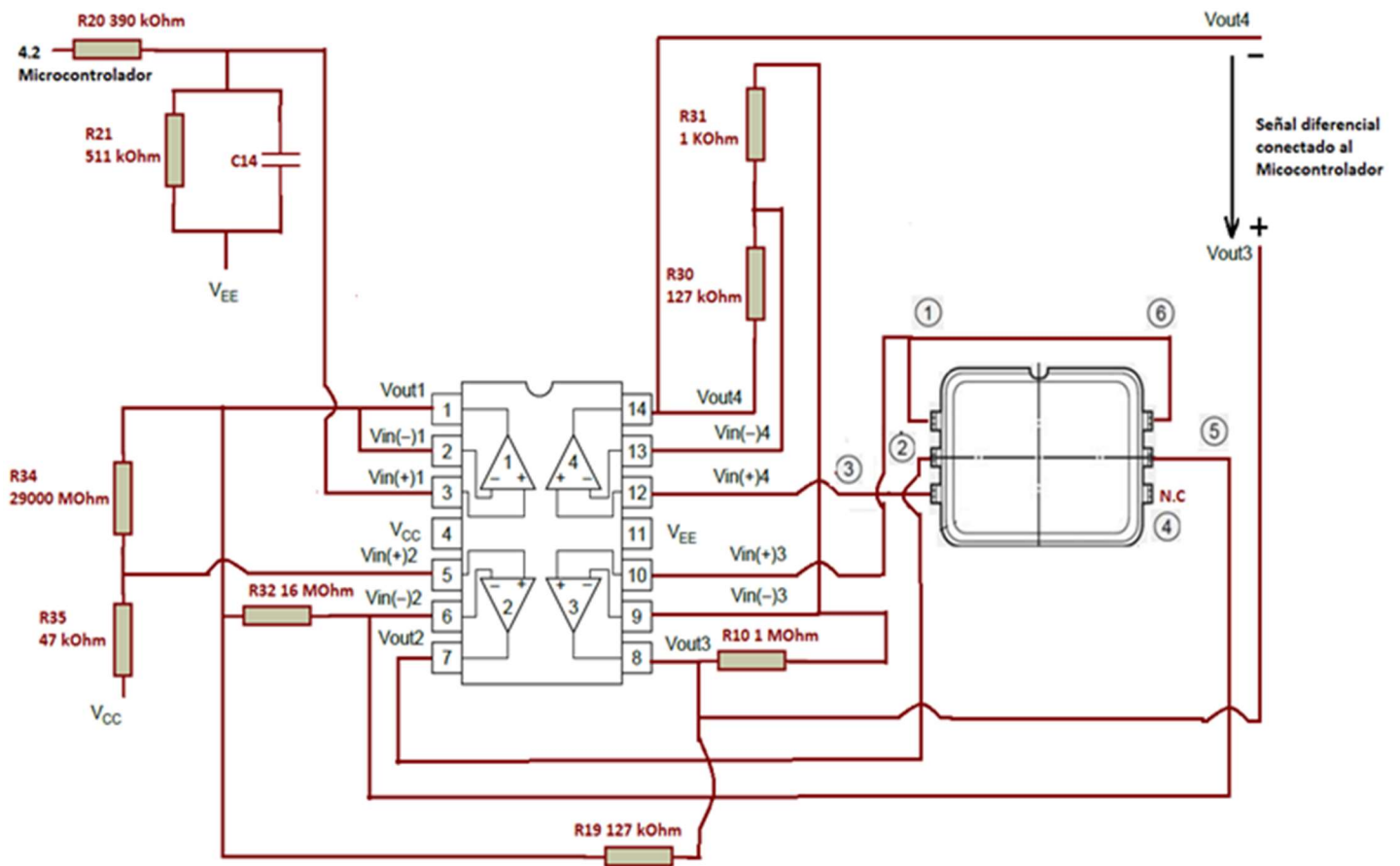


Figura 22 Esquema del circuito obtenido del estudio físico de las pistas y conexiones de los componentes en la PCB.

Este primer paso como se puede ver en la Fig.22, empieza a ser aclaratorio, al menos del hecho de saber cómo están conectados los distintos componentes y de donde o hacia donde van las distintas señales, así como su ponderación por medio de las distintas resistencias. Se puede ver dónde llega la alimentación de la pila (VCC) y donde está su terminal negativo o de referencia (VEE), que terminales van o vienen del microcontrolador, todos estos hechos van dando información para resolver lo que se tiene entre manos.

En este punto se realiza una parada, para desgranar alguna parte de más interés, en primer lugar, se profundiza en las conexiones del sensor y en segundo se profundiza en la señal 4.2 que procede del microcontrolador.

En cuanto a profundizar analizando el sensor de presión, se tiene en la imagen de la Fig.23 como en el interior del sensor de presión hay un puente de Wheatstone formado por 4 sensores resistivos, las conexiones aclaran que el AO 2 está funcionando como una fuente de corriente constante sobre el puente resistivo, para que la señal sea lineal.

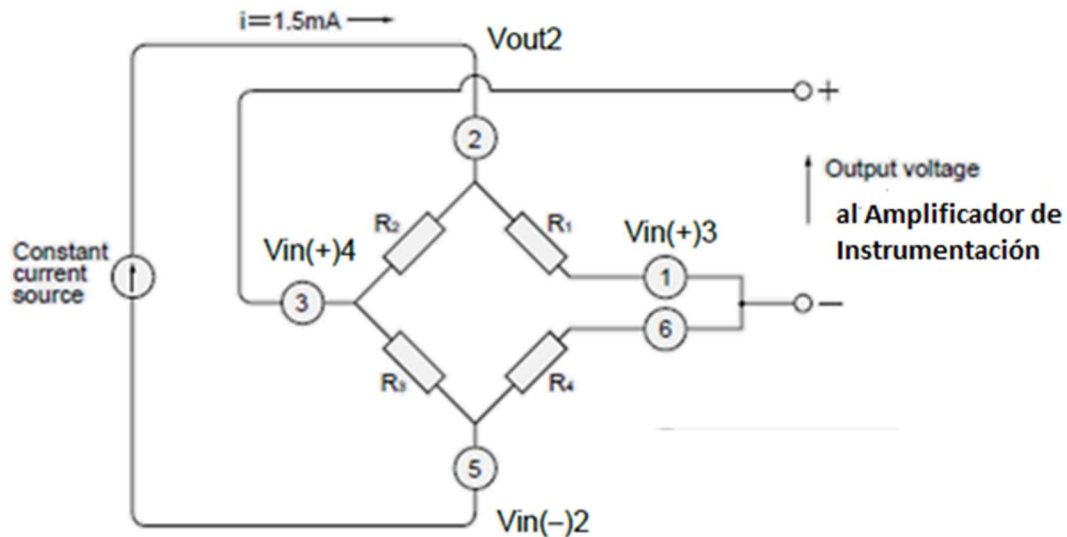


Figura 23 Esquema del circuito del puente resistivo que forma el sensor de presión. [10]

Por las conexiones con los AO y el esquema de la salida de tensión del puente resistivo, se ve que el AO 4 recibirá en su terminal no inversor la señal V_{d+} del puente resistivo, mientras que el AO 3 recibirá en su terminal no inversor la señal V_{d-} del puente resistivo. Este detalle es indicativo de que tanto el AO 3 como el AO 4 van a estar involucrados en la estructura del Amplificador de instrumentación encargado de captar la Tensión diferencial del puente resistivo.

En cuanto a la señal 4.2 que viene del microcontrolador, si se aísla su circuito, podemos verlo en la Fig.24 se observa que la estructura del circuito forma un Filtro paso bajo, por lo que se deduce que la señal 4.2 es una señal analógica que proviene del microcontrolador, y que el filtro paso bajo, es un filtro encargado de suavizarla eliminando las componentes de alta frecuencia, puesto que la señal analógica que aporta el microcontrolador, aunque variable en el tiempo con una alta resolución, no deja de ser discreta en el fondo.

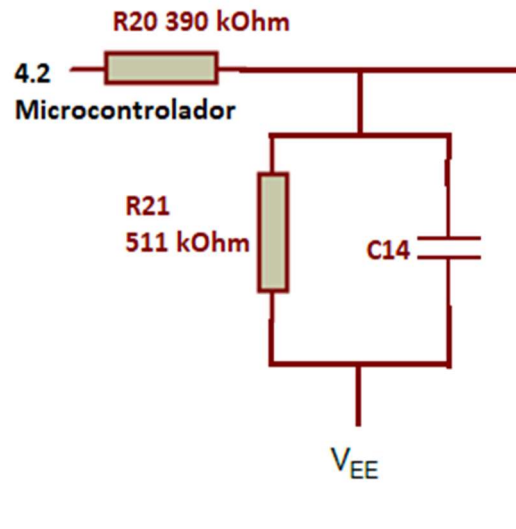


Figura 24 Circuito de suavizado de la señal 4.2 procedente del microcontrolador.

Una vez hecho los pasos anteriores, se pasa a realizar un análisis más exhaustivo del circuito, analizando corrientes y tensiones, para deducir las funciones de transferencia que caracterizan el circuito y que relacionan las variables que son de interés, o que son buscadas para saber el comportamiento de las señales respecto a las variaciones de presión.

En la imagen de la Fig.25 se plantea un circuito de capa más baja, en donde ya se tiene el circuito en una forma más interna, donde ya solo interesa ante todo componentes básicos y su conexionado, para proceder a un análisis más preciso del circuito.

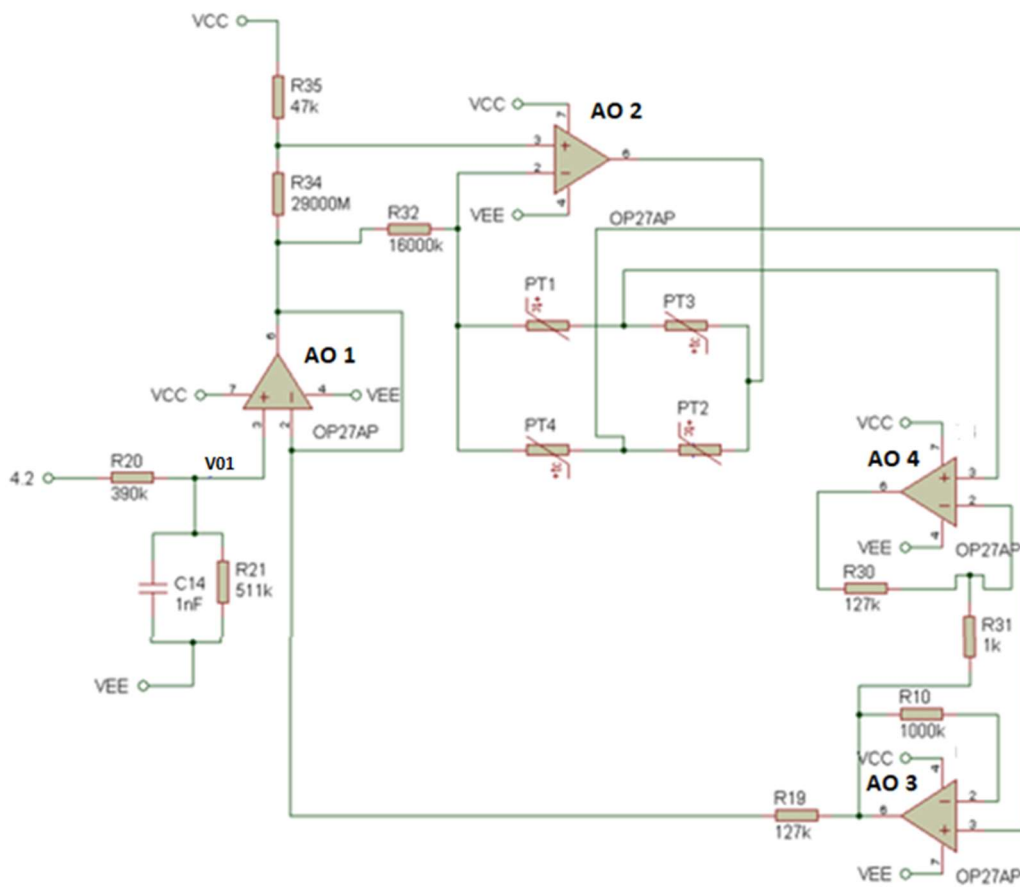


Figura 25 Esquema general del circuito completo que forma el sensor de presión y su acondicionamiento.

En primer lugar, el análisis del puente de Wheatstone Fig.26:

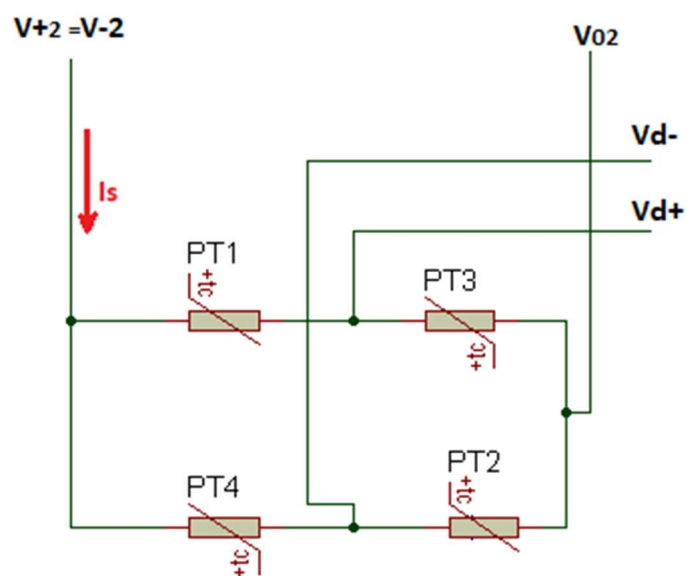


Figura 26 Puente resistivo del sensor de presión.

En al Fig.26 planteando la corriente I_s como la corriente que aporta el AO 2 se obtiene de la rama superior la ecuación:

$$V_{O2}^+ - Vd^+ = \frac{I_s}{2} \cdot [R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot P)] \quad \text{Ec.2}$$

De la rama inferior:

$$V_{O2}^+ - Vd^- = \frac{I_s}{2} \cdot [R_0 \cdot (1 - \alpha \cdot P)] \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

$R_0 \rightarrow$ Resistencia con el puente equilibrado, según el Datasheet 5 k Ω

$\alpha \rightarrow$ Parametro de proporcionalidad de la variación de resistencia respecto a la variación de Presion

$I_s \rightarrow$ Corriente constante que alimenta el puente resistivo del sensor de presión, según su Datasheet su valor es de 1.5 mA

Por la disposición de los sensores resistivos en el puente de Wheatstone, se tiene que van a signo cambiado según la rama, este hecho es así adrede, para lograr lo que sigue, y es que si se junta ambas ecuaciones anteriores buscando la relación con la tensión diferencial como:

$$Vd^+ - Vd^- = Vd \quad \text{Ec.4}$$

Se obtiene que:

$$Vd = \frac{I_s}{2} \cdot [R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot P) - R_0 \cdot (1 - \alpha \cdot P)] \quad \text{Ec.5}$$

Y finalmente:

$$Vd = I_s \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot P \quad \text{Ec.6}$$

Con esto se ha obtenido la relación entre la tensión diferencial del puente y la corriente constante que proporciona el AO 2, una vez obtenido y con la relación de la función de transferencia del sensor, además de tener conocimiento de que la corriente que circula por el sensor es de 1.5 mA constantes, como marca el *Datasheet*, ahora se puede hallar el valor de el parámetro alfa.

$$Vd = I_s \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot P \rightarrow 130 \text{ mV} = 1.5 \text{ mA} \cdot 5 \text{ k}\Omega \cdot \alpha \cdot 362 \text{ mmHg}$$

$$\alpha = 0.239 \text{ mmHg}^{-1} \quad \text{Ec.7}$$

En segundo lugar, es necesario el análisis del AO 1, por el hecho que este aporta en el circuito completo. Hecho que tiene su importancia como ahora se verá, por ello que fijándose en la Fig.27 se deduce que $V_{4.2}$ va ser la señal de la salida 4.2 del microcontrolador tras ser suavizada por el filtro será V_{01} , observando el AO 1 se ve que este Operacional es el encargado de referenciar todo el circuito a la tensión V_{01} que manda el microcontrolador, referenciando tanto la rama inferior que viene de los AO 3 y AO 4, como referenciando la rama superior, que ahora se verá su utilidad más adelante y se le dará sentido a esta situación en futuros párrafos.

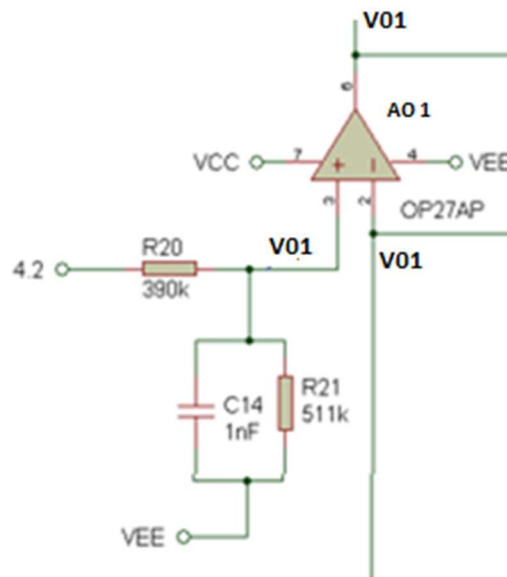


Figura 27 Circuito perteneciente al AO 1.

En la Fig.28 aislamos la parte del circuito correspondiente al AO 2, con el hecho explicado en el párrafo anterior, y sabiendo del comportamiento de un operacional realimentado negativamente, en los cuales $V_{+02} = V_{-02}$, además de saber que las corrientes que entran

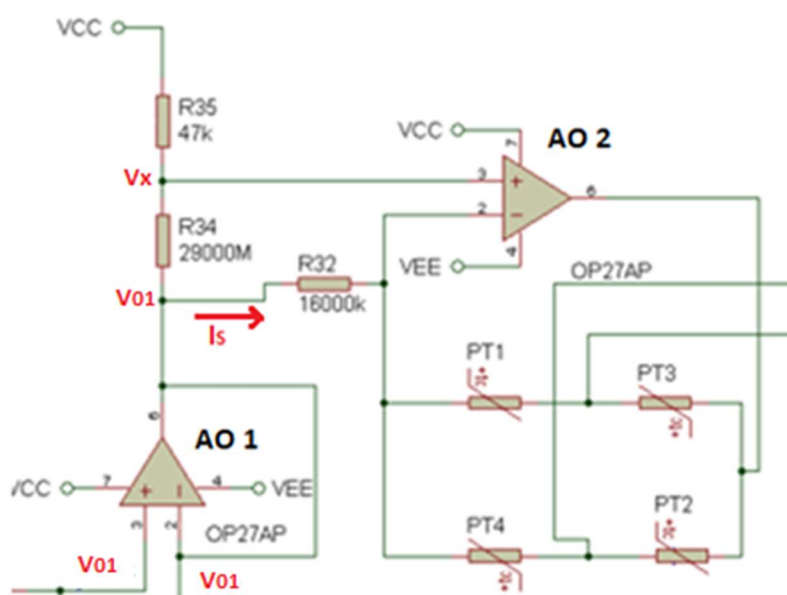


Figura 28 Circuito de la conexión entre AO 1 y el AO2.

al Operacional por su terminal inversor y no inversor son despreciables o nulas se obtiene lo dispuesto, aplicando Millman se obtiene V_x en Ec.8.

$$V_x = \frac{V_{cc} \cdot R_{34} - V_{01} \cdot R_{35}}{R_{35} + R_{34}} \quad \text{Ec.8}$$

Por otro lado:

$$I_S = \frac{(V_{01} - V_x)}{R_{32}} \quad \text{Ec.9}$$

Sustituyendo Ec.8 en Ec.9, quedando:

$$I_S = \frac{(V_{01} - V_{cc}) \cdot R_{34}}{R_{32} \cdot (R_{35} + R_{34})} \quad \text{Ec.10}$$

Sustituyendo Ec.10 en la Ec.6 se obtiene la tensión diferencial que proporciona el sensor en función de la alimentación (V_{cc}), de la señal del microcontrolador $V_{4.2}$ que suavizada es V_{01} , y de la presión.

$$V_d = \frac{(V_{01} - V_{cc}) \cdot R_{34}}{R_{32} \cdot (R_{35} + R_{34})} \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot P \quad \text{Ec.11}$$

Sustituyendo valores numéricos de las resistencias se obtiene:

$$V_d = (V_{01} - V_{cc}) \cdot 0.3125 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot P \quad \text{Ec.12}$$

Por otro lado, también es de interés el hallar la tensión diferencial que está midiendo el microcontrolador por ello se analiza otra parte del circuito, Fig. 29:

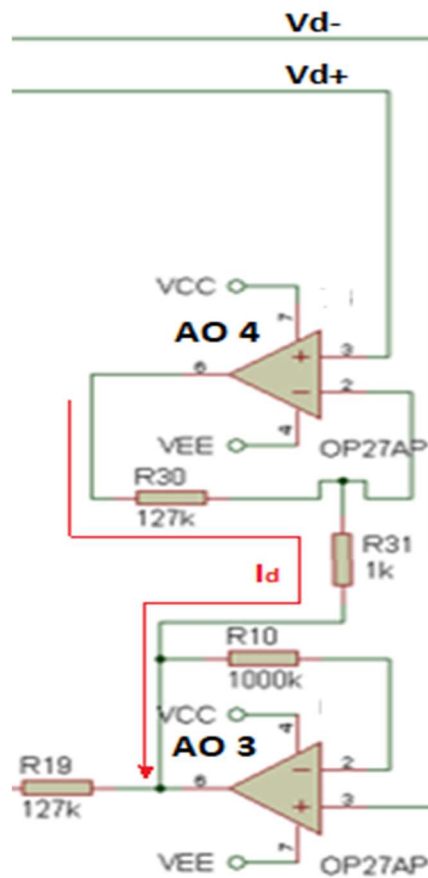


Figura 29 Circuito formado por VO 3 y VO 4.

De donde se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$V_{04} - Vd^+ = Id \cdot R_{30} \quad \text{Ec.13}$$

$$Vd^+ - Vd^- = Id \cdot R_{31} \quad \rightarrow \quad Vd = Id \cdot R_{31} \quad \text{Ec.14}$$

$$V_{04} - V_{03} = Id \cdot (R_{30} + R_{31}) \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

$(V_{04} - V_{03}) \rightarrow$ Es la entrada de tensión diferencial que recibe el μC

Combinando las tres se obtiene que:

$$Vd = (V_{04} - V_{03}) \cdot \frac{R_{31}}{R_{30} + R_{31}} \rightarrow (V_{03} - V_{04}) = -Vd \cdot \left(1 + \frac{R_{30}}{R_{31}}\right) \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$$\frac{(V_{03} - V_{04})}{Vd} = - \left(1 + \frac{R_{30}}{R_{31}}\right) = -128V/V \quad \text{Ec.17}$$

Esta ecuación representa el valor de ganancia que hay entre la tensión que le llega al microcontrolador y la tensión diferencial que proviene del sensor. Por otro lado, sustituyendo esta Ec.12 en la Ec.16 y sustituyendo valores numéricos se obtiene:

$$(V_{03} - V_{04}) = 0.04 \cdot \alpha \cdot P \cdot (V_{cc} - V_{01}) \quad \text{Ec.18}$$

Esta es la ecuación que define la tensión que le llega al microcontrolador en función de las variaciones de presión y del parámetro alfa, el parámetro alfa lo tenemos es 0.239 mmHg^{-1} , el rango de Presiones también (0 mmHg ; 200 mmHg) y V_{cc} es el que da las pilas 3 V, solo se desconoce la tensión que proporciona el microcontrolador $V_{4.2}$, en la ecuación como V_{01} pues es $V_{4.2}$ suavizada, en cuanto esta tensión $V_{4.2}$, es una medida importante que merece la pena hablar de ella aparte.

Esta tensión es una tensión a la que va referenciada todo el circuito de acondicionamiento del sensor, lo normal hubiese sido encontrarlo referenciado al negativo de la alimentación, pero la forma en la que esta referenciado es de gran utilidad, y se va a justificar en lo que sigue.

Como es de esperar aparece en la Ec.16, que es digamos la ecuación final del circuito y que representa la toma de señal por parte del microcontrolador sobre el circuito que forma el acondicionamiento del sensor de Presión. Esta tensión $V_{4.2}$ es intencionada, tiene la función buscada de compensar las variaciones de V_{cc} , puesto que V_{cc} es el positivo de la pila, y $V_{4.2}$ es una tensión analógica de salida del microcontrolador, esta tensión analógica tendrá su fondo de escala en V_{cc} , pues es la propia la que alimenta al microcontrolador, por lo que el fondo de escala de la tensión $V_{4.2}$ varía conforme varía V_{cc} , por lo que así se ha logrado una referencia para el circuito de acondicionamiento que varía conforme lo hace V_{cc} . Logrando con esto el objetivo de que así el dato de la diferencia entre ambas sea constante, luego que la tensión que afecta al circuito de acondicionamiento del sensor de presión sea constante y no produzca errores en la medida .

De esta forma se logra que las caídas de tensión que produce los picos de corriente de demanda, ya sea de la electroválvula o del motor de la bomba de aire, no afecten a la medida del sensor, puesto que, si el circuito de acondicionamiento del sensor hubiese estado referenciado a negativo de la pila, se vería afectado por las variaciones de esta y las medidas tomadas en el sensor serían erróneas.

Otra forma de haber solucionado este problema, hubiera sido con un integrado estabilizador de tensión, pero obviamente es una solución más cara que la que se ha realizado, y en un producto del que se va a fabricar en gran cantidad es importante buscar soluciones que aporten un ahorro respecto a otras, pues este hecho en cuanto a coste por unidad, en el lote que se prevé vender que puede llegar a tener un dispositivo como el del análisis, llega a sumar una cantidad a tener en consideración.

5.1.2 Análisis del conjunto motor/bomba

En este apartado se hace un análisis del conjunto motor/bomba, en primer lugar, un desmontaje y nombramiento de componentes que lo forman.

Desmontaje y funcionamiento

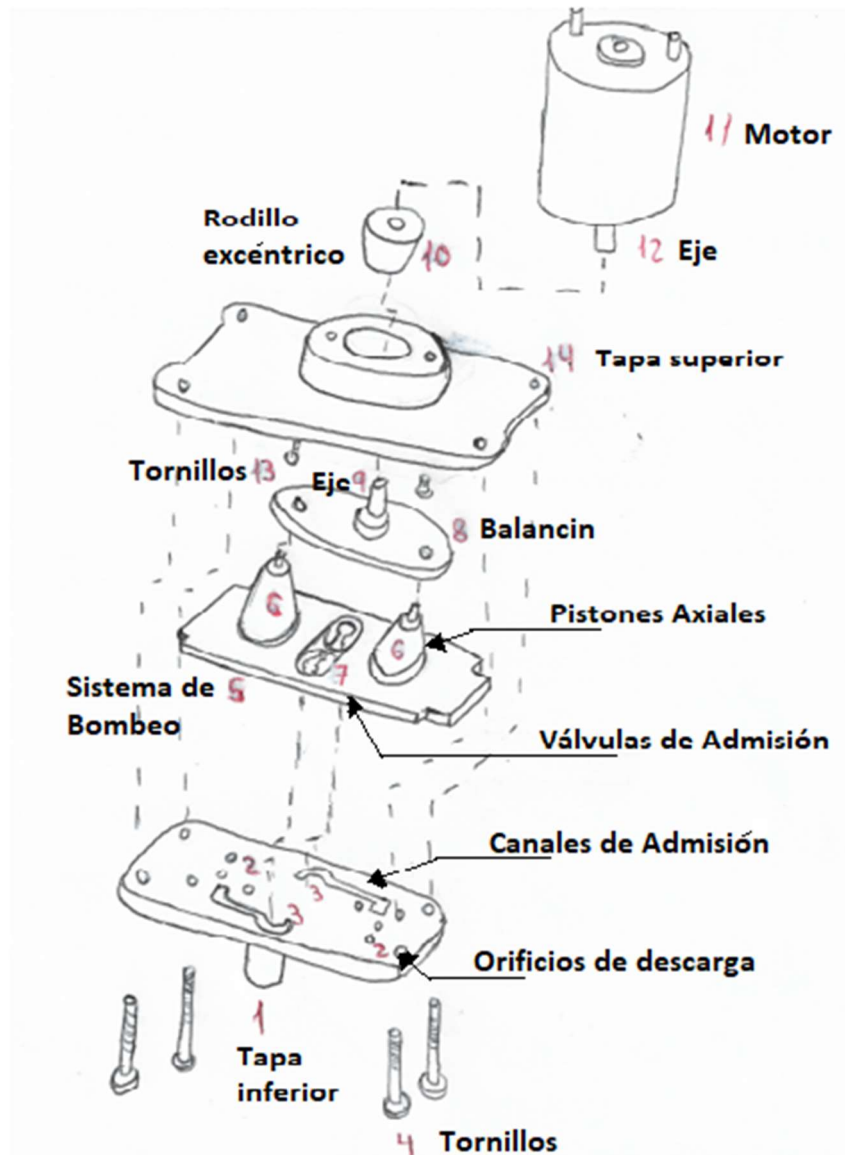


Figura 30 Despiece conjunto Motor/Bomba.

En la Fig. 30 se tiene un dibujo esquemático en explosión del conjunto motor/bomba, el desmontaje se realiza aflojando los tornillos (4) para abrir la bomba, al abrirla se tiene la tapa inferior (1), en la cual se puede observar los canales de admisión (3), los orificios de descarga de aire hacia la salida (2), encima de la tapa inferior se coloca el sistema de bombeo (5), en el cual están los pistones axiales de bombeo (6) y las válvulas de admisión de aire (7), sobre los pistones axiales se encuentra el balancín (8), en el eje del balancín (9) se coloca un rodillo de unión (10) entre este y el eje del motor (12) de forma

que la unión es excéntrica, el motor (11) se une a la tapa superior (14) por medio de los tornillos (13), completando así el despiece.

El funcionamiento de la bomba es el siguiente, en primer lugar el motor alimentado con corriente continua gira, en su giro al estar unido excéntricamente al balancín, hace que este se balancee alternativamente hacia delante y hacia atrás, moviendo los pistones axialmente, las válvulas de admisión dejarán entrar el aire por la parte de atrás de los cilindros y se mantendrán cerradas cuando el pistón suba, al subir el pistón comprime el aire que saldrá por las válvulas de escape hacia la salida.

En lo que sigue se hace un reportaje gráfico del conjunto motor/bomba:

En la Fig.31, se tiene cuatro imágenes, el conjunto motor/bomba (A), el desmontaje de la goma antivibración (B), los cuatro tornillos que unen todo el componente (C), la separación del motor de la bomba de aire (D).

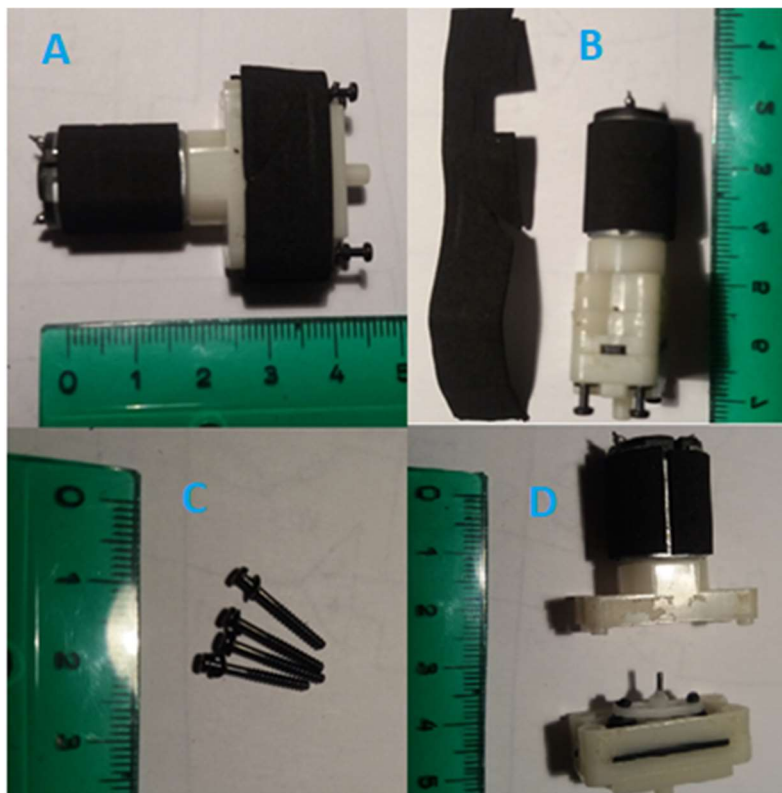


Figura 31 Motor (A), motor vista lateral (B), tornillos(C), separación motor de la bomba (D).

En la Fig. 32 se observa en la parte izquierda el elemento de unión excéntrico que va conectado al eje del balancín, en la derecha se observa dicho balancín y donde también se aprecia la parte trasera de los pistones axiales.

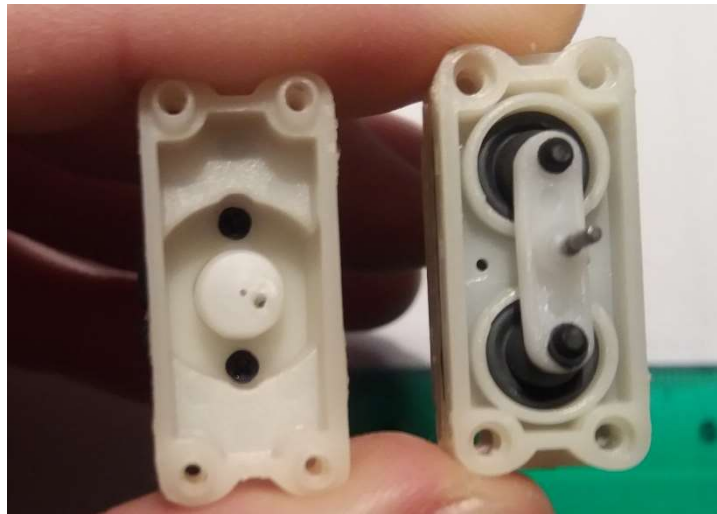


Figura 32 Vista del soporte del motor y del soporte de los cilindros de la bomba.

En la Fig. 33 se aprecia en la parte derecha la cara delantera de los pistones axiales, así como las válvulas de admisión, en la parte izquierda se tiene los canales de admisión y las válvulas de escape.

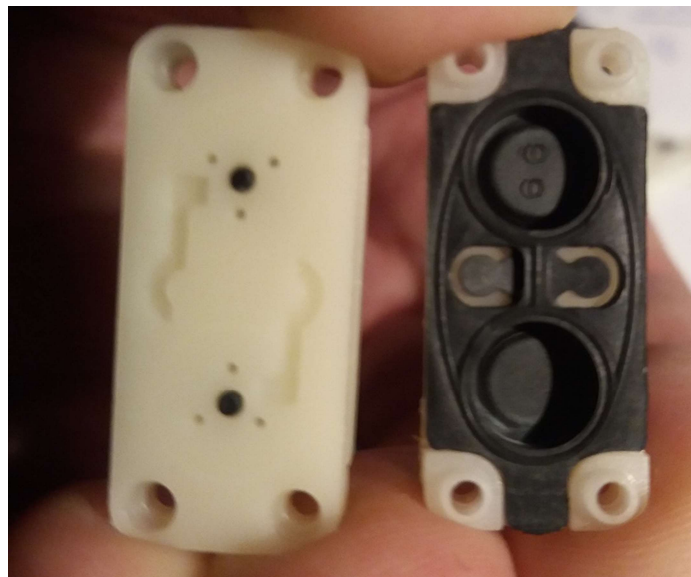


Figura 33 Vista válvulas de escape y pistones axiales de la bomba.

5.1.3 Electroválvula

En este apartado se hace un análisis de la electroválvula, en primer lugar, un desmontaje y nombramiento de componentes que lo forman.

Desmontaje y funcionamiento

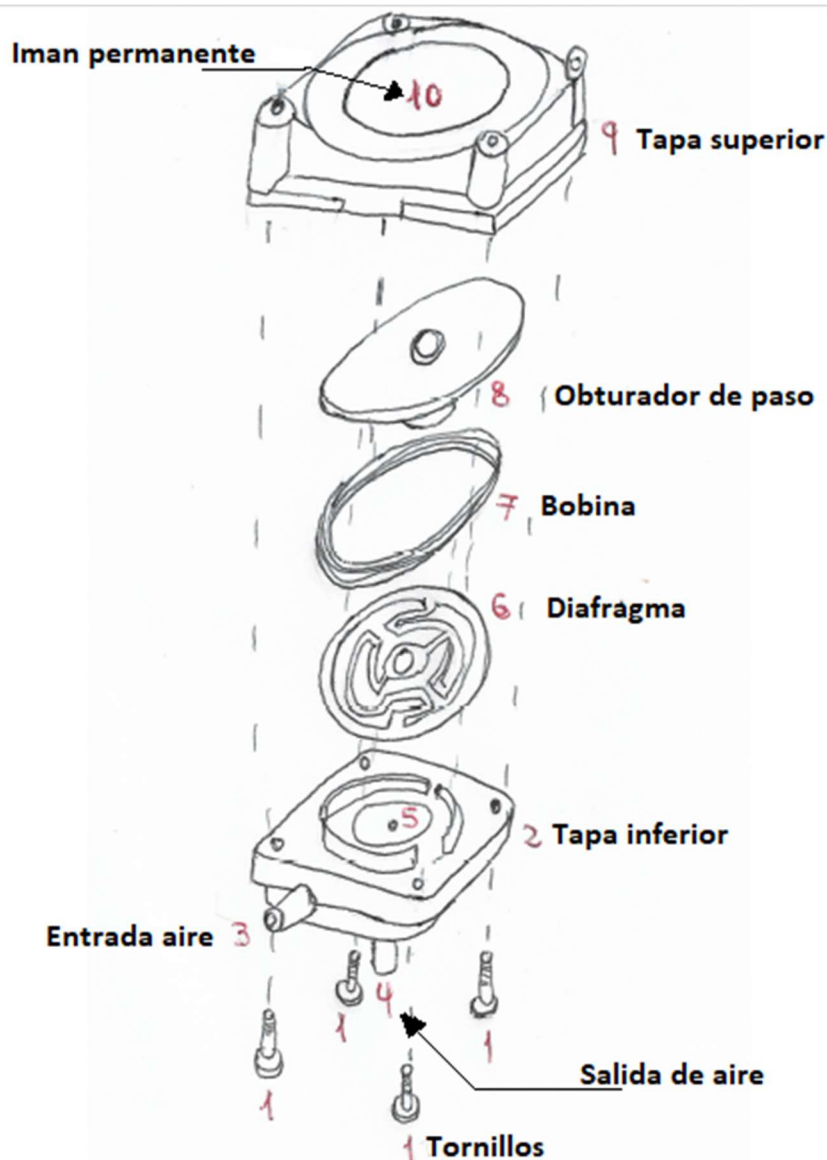


Figura 34 Despiece Electroválvula.

En cuanto al desmontaje Fig.34, aflojando los tronillos (1) se separa la tapa inferior de la electroválvula (2), al separarla se visualiza, un muelle en forma de diafragma (6), una bobina (7), que va unida a la pieza (8), la cual es la encargada de obturar el paso de descarga (5). En la tapa superior (9) se encuentra el imán permanente (10).

El funcionamiento de la electroválvula es normalmente abierto, pues no tiene muelles que la mantenga cerrada, cuando el microcontrolador manda que se debe hinchar la bolsa, alimenta el motor, este mueve la bomba de aire la cual envía aire hacia la entrada (3) de la electroválvula, a su vez se hace pasar una corriente por la bobina (7) la cual crea un campo magnético opuesto al del imán permanente (10), que hace empujar la pieza

obturadora con ayuda del muelle en diafragma hacia el orificio de descarga (5) cerrándolo, de esta forma el aire que manda la bomba ira a la bolsa por medio del orificio (4).

Cuando se alcanza la presión de aire deseada en la bolsa, el microcontrolador deja de alimentar el motor y se deja de bombear aire, a su vez deja de alimentar la bobina de la electroválvula. En ese momento el aire a presión de la bolsa abre el obturador del orificio de descarga, ahora el aire de la bolsa solo tiene camino de escape por dicho orificio, pues como se vio en el desmontaje de la bomba de aire por allí no puede descargar pues las válvulas de esta misma son unidireccionales. El aire solo saldrá pues por el orificio de descarga (5), orificio que esta calibrado para que la descarga de aire sea progresiva, pudiéndole ofrecer al microcontrolador un tiempo para poder hacer las mediciones de presión sanguínea y ritmo cardiaco.

A continuación, se ofrece un reportaje gráfico de la electroválvula y los componentes que la forman:

En la Fig. 35 se puede ver la electroválvula en su conjunto, en la parte izquierda se puede ver una de las caras del imán permanente. A la derecha los orificios de entrada y salida de aire.

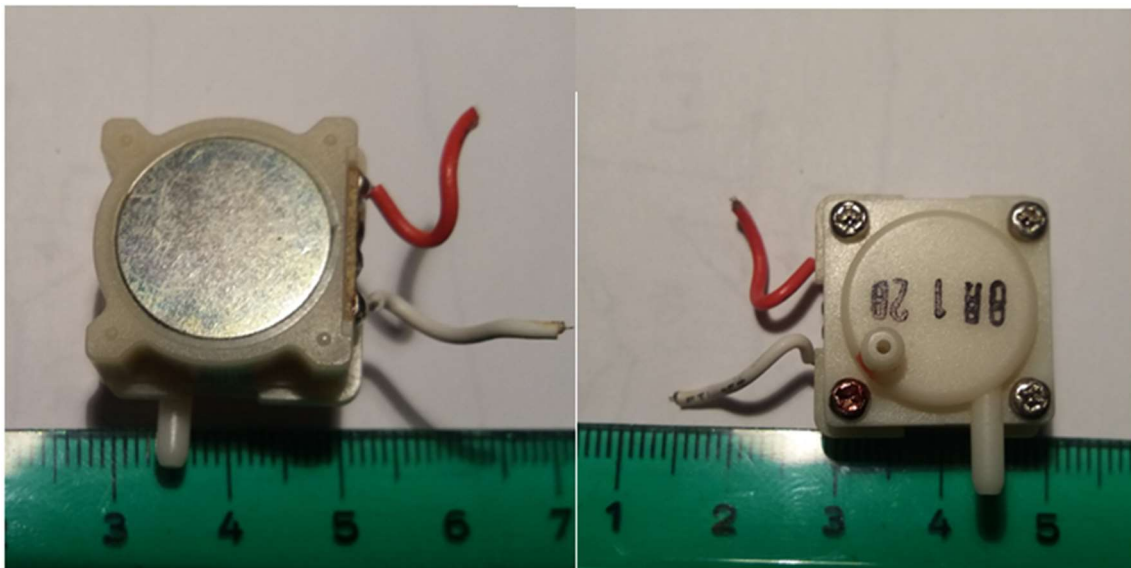


Figura 35 Vista superior e inferior de la electroválvula.

En la Fig. 36 se puede ver el muelle de diafragma a la parte izquierda. En la parte derecha la otra cara del imán permanente y la bobina.

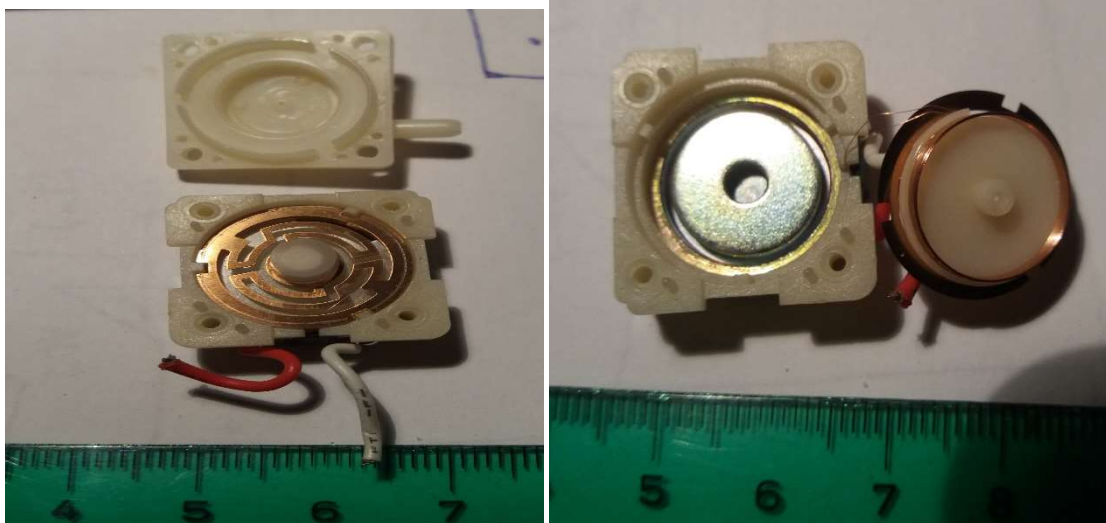


Figura 36 Vista interna de la electroválvula.

Para caracterizar la bobina de la electroválvula se hace uso de un Medidor LCR marca Agilent, modelo U1731A como el de la Fig.37. Para lo cual y probando a distintas frecuencias se obtiene una medida de inductancia de 0.5 mH.



Figura 37 Medidor LCR Agilent U1731A.

5.2 Estética y funcionalidad estructural de dispositivo

En este apartado se llevará a cabo un estudio de la parte del diseño del tensiómetro, el diseño de cualquier dispositivo tiene un largo trabajo y un anterior razonamiento a su desarrollo. De forma que ya sea el posicionamiento de las piezas, el material, sus dimensiones, características, etc. Todas han tenido un estudio previo a su elección y han sido elegidas por algún motivo en concreto y/o criterio, aquí se va a estudiar esta parte del diseño para se pueda tener una aproximación al porqué de estas cosas que se dieron en el modelo que aquí se analiza.

5.2.1 Ingeniería de factores humanos y usabilidad

El diseño enfocado al usuario, en primer lugar, debería responder quien lo va a usar principalmente y cuál es su principal función. En el caso que nos abarca el tensiómetro en general lo puede usar cualquier tipo de persona, pero sobre todo se debería enfocar hacia personas mayores, pues son las que suelen tener mayores problemas de salud que lleven a necesitar de un estudio de la medida de presión sanguínea.

En segundo lugar, el uso del dispositivo objeto de esta memoria es simple, pues solamente tiene una utilidad que es la medida de presión sanguínea, por lo que el diseño basado en su funcionalidad no añade complejidad, pues solo se tiene una tarea.

Con estos enfoques, se desarrollan tensiómetros digitales que tengan botones grandes pues tienen una mayor visibilidad, se intenta que el funcionamiento sea simple, un botón de Start/Stop mayormente, se tiene una pantalla LCD con números bastante grandes que muestra las medidas de forma automática, todo esto enfocado a que el usuario mayormente va a ser de la tercera edad y es posible que haya perdido agudeza visual.

Teniendo en cuenta que habrá muchos diámetros de muñeca según la persona, se desarrolla con una banda ajustable. Como no tiene que sujetar con mucha fuerza basta con un velcro como método de fijación, por su comodidad y rapidez de ajuste.

El dispositivo deberá ser liviano pues va a tener que ser manipulado y puesto en la muñeca por personas mayores mayormente. También su estructura externa deberá ser robusta, para resistir algún tipo de caída o golpe, es por ello por lo que se escoge un plástico por aportar estas dos características.

En cuanto al consumo, deberá ser alimentado por unas pilas voltaicas, en nuestro caso dos del tipo AAA de 1.5 V cada una, un modelo común, que conectadas en serie le da al dispositivo un total de 3 V para la alimentación. A su vez también se diseña una tapa y ubicación para estas de forma que sean fácilmente reemplazables cuando se descarguen. Su duración depende de los mAh, esto dependerá del fabricante y marca de las pilas que el usuario adquiera, teniendo muchas donde elegir en el mercado.

5.2.2 Análisis de su diseño estructural y componentes funcionales

En este apartado se analizará los aspectos del diseño del Tensiómetro Digital en lo que se refiere a los aspectos estructurales y estéticos del dispositivo.

Análisis externo y global

En primer lugar, un análisis externo, como se puede ver en la Fig. 38 se tiene una carcasa de plástico en donde se le han dejado las oberturas para los dos botones de los que dispone el dispositivo. Además de la parte transparente que protege a la pantalla LCD y de la tapa de la ubicación de las pilas de la alimentación.



Figura 38 Vista externa del Tensiómetro.

La carcasa externa se divide en dos partes unidas por medio de tornillos de cabeza Phillips, desmontando esta unión se logra separarlas. En la Fig. 39 se ve la carcasa inferior, desmontando toda la parte electrónica y quedándonos con la carcasa externa, se quedará como en la Fig.40 y Fig.41.

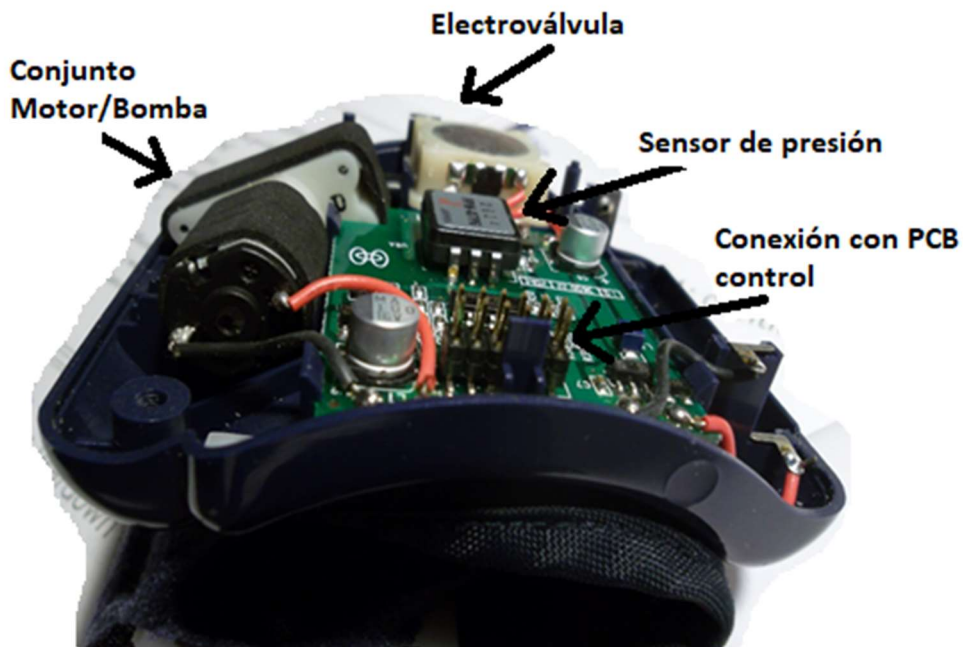


Figura 39 Primer paso del proceso de desmontaje.

Si se observa la Fig. 39 y Fig.40, se puede deducir que el objetivo del diseño externo es el de acoplarse a la forma de la muñeca del usuario de una forma cómoda y lo más ergonómica posible, el tamaño se busca lo más reducido posible, pues es norma hoy en día en cualquier dispositivo tecnológico, se busca miniaturizar lo máximo posible.



Figura 40 Carcasa inferior del Tensiómetro.

En la Fig. 41 se tiene la parte interna, el diseño se ha tenido que adaptar para alojar la alimentación (E), pues las pilas tienen su tamaño normalizado, en la zona roja (A) se encuentra la cuna donde descansa el motor eléctrico encargado de accionar la bomba de aire y esta misma, a su lado se encuentra la zona morada (D) donde es el alojamiento de la electroválvula, se diseña cercana al motor pues esta debe tener conexión con este y con la bolsa de aire. La zona azul (C) es donde se encuentra alojada la PCB de potencia, este último más adaptado en cuanto a su diseño al espacio que le ha quedado. Pues mientras los otros elementos nombrados, suele ser el diseño el que se ajusta a ellos, la electrónica suele ser la que se ajusta al diseño. En amarillo (F) el orificio que dispone la carcasa para la conexión del sensor de presión con el manguito. Marcado con naranja (B) se tiene los dos roscados para los tornillos que unen las dos carcasas.

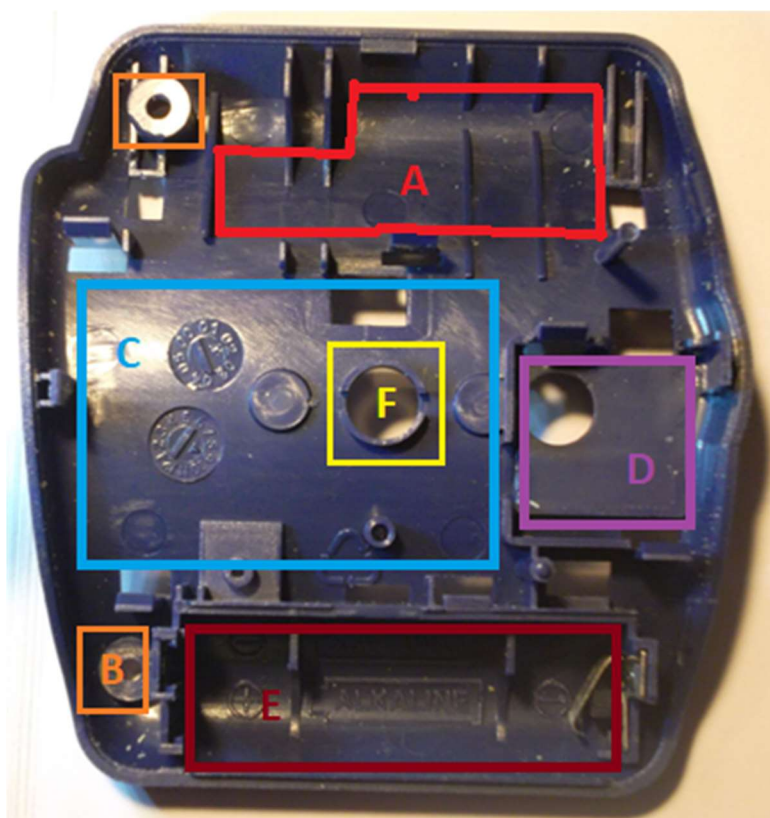


Figura 41 Croquis de localización de componentes en tapa inferior del tensiómetro.

Análisis de la muñequera

En la Fig. 42 se tiene lo que vendría a ser la muñequera, su diseño viene a cumplir el de ser lo bastante larga y tener suficiente zona de velcro como para poderse adaptar a diferentes tamaños de muñeca. Dispone de unos orificios como se ve, pues en la parte interna de la tela se encuentra la bolsa de aire, además está fabricada en un material textil de tipo hipoalérgico para evitar cualquier tipo de afección cutánea.



Figura 42 Muñequera del tensiómetro.

En la Fig. 43 se observa como el diseño de la bolsa de aire incorpora dos oberturas, la superior es para el sensor de presión, y la de abajo para la válvula de paso de aire. Los dos tetones de goma servirán para encajar en la segunda parte que vemos a la derecha de la imagen. Esta parte es una férula para darle rigidez y protección a la bolsa de aire, para ello está fabricada en un plástico más rígido para así hacer de estructura de dicha la bolsa de aire.



Figura 43 Bolsa de aire y férula para darle soporte rígido.

Circuito de control y pantalla

En cuanto a la parte de la carcasa superior se ve en la Fig. 44, como se ha diseñado para alojar la PCB de control, al levantarla se ve el alojamiento para la pantalla LCD, así como los huecos para los botones.



Figura 44 Circuito de control en carcasa superior del tensiómetro.

En la Fig. 45 se observa la zona en donde los botones de tipo membrana van a contactar con la PCB, en ella hay unas pistas, mientras a la derecha se tiene la membrana de los botones. La cual dispone una placa de grafito, de forma que al pulsar el botón el grafito entra en contacto con las pistas cerrando el circuito del botón.

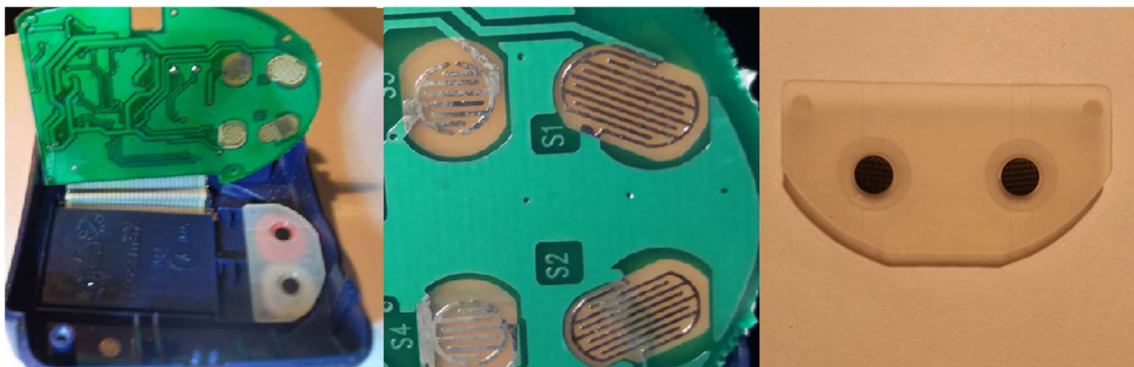


Figura 45 De derecha a izquierda Botonera de membrana, pistas y vista general del circuito de control .

En la Fig. 46 se tiene la pantalla del tensiómetro, se trata de una Pantalla LCD de 1,2 pulgadas, encargada de mostrar los dígitos de las medidas de presión sanguínea sistólica y diastólica, así como el ritmo cardiaco.



Figura 46 Pantalla Tensiómetro.

Despiece general

1. Brazalete
2. Salida Brazalete al Sensor de Presión
3. Entrada Brazalete
4. Soporte
5. Enganches
6. Tornillos
7. Tubo
8. Motor/Bomba de aire
9. Electroválvula
10. Orificio carcasa
11. PCB de potencia
12. Sensor de Presión
13. Obertura
14. Carcasa inferior
15. Pilas AAA
16. Alojamiento pilas
17. Tapa pilas
18. Conexión PCB's macho
19. Conexión PCB's hembra
20. PCB de control
21. Botones
22. Membrana botones
23. Tapa superior

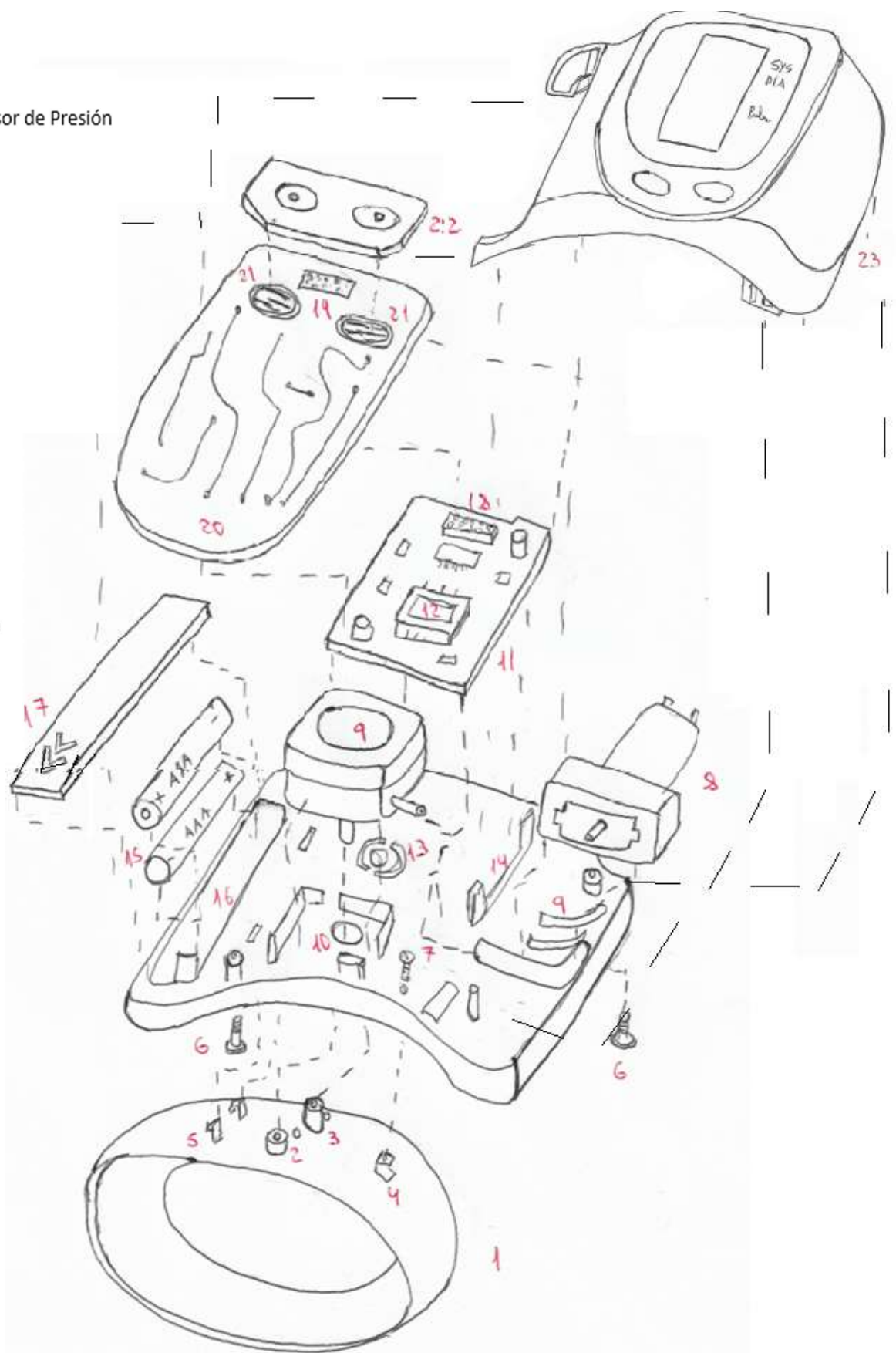


Figura 47 Despiece general del Tensiómetro.

En la Fig. 47 se tiene el despiece general del Tensiómetro Digital en vista en explosión, en donde se observa el brazaletе (1), el cual va cogido por medio del soporte (4) con un tornillo, así como también por medio de los enganches (5) a la carcasa inferior (14). El brazaletе tiene dos canales de aire, el más cercano (2) que es el que ira a la salida de la electroválvula (9) por medio del orificio (10). El conjunto motor/bomba de aire (8) se conecta por medio del tubo (7) a la electroválvula. La PCB de potencia (11) la cual incluye entre otros componentes al sensor de presión (12), el cual se comunica por medio de la abertura (13) con la segunda entrada (3) del brazaletе. Sobre la PCB de potencia se coloca la PCB de control (20), entre ellas se interconectan entre sí por medio de las conexiones (19 y 18). La PCB de control dispone de las conexiones de los botones (21) sobre las que ira las membranas de dichos botones (22), sobre estas piezas se cerrara con la tapa superior (23). Para finalizar estarán las pilas AAA (15) en su alojamiento (16) que se cerrara con la tapa (17), finalizando así el desmontaje del tensiómetro.

5.3 Fortalezas y debilidades

En este apartado se hará una lista de las fortalezas y debilidades del tensiómetro digital que se consideran más a destacar.

Las Fortalezas que destacar son:

-Sencillez de uso

El tensiómetro digital dispone de solo dos botones, el de start para comenzar el proceso de toma de tensión y el de memory para si el usuario quiere registrar una medida o ver las medidas registradas anteriormente. Por lo que facilita el uso y evita complejidades y con ello errores de uso.

-Usabilidad bien adoptada

Una pantalla LCD con números grandes, una botonera grande, una disposición de las medidas para evitar confusiones, un enganche de velcro para el brazaletе, un diseño adaptado a la forma de la muñeca, etc. Todos estos factores de diseño y otros están bien enfocados por parte del dispositivo.

-Alimentación sencilla

Dos pilas AAA permiten que el dispositivo tenga una alimentación estándar del tipo que se puede encontrar en muchos otros dispositivos domésticos, además de que este tipo de alimentación permite el uso del dispositivo en lugares donde no haya red eléctrica.

-Registro de medidas

El registro de medidas en memoria electrónica EEPROM da la ventaja al dispositivo de que el usuario puede guardar y post visualizar medidas de tensión que realice, de esta forma se evita que el usuario deba andar apuntando en otros lugares las medidas lo cual es una ventaja.

Las Debilidades que destacar son:**-Dimensiones y peso**

En la actualidad la electrónica ha reducido su tamaño, junto al hecho de que se puede llevar el control del tensiómetro a una aplicación App para el móvil, de forma que se evite tener la pantalla en el tensiómetro al utilizar la propia del Smartphone. Estos factores podrían dar una reducción del tamaño y peso del tensiómetro de forma que sea más cómodo su uso.

-Alimentación por pilas

Las baterías recargables también han mejorado hoy en día por lo que la tendencia es a usar cada vez menos pilas y se tienen más dispositivos con baterías recargables, y un punto aun de más mejora es que esta sea recargable vía USB, para que pueda cargarse con un cargador estándar de móvil.

-Tecnología anticuada

Se puede aprovechar el factor de que hoy en día las personas de la tercera edad también disponen de un Smartphone, y por ello se puede llevar parte del dispositivo a una aplicación App de móvil, así se aprovecha la propia pantalla y hardware del Smartphone.

5.4 Propuesta de evolución del dispositivo

En un tensiómetro digital de brazalete en promedio se tienen unas medidas 150x150x70 mm y un peso 300 gr, en el de muñeca se tendrían unas medidas 85x75x30 mm y un peso 115 gr. Se observa que se reduce a la mitad las medidas y pesos entre un modelo y el otro. Pues como ya se ha comentado en otras partes de esta memoria este es el principal objetivo de que las empresas desarrollaran el modelo de muñeca y su principal fortaleza. Se puede pensar que el principal objetivo que se le debe atribuir al diseño del nuevo tensiómetro de muñeca es el de reducir su tamaño respecto al tensiómetro de brazalete del análisis. Teniendo en cuenta ese detalle, se propone que el objetivo del producto a desarrollar será el de llevar estas medidas a un 40x60x30 mm y un peso de 80 gr.

Para lograr dicho objetivo se propone aprovechar las nuevas tecnologías y su actual precio competitivo, para crear un nuevo dispositivo que cumpla mejor con la necesidad de un dispositivo de menor tamaño, logrando por nuestra parte el mejorar el actual tensiómetro de muñeca.

Para ello se propone partir de los siguientes componentes:

- Una alimentación por parte de una batería LiPo recargable por USB, en la Fig. 48 se observa su tamaño con respecto a las pilas AAA, a la derecha suya se tiene el módulo de carga USB. Hoy en día hay un mayor avance en cuanto a tecnología de baterías y se es indispensable tener un dispositivo con batería recargable, pues son duraderas, ya no tiene memoria y no elevan el coste de fabricación en exceso. Con esta aportación se elimina la necesidad de tener que cambiar pilas, a cambio se tiene una batería recargable.

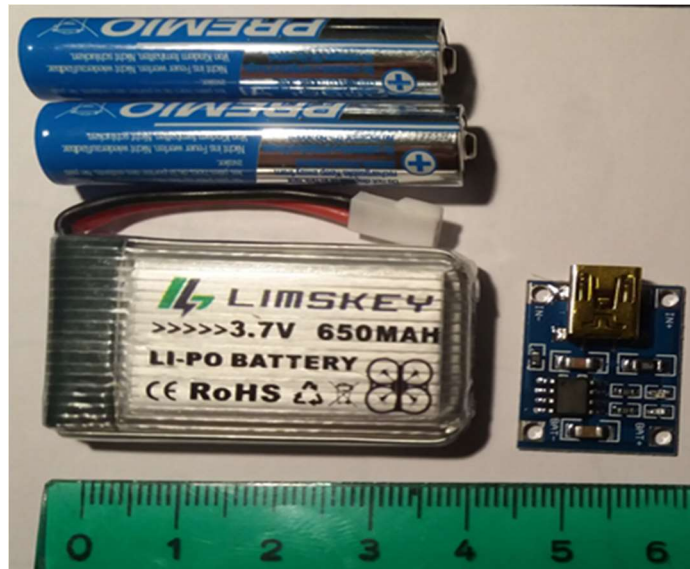


Figura 48 Comparación pilas AAA y batería LiPo junto a módulo de carga USB.

-El mercado de microcontroladores de hoy en día a sufrido un abaratamiento, así como un mejor alcance de este tipo de tecnología por parte de cualquiera. También por parte de los diseñadores se ha dado una mayor facilidad de programación de dichos dispositivos. Por ello se propone un Arduino Nano, por su tamaño reducido y por cumplir con las necesidades electrónicas que se requieren para la utilidad que se propone. Se puede observar en la parte superior de la Fig. 49 , junto al módulo Bluetooth en la parte inferior.

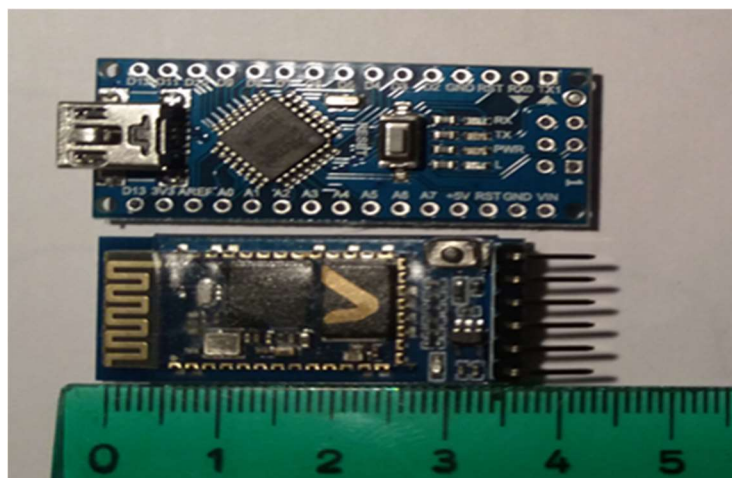


Figura 49 Arduino NANO y módulo de comunicación Bluetooth.

El módulo Bluetooth es la gran apuesta para reducir el tamaño del Tensiómetro, este módulo será el encargado de la comunicación entre el μC y el Smartphone. Aprovechando que es un hecho el que toda persona disponga hoy en día de un Smartphone, se propone la creación de una App propia, una App diseñada para el control, así como de la manipulación y visualización de los datos de medida u otros del tensiómetro.

Lo descrito en el párrafo anterior va a permitir la eliminación de la pantalla, así como de mucha parte electrónica de control, de esta forma se reduce el volumen del dispositivo (objetivo principal), así como que se aporta el hecho de adaptar el dispositivo a la era actual, era en donde el Smartphone se está convirtiendo en el dispositivo que integra y/o a partir del cual se realizan múltiples tareas cotidianas y diarias.

En la Fig. 50 se observa el circuito de control del Tensiómetro al lado del Arduino NANO y del módulo Bluetooth, siendo visualmente apreciable la reducción de tamaño del dispositivo que estos componentes van a aportar.



Figura 50 Comparación de tamaño entre circuito de control, Arduino NANO y modulo Bluetooth.

- El modelo del análisis disponía de una bomba de aire de pistones axiales con un accionamiento por medio de un motor DC de 3 V, este motor se propone ser cambiado por un motor Brushless como el de la Fig. 51.



Figura 51 Micromotor brushless marca Tachyon, modelo T1105. [11]

Este tipo de motor Brushless respecto a los DC convencionales tiene la ventaja que no necesita escobillas ni colector de delgas, por ello se evitan desgastes mecánicos y exceso de temperaturas, este hecho les permite lograr grandes rpm y tamaños muy reducidos. En concreto el modelo de la Fig.51 es Tachyon T1108 5000KV/6000KV , lo que quiere decir que logra entre 5000 y 6000 rpm por cada Voltio que se le aplica. Se propone este tipo de motor para el modelo del tensiómetro digital a desarrollar. En contra su pega es que desarrollan menos par, por lo que se propone ser compensado con una relación de transmisión adecuada. Para suplir también esta deficiencia se propone sustituir la bomba de aire de pistones axiales por una de tornillo como la de la Fig. 52, este tipo de bomba de aire es más adecuada cuando se requiere que consuma poco par, pero sin embargo requiere funcionar con altas rpm lo que la hace ideal para la aplicación.

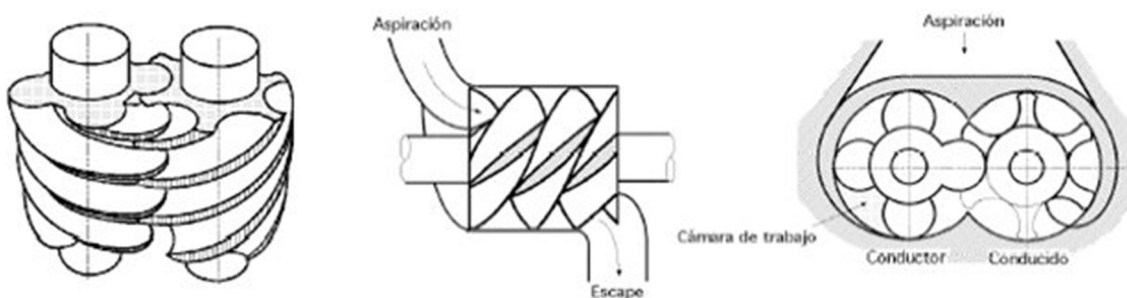


Figura 52 Bomba de aire de tipo tornillo. [12]

Otra pega de los motores Brushless es que requieren un software de control más complejo, lo que equivale a más horas de desarrollo. También requiere algo más de electrónica para el control, ya que tiene un funcionamiento parecido a un motor trifásico. Un ejemplo de una electrónica de control podría ser como el de la Fig.53.

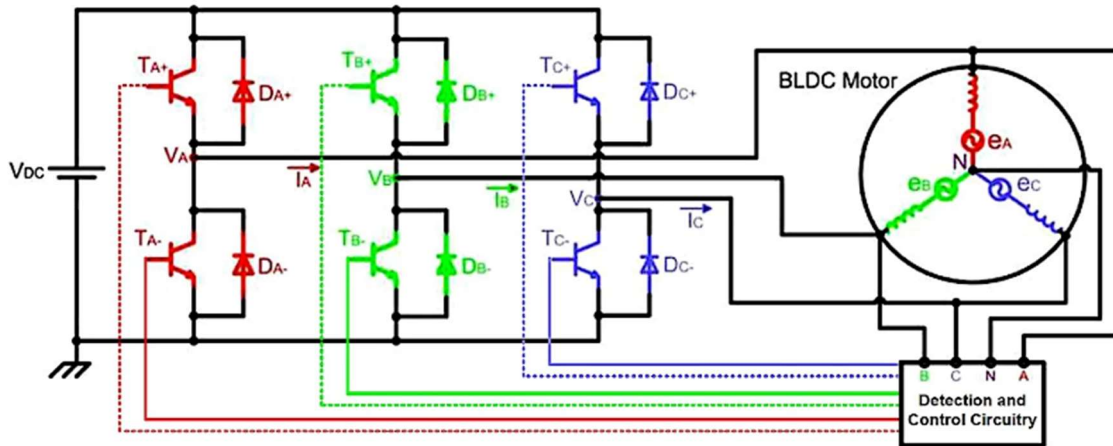
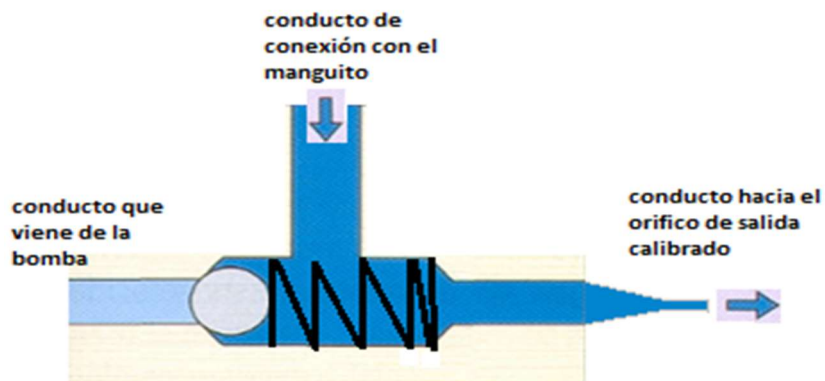


Figura 53 Ejemplo circuito electrónico de alimentación del motor brushless. [13]

Este tipo de circuitos se venden ya contruidos y con una fácil programación de estos mismos, su nombre comercial es ESC, aunque se podría construir sin problemas uno propio. Se podría pensar que donde está el avance pues se está sustituyendo un típico motor DC por uno Brushless que además necesita de electrónica propia, y esto al final no es una desventaja, por ello aclarar que la electrónica de control que necesitan es mínima. Un ejemplo de este hecho es ver que este tipo de motores están en la mayoría de los discos duros y lectores de CD, etc.. y su tamaño y el de su electrónica de control es bien reducido.

- En cuanto a lo que se refiere a la electroválvula, en mi opinión es excesivo utilizar una electroválvula para la aplicación que se le ha dado, en donde tampoco hace falta un control muy complejo del aire que entra al brazaletes. Pues esta electroválvula 3/2 (dos posiciones, 3 vías) únicamente tiene dos funciones, una función de obturar la salida de aire cuando la bomba está hinchando el brazaletes y comunicar esta con el propio brazaletes, y otra función de permitir la salida de este mismo aire a través de un orificio calibrado cuando se está en proceso de desinflado y de toma de medidas. Se propone el uso de algo más sencillo y sin consumo, una válvula mecánica tipo OR como la de la Fig. 54.

Fase de descarga de aire a través del orificio calibrado



Fase de carga de aire en el manguito o fase de inflado

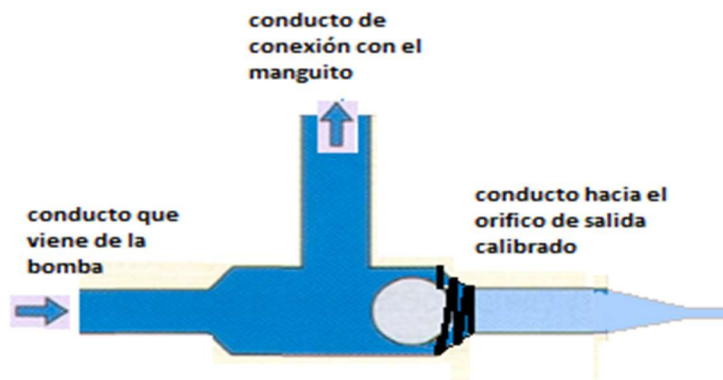


Figura 54 Ejemplo de funcionamiento de la válvula neumática tipo OR propuesta. [14]

En la cual se obtiene el mismo resultado (en cuanto a función) que con la electroválvula, pues mientras la bomba de aire mande aire al manguito vencerá la fuerza del muelle y la bola bloqueará la salida de aire. Mientras cuando la bomba deje de enviar aire el muelle cerrará la comunicación con la bomba para abrir la descarga de aire del manguito a través del orificio calibrado de forma que esta sea progresiva.

6. Conclusión

El TFG como ya se comentó en el apartado 1. Objeto de este documento, se ha hecho más énfasis en el análisis del dispositivo, finalizando el trabajo con el apartado de propuestas para el desarrollo del nuevo dispositivo, pero no llegando a desarrollarlo, se deja el desarrollo del nuevo tensiómetro digital para una futura continuación del trabajo.

Por el resto, se espera que el TFG logre ser pedagógico para el lector, por parte del autor se da por logrado el objetivo que se esperaba de él, consiguiendo aplicar lo aprendido durante la carrera, así como el esfuerzo de haber tenido que profundizar en otras áreas no propias de la carrera, como ha sido el entrar en el área médica para comprender el proceso de toma de tensión arterial.

En el documento se ha dado la suficiente información técnica como para que el contratista pueda desarrollar su propio tensiómetro digital basándose en dicha información, por lo que se da por logrado el objetivo principal del proyecto.

7. Anexos



7.1 Anexo Datasheet componentes

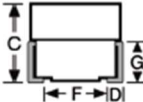

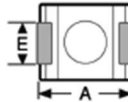
En lo que sigue se adjuntan extractos de la información más relevante de los componentes del dispositivo objeto de esta memoria que se consideran más importantes, obtenida de sus Datasheet.

Bobina Alta Frecuencia

SERIES S1210R S1210

Shielded Surface Mount Inductors

Physical Parameters

	Inches	Millimeters
A	0.118 to 0.138	3.00 to 3.51
B	0.085 to 0.105	2.16 to 2.66
C	0.081 to 0.101	2.06 to 2.57
D	0.016 Min.	0.41 Min.
E	0.041 to .061	1.04 to 1.55
F	0.070 (Ref. only)	1.78 (Ref. only)
G	0.054 (Ref. only)	1.37 (Ref. only)

Dimensions "A" and "C" are over terminals.

Weight Max. (Grams) 0.1

Operating Temperature Range -55°C to +125°C

Current Rating at 90°C Ambient 35°C Rise

Maximum Power Dissipation at 90°C

DASH NUMBER	INDUCTANCE (µH) ±10%	TEST FREQUENCY (MHz)	Q MINIMUM	SRF MINIMUM (MHz)	DC RESISTANCE MAXIMUM (ΩMS)	CURRENT RATING MAXIMUM (mA)
SERIES S1210 IRON CORE						
-101K	0.10	40	25	375	0.15	1131
-121K	0.12	40	25	350	0.17	1052
-151K	0.15	40	25	330	0.20	979
-181K	0.18	40	25	310	0.22	934
-221K	0.22	40	25	300	0.25	876
-271K	0.27	40	25	290	0.30	800
-331K	0.33	40	25	255	0.35	740
-391K	0.39	40	25	230	0.40	692
-471K	0.47	40	25	220	0.45	653
-561K	0.56	40	25	200	0.50	619
-681K	0.68	40	25	180	0.55	590
-821K	0.82	40	25	170	0.60	565
SERIES S1210 FERRITE CORE						
-102K	1.0	40	7.9	140	0.40	635
-122K	1.2	40	7.9	120	0.49	574
-152K	1.5	40	7.9	110	0.57	532
-182K	1.8	40	7.9	95	0.65	498
-222K	2.2	40	7.9	80	0.73	470
-272K	2.7	40	7.9	70	0.75	464
-332K	3.3	40	7.9	45	0.80	449
-392K	3.9	40	7.9	42	0.83	441
-472K	4.7	40	7.9	40	1.00	402
-562K	5.6	40	7.9	38	1.30	352
-682K	6.8	40	7.9	35	1.50	328
-822K	8.2	40	7.9	32	1.70	308
-103K	10.0	40	2.5	28	1.90	291
-123K	12.0	40	2.5	25	2.10	277
-153K	15.0	40	2.5	23	2.50	254
-183K	18.0	40	2.5	21	2.80	240
-223K	22.0	40	2.5	19	3.00	232
-273K	27.0	40	2.5	16	4.00	201
-333K	33.0	40	2.5	14	4.50	189
-393K	39.0	40	2.5	12	5.00	179
-473K	47.0	40	2.5	10	5.50	171
-563K	56.0	40	2.5	8	6.30	160
-683K	68.0	40	2.5	8	7.00	152
-823K	82.0	40	2.5	8	8.50	137
-104K	100.0	40	2.5	8	10.00	127

For more detailed graphs, contact factory

Memoria EEPROM

Features

- Low-voltage and Standard-voltage Operation
 - 2.7 (V_{CC} = 2.7V to 5.5V)
 - 1.8 (V_{CC} = 1.8V to 5.5V)
- User-selectable Internal Organization
 - 1K: 128 x 8 or 64 x 16
- Three-wire Serial Interface
 - 2 MHz Clock Rate (5V)
- Self-timed Write Cycle (10 ms max)
- High Reliability
 - Endurance: 1 Million Write Cycles
 - Data Retention: 100 Years
- Automotive Grade Devices Available
- 8-lead JEDEC PDIP, 8-lead JEDEC SOIC, 8-lead EIAJ SOIC, 8-lead Ultra Thin mini-MAP (MLP 2x3), 8-lead TSSOP and 8-ball dBGAA2 Packages

Description

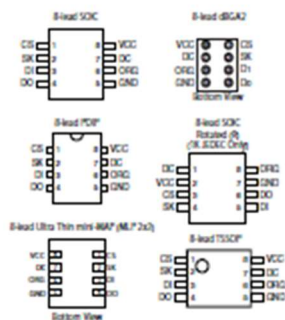
The AT93C46 provides 1024 bits of serial electrically erasable programmable read-only memory (EEPROM), organized as 64 words of 16 bits each (when the ORG pin is connected to VCC), and 128 words of 8 bits each (when the ORG pin is tied to ground). The device is optimized for use in many industrial and commercial applications where low-power and low-voltage operations are essential. The AT93C46 is available in space-saving 8-lead PDIP, 8-lead JEDEC SOIC, 8-lead EIAJ SOIC, 8-lead Ultra Thin mini-MAP (MLP 2x3), 8-lead TSSOP, and 8-lead dBGAA2 packages.

The AT93C46 is enabled through the Chip Select pin (CS) and accessed via a three-wire serial interface consisting of Data Input (DI), Data Output (DO), and Shift Clock (SK). Upon receiving a Read Instruction at DI, the address is decoded and the data is clocked out serially on the DO pin. The Write cycle is completely self-timed, and no separate Erase cycle is required before Write. The Write cycle is only enabled when the part is in the Erase/Write Enable state. When CS is brought high following the initiation of a Write cycle, the DO pin outputs the Ready/Busy status of the part.

The AT93C46 is available in 2.7V to 5.5V and 1.8V to 5.5V versions.

Table 1. Pin Configurations

Pin Name	Function
CS	Chip Select
SK	Serial Data Clock
DI	Serial Data Input
DO	Serial Data Output
GND	Ground
VCC	Power Supply
ORG	Internal Organization
DC	Don't Connect



Three-wire Serial EEPROM

1K (128 x 8 or 64 x 16)

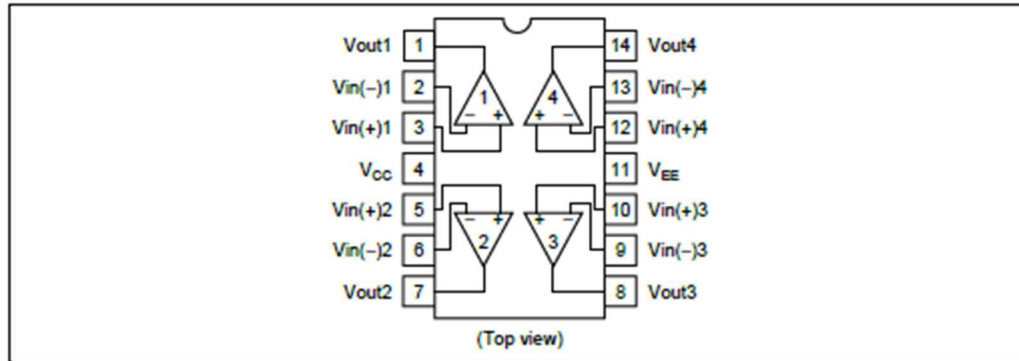
AT93C46

Note: Not recommended for new design; please refer to AT93C46D datasheet.

51406-02EPR-2/07

Cuádruple AO

Pin Arrangement

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Ratings		Unit
		HA17324/P/AP	HA17324F/FP/ARP/AFP	
Supply voltage	V_{cc}	32	32	V
Sink current	I_{sink}	50	50	mA
Power dissipation	P_T	625 ^{*1}	625 ^{*2}	mW
Common mode input voltage	V_{CM}	-0.3 to V_{cc}	-0.3 to V_{cc}	V
Differential input voltage	$V_{in} (diff)$	$\pm V_{cc}$	$\pm V_{cc}$	V
Operating temperature	T_{opr}	-20 to +75	-20 to +75	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +125	-55 to +125	$^\circ\text{C}$

Notes: 1. This is the allowable values up to $T_a = 50^\circ\text{C}$. Derate by $8.3 \text{ mW}/^\circ\text{C}$.

2. $T_{jmax} = \theta_{j-a} \cdot P_{c,max} + T_a$ (θ_{j-a} : Thermal resistor between junction and ambient at set board use).

The wiring density and the material of the set board must be chosen for thermal conductance of efficacy board.

And $P_{c,max}$ cannot be over the value of P_T .

Sensor de Presión

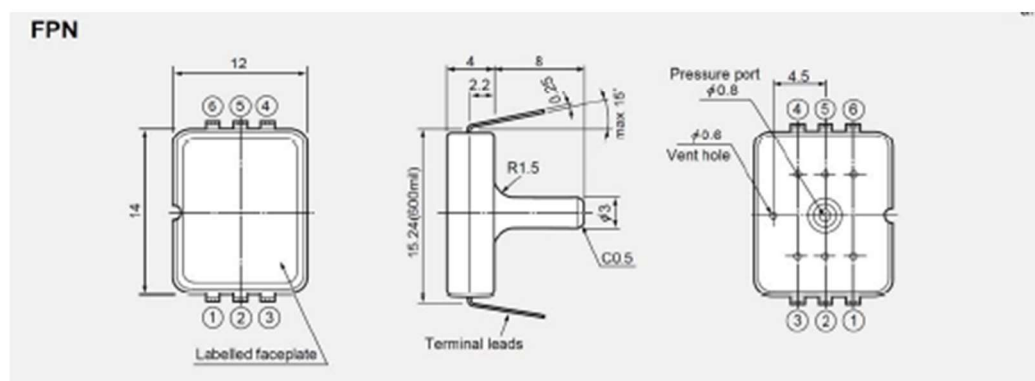
Measurable pressure range(kPa)	Part number	
-13.79 to 13.79	FPN-02PG	FPN-02PGR
-34.47 to 34.47	FPN-05PG	FPN-05PGR
-48.26 to 48.26	FPN-07PG	FPN-07PGR

■ Specifications

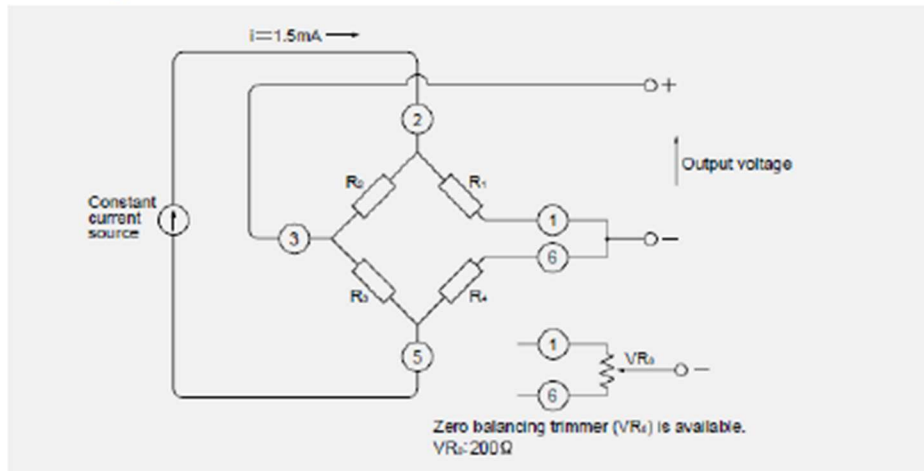
Model	02PG	05PG	07PG	Unit
Recommended operating conditions				
Pressure type	Gauge pressure			-
Rated pressure	13.79	34.47	48.26	kPa
Measurable pressure range	-13.79 to 13.79	-34.47 to 34.47	-48.26 to 48.26	kPa
Temperature range	0 to 50			deg.C
Pressure media	Non-corrosive gases only (No liquid)			-
Excitation current (Constant)	1.5			mADC
Absolute maximum rating				
Maximum load pressure	Twice of rated pressure			-
Maximum excitation current	3.0			mADC
Operating temperature	0 to 80			deg.C
Storage temperature	-20 to 100			deg.C
Operating humidity	30 to 80 (Non dew condition)			%RH
Electric characteristics (Drive Current 1.5mA constant ,ambient temperature Ta=25deg.C)				
Output span voltage	40 to 130 (at 0kPa to rated pressure)			mV
Offset voltage	+/-25 (at 0kPa)			mV
Bridge resistance	4000 to 6000			Ω
Response time	2 (for the reference)			msec.
Accuracy	TSO*	+/-10	+/-8	%FS/0-50deg.C
	TCS*	5.0	2.5	%FS/0-50deg.C
	Linearity	+/-0.8	+/-0.3	%FS
	Pressure hysteresis	+/-1.0	+/-0.7	%FS

*TSO : Temperature sensitivity of offset voltage(Temperature range from 0-50 deg.C)

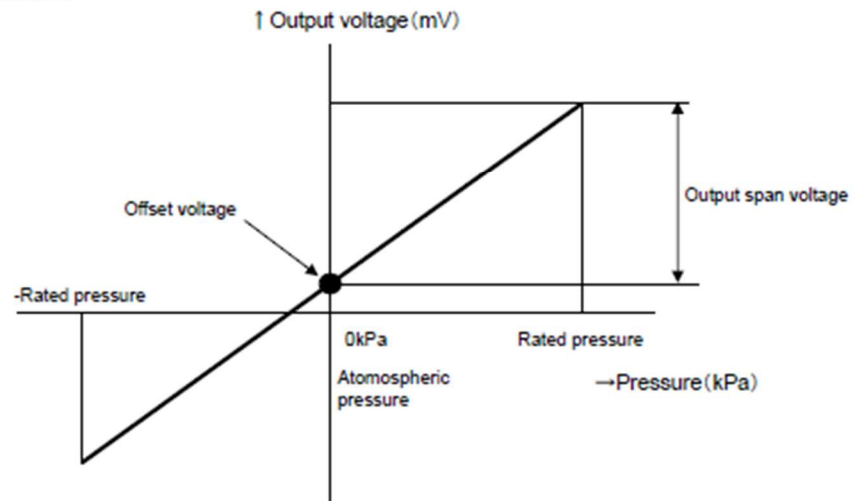
*TCS : Temperature coefficient of output span voltage(Temperature range from 0-50 deg.C)



■ Connection diagram ■



■ Output characteristics ■

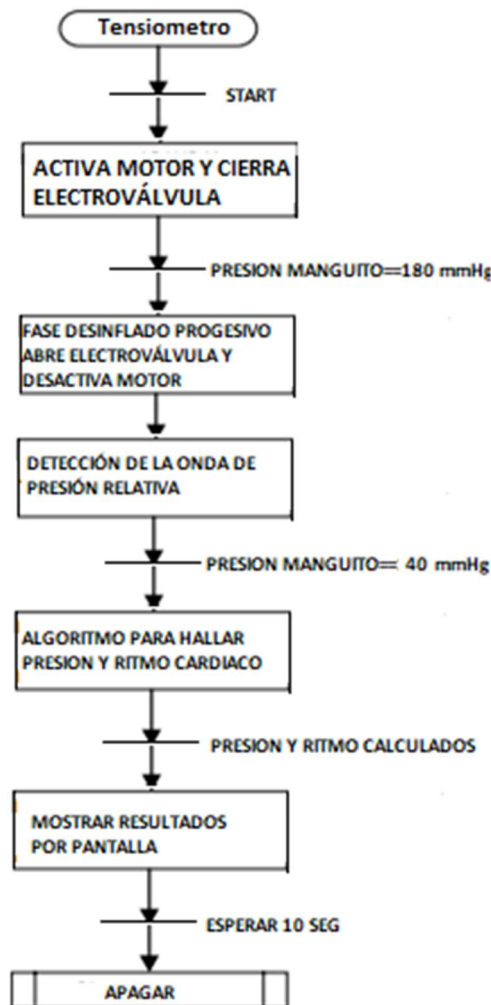


7.2 Anexos Apartado 5

En lo que sigue se tienen apartados con información extra sobre lo realizado en el apartado 5 de esta memoria.

7.2.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo

En lo que sigue un ejemplo de un diagrama de flujo del funcionamiento básico del tensiómetro digital para un caso en que el usuario tenga una presión arterial típica de 120 mmHg de Sistólica y 60 mmHg de Diastólica.



7.2.2 Introducción a conceptos básicos

En este apartado se realiza una explicación teórica de algunos conceptos vistos en el análisis del apartado 5 de esta memoria.

-Puente de Wheatstone:

El puente de Wheatstone es una estructura, cuyo objetivo es el estar diseñada para: poder captar medidas de sensores resistivos de forma que esta señal sea lineal, este compensada en temperatura, lograr tener la ganancia más alta posible respecto a las variaciones de la medida física que da la disposición para toma de medida con sensores resistivos. Este concepto aplicado al puente con 4 sensores resistivos es la disposición más común en los casos que corresponde su uso y es la que ofrece el dispositivo de este estudio.

-Amplificador de instrumentación:

El amplificador de instrumentación es una topología de dispositivo electrónico formada por distinto número de amplificadores operacionales según el caso, cuyo objetivo es el de lograr captar pequeñas tensiones diferenciales, para ello dispone de entradas de alta impedancia (que evita errores), y de un amplificador diferencial con ganancia regulable. Son usados en la gran mayoría de aplicaciones en las cuales hay sensores resistivos, pues es común que los sensores resistivos den tensiones de cambio de valores pequeños respecto a la variable física. Estas tensiones hay que captarlas con el mínimo error y necesitan de amplificación a su vez, de lo contrario se estaría ensuciando la medida. Por ello se usa una estructura de amplificador de instrumentación para lograr gran ganancia y mínimo error. Las características comunes que la topología de amplificador de instrumentación ofrece son un bajo offset, alto rechazo al modo común, entrada diferencial, gran impedancia de entrada, baja impedancia de salida, entre otras.

8. Índice de figuras

Fig.1 Toma de medida de presión sanguínea de forma manual.	Pag.6
Fig.2 Gráfica de comparación entre presión del brazalete y presión sanguínea.	Pag.7
Fig.3 Gráfica de variación de la presión del brazalete respecto del tiempo con ampliación de la zona de interés.	Pag.8
Fig.4 Tensiómetro manual.	Pag.11
Fig.5 Tensiómetro Digital con brazalete.	Pag.12
Fig.6 Tensiómetro digital de muñeca.	Pag.12
Fig.7 Tensiómetro Digital con conexión Bluetooth a Smartphone .	Pag.13
Fig.8 Vista general del modelo a analizar en esta memoria.	Pag.13
Fig.9 Conjunto de destornilladores de precisión.	Pag.14
Fig.10 Cámara de fotos que se utilizara en el reportaje gráfico.	Pag.14
Fig.11 Microscopio USB para reportaje gráfico del circuito electrónico.	Pag.15
Fig.12 Multímetro y lupa.	Pag.15
Fig.13 Ejemplo de croquis de los componentes.	Pag.17
Fig.14 Ejemplo de croquis de conexión de un componente	Pag.18
Fig.15 Ejemplo de almacenaje de la tornillería.	Pag.19
Fig.16 Ejemplo de almacenaje del desmontaje del tensiómetro.	Pag.20
Fig.17 Diagrama de bloques de la funcionabilidad del tensiómetro digital.	Pag.21
Fig.18 PCB de potencia, sensor de presión y su acondicionamiento.	Pag.22
Fig.19 Función de transferencia del sensor de presión que aporta su propio Datasheet.	Pag.23
Fig.20 Función de transferencia del sensor de presión adaptados sus rangos a la aplicación en cuestión.	Pag.24
Fig.21 Zona de la PCB de potencia que corresponde al sensor de presión y su acondicionamiento.	Pag.25
Fig.22 Esquema del circuito obtenido del estudio físico de las pistas y conexiones de los componentes en la PCB.	Pag.26

Fig.23 Esquema del circuito del puente resistivo que forma el sensor de presión.	Pag.27
Fig.24 Circuito de suavizado de la señal 4.2 procedente del microcontrolador.	Pag.28
Fig.25 Esquema general del circuito completo que forma el sensor de presión y su acondicionamiento. .	Pag.29
Fig.26 Puente resistivo del sensor de presión.	Pag.29
Fig.27 Circuito perteneciente al AO 1.	Pag.31
Fig.28 Circuito de la conexión entre AO 1 y el AO2.	Pag.31
Fig.29 Circuito formado por VO 3 y VO 4. .	Pag.33
Fig.30 Despiece conjunto Motor/Bomba.	Pag.36
Fig.31 Motor vista superior (A), motor vista lateral (B), tornillos(C), separación motor de la bomba (D).	Pag.37
Fig.32 Vista del soporte del motor y del soporte de los cilindros de la bomba.	Pag.38
Fig.33 Vista válvulas de escape y pistones axiales de la bomba.	Pag.38
Fig.34 Despiece Electroválvula.	Pag.39
Fig.35 Vista superior e inferior de la electroválvula.	Pag.40
Fig.36 Vista interna de la electroválvula.	Pag.41
Fig.37 Medidor LCR Agilent U1731A	Pag.41
Fig.38 Vista externa del Tensiómetro.	Pag.43
Fig.39 Primer paso del proceso de desmontaje.	Pag.44
Fig.40 Carcasa inferior del Tensiómetro.	Pag.44
Fig.41 Croquis de localización de componentes en tapa inferior del tensiómetro.	Pag.45
Fig.42 Muñequera del tensiómetro.	Pag.46
Fig.43 Bolsa de aire y pieza de plástico para darle soporte rígido.	Pag.46
Fig.44 Circuito de control en carcasa superior del tensiómetro.	Pag.47

Fig.45 De derecha a izquierda Botonera de membrana, pistas y vista general del circuito de control .	Pag.47
Fig.46 Pantalla Tensiómetro.	Pag.47
Fig.47 Despiece general del Tensiómetro.	Pag.48
Fig.48 Comparación pilas AAA y batería LiPo junto a módulo de carga USB.	Pag.51
Fig.49 Arduino NANO y módulo de comunicación Bluetooth.	Pag.51
Fig.50 Comparación de tamaño entre circuito de control, Arduino NANO y modulo Bluetooth.	Pag.52
Fig.51 Micromotor brushless marca Tachyon, modelo T1105.	Pag.53
Fig.52 Bomba de aire de tipo tornillo.	Pag.53
Fig.53 Ejemplo circuito electrónico de alimentación del motor brushless.	Pag.54
Fig.54 Ejemplo de funcionamiento de la válvula neumática tipo OR propuesta.	Pag.55

9. Referencias

En lo siguiente se referencia las imágenes que no son propias del autor, son de otra fuente o han sido editadas:

[1] Imagen adquirida de <https://www.youtube.com/watch?v=M2cZPYUC-Tw>. (15/05/2020).

[2] Imagen adquirida de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ilustracion-del-metodo-oscilometrico-para-la-medicion-de-presion-sanguinea_fig3_213071198 (15/05/2020).

[3] Imagen adquirida de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ilustracion-del-metodo-oscilometrico-para-la-medicion-de-presion-sanguinea_fig3_213071198 y editada (15/05/2020).

[4] Imagen adquirida de <https://www.partesdel.com/tensiometro.html> y editada (15/05/2020).

[5] Imagen adquirida de <https://listado.mercadolibre.com.co/salud-equipamiento-medico-cuidado-tensiometros/tensiometro-digital> (15/05/2020).

[6] Imagen adquirida de <https://www.teletiendaonline.com/tensiometro-digital.html> (15/05/2020).

[7] Imagen adquirida de <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-488697813-tensiometro-omron-evolv-bluetooth-android-y-apple-para-hoyyy- JM> (15/05/2020).

[8] Imagen adquirida de http://www.fujikura.co.jp/eng/resource/pdf/fpn_e.pdf y editada (15/05/2020).

[9] Imagen adquirida de http://www.fujikura.co.jp/eng/resource/pdf/fpn_e.pdf y editada (15/05/2020).

[10] Imagen adquirida de http://www.fujikura.co.jp/eng/resource/pdf/fpn_e.pdf y editada (15/05/2020).

[11] Imagen adquirida de https://www.banggood.com/es/HBRC-D0603-0603-Micro-Brushless-Motor-1-2S-14000KV-16000KV-For-RC-Drone-FPV-Racing-Multi-Rotor-p-1245346.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshooping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=xibei&utm_campaign=ssc-es-es-july-game-0704&gclid=EAlaIQobChMIlib ItfzC4wIVh7HtCh3JBAMeEAQYAiABEgly1 D BwE&ID=532693&cur_warehouse=CN (15/05/2020).

[12] Imagen adquirida de <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-de-tornillo-2-rotores.html> (15/05/2020).

[13] Imagen adquirida de <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/sensorless-brushless-dc-bldc-motor-control/> (15/05/2020).

[14] Imagen adquirida de <https://sistemasneumaticos.wordpress.com/estudio-funcional-de-las-valvulas-distribuidoras/valvulas-selectoras/> y editada (15/05/2020).

En lo siguiente se da la lista de textos que han sido consultados para realizar este TFG:

1. Sergei (Skorobogatov), Deep dip teardown of tubeless insulin pump, University of Cambridge.
2. Dr. Tarek (A.Tutunji), Product Teardown
3. THE SMD CODEBOOK
4. Leslie (A.Geddes) , Handbook of Blood Pressure Measurement,, Springer, 1991

(Esta página se deja en blanco a propósito)

PLANOS

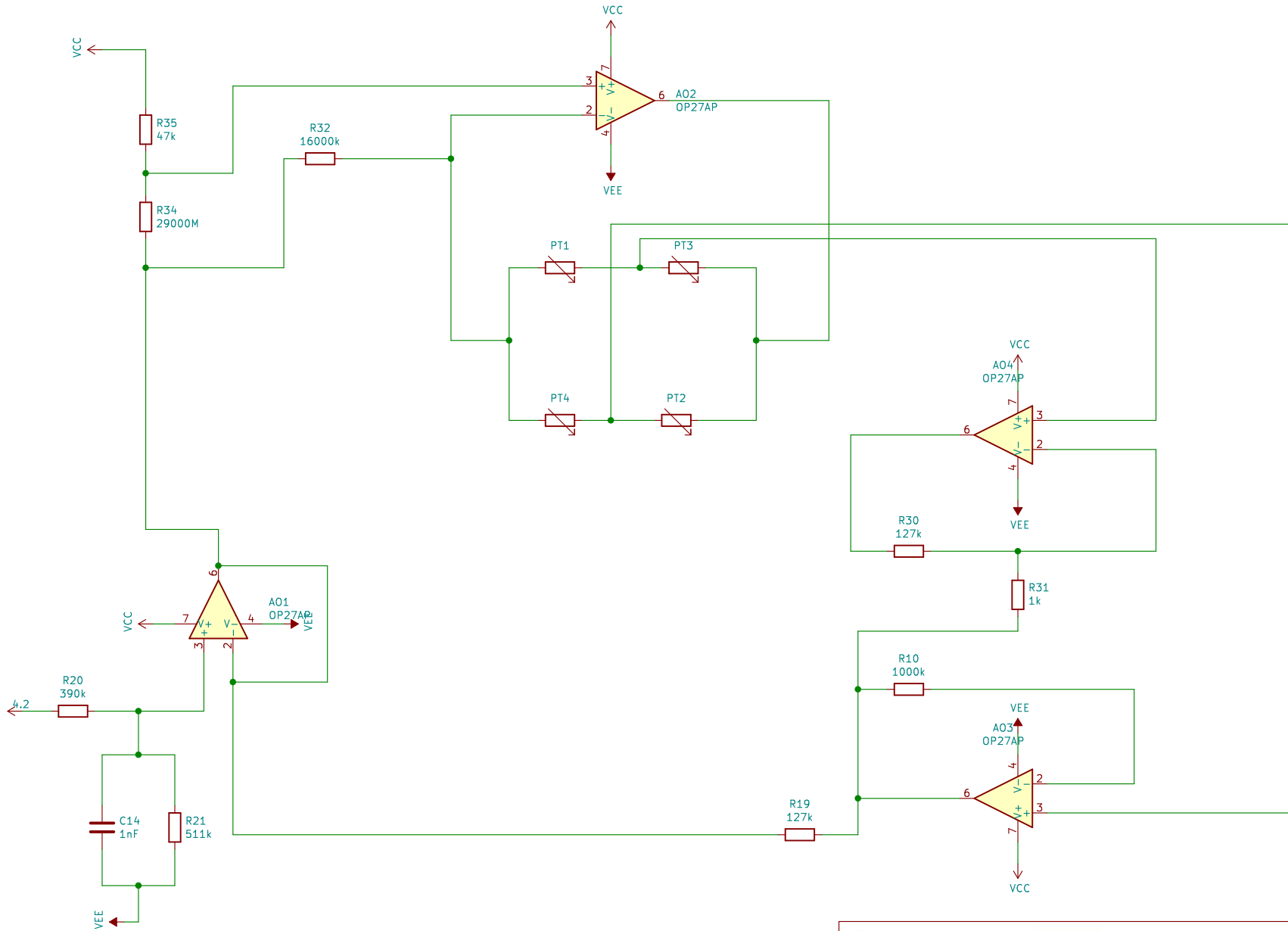
El apartado de planos es uno de los apartados principales de un proyecto de ingeniería, incluido un TFG. En el que nos encontramos es un proyecto de ingeniería inversa, en el cual se ha llevado a cabo un estudio y análisis de un tensiómetro digital, todo ello con el propósito de aportar al contratista la suficiente información como para que partiendo de este documento, él pueda desarrollar su propio tensiómetro digital.

Para el análisis y estudio se ha elegido un modelo de tensiómetro digital que representara un estándar de gama media sobre lo que hay en el mercado. El análisis busca dar una pautas básicas y generalistas sobre tensiómetros digitales, basándose en el modelo analizado. Lo que quiere decir, que se debe de seguir la base de cómo el tensiómetro analizado resuelve el proceso de toma de tensión, pero hay múltiples soluciones y/o componentes validos que lograrían ese funcionamiento base.

Dicho lo anterior, no se ve necesario añadir un apartado de Planos muy extenso al documento ya que no aporta ningún valor al contexto del proyecto, ni tampoco sería acertado ya que hay múltiples componentes o formas de hacer el circuito electrónico o de construir un tensiómetro, que serían validas y seguirían la base de lo estipulado en el documento.

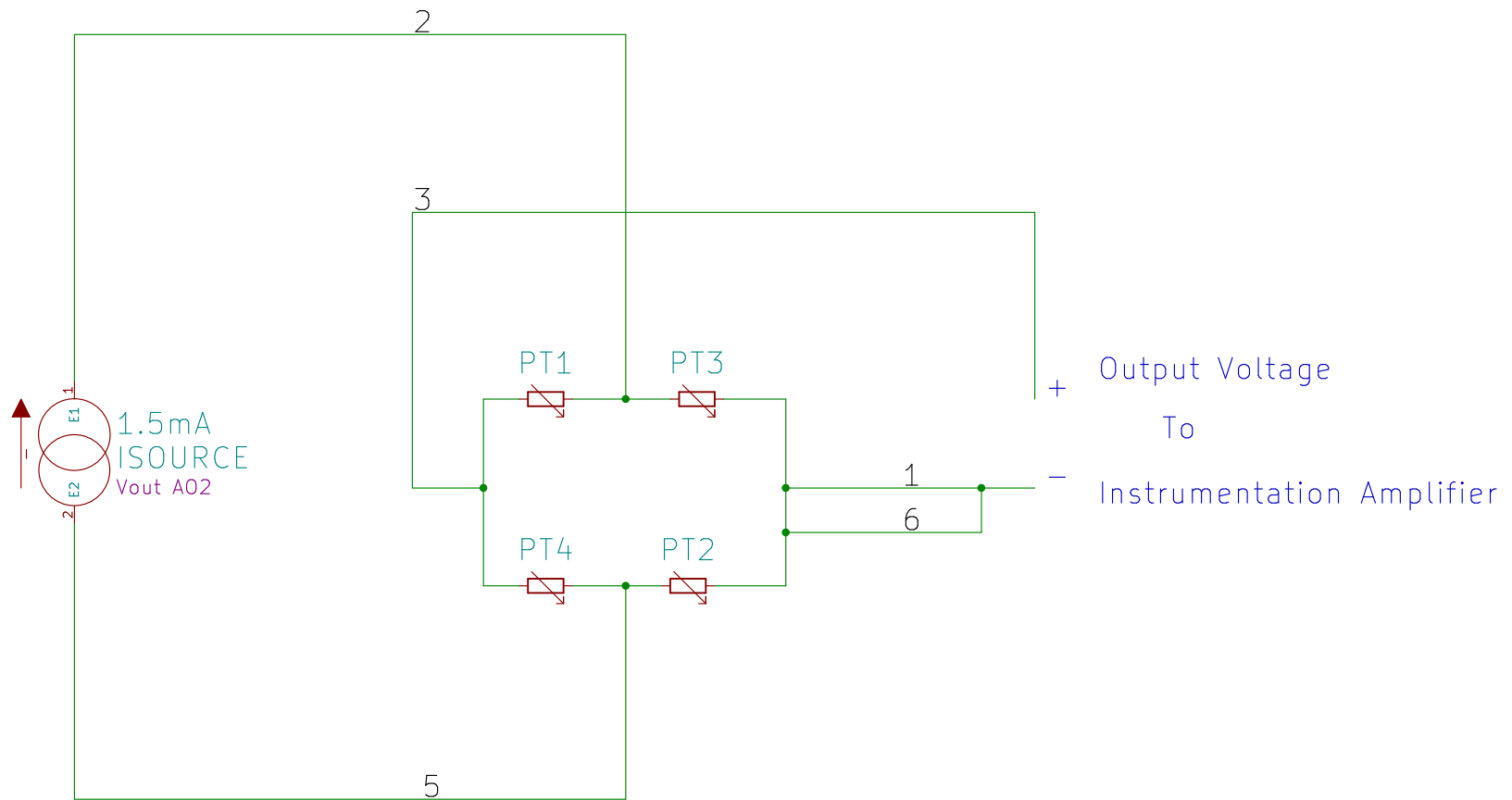
Por ello se cree suficiente con que en el apartado memoria se halla hecho uso de esquemas electrónicos para poder seguir su análisis. Se tienen bocetos estructurales para ayudar a la comprensión de la explicación de cómo funciona algunos componentes principales, así como de otros elementos gráficos.

Por aclararlo mejor, en este documento no se está diseñando nada, si no analizando un diseño y dando unas pautas en base a ello, pautas que tienen múltiples formas de ser logradas. Por lo que no se necesitan planos.



Title: Circuito de Acondicionamiento de Señal del Sensor de Presión

Size: A4	Date: 22/05/2020	Rev:
Armando Seguí López		Id: Plano 1



Title: Circuito Interno del Sensor de Presión

Size: A4

Date: 22/05/2020

Rev:

Armando Seguí López

Id: Plano 2

(Esta página se deja en blanco a propósito)

PLIEGO DE CONDICIONES

1. Objeto

Se trata de un proyecto de ingeniería inversa, el cual pretende mediante un análisis/estudio dar un conocimiento exhaustivo sobre el dispositivo objeto del proyecto. Por lo que es objeto de este Pliego de condiciones dar unas especificaciones sobre tipos de materiales y de componentes, pero dichas especificaciones no son de obligatorio cumplimiento, se puede considerar un material o componente que tenga características similares a lo que se especifica.

De igual forma es objeto de este pliego de condiciones el especificar la función que tienen algunos componentes dentro del dispositivo, pero cabe la posibilidad de tener cambios en su función, si esto aporta una mejora. También es objeto de este documento el aportar una normativa que si será de obligado cumplimiento para esos posibles cambios.

No será objeto el especificar las condiciones de ejecución, pues se tiene múltiples opciones válidas para el desarrollo de un tensiómetro digital. Esta parte se deja de libre elección para los desarrolladores del futuro dispositivo.

2. Normativa

2.1 *Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril*, por el que se aprueba el texto refundido de la **Ley de Propiedad Intelectual**, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia.

2.2 *EN 60601-1*. Equipos electro médicos. Requisitos generales para la seguridad.

2.3 *EN 60601-2-xx*. Equipos electro médicos.

2.4 *EN 60601-1-1*. Equipos electro médicos. Requisitos de seguridad para sistemas electro médicos.

2.5 *Directiva 93/42/CEE* - Productos Sanitarios. Además, también han de cumplir con los requisitos de compatibilidad electromagnética y compatibilidad biológica.

2.6 *Real Decreto 110/2015*, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

2.7 *UNE-EN ISO 13485* Sistemas de Gestión de Calidad en Productos Sanitarios ISO13485

3. Condiciones de los materiales

En este apartado se especifican las condiciones básicas de los componentes que forman el dispositivo, se dividen en diferentes secciones según su naturaleza.

3.1 Electrónica

En esta sección se detallan aquellos componentes que forman parte de la electrónica del dispositivo.

3.1.1 Circuito Acondicionamiento de la señal del sensor de presión

En el caso del dispositivo objeto del proyecto está formado por un integrado modelo 17324/A (Hitachi, Tokio, Japan). El integrado contiene 4 Amplificadores Operacionales del mismo modelo. Puede ser sustituido por un integrado de iguales características o en su caso mejores (Ver Anexo Datasheet).

Este integrado junto a unos elementos resistivos es el encargado de recibir la señal del sensor de presión y acondicionarla a los valores adecuados para ser recibida por el microcontrolador. Sus características más importantes a tener en cuenta son: Nivel de ruido, Error de Ganancia, Error de Offset y Potencia disipada.

3.1.2 Sensor de presión

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata del sensor de presión modelo FPN-07PG (Fujikura, Tokio, Japan), su función es la de recibir la presión relativa del brazalete, por ello debe de situarse en una posición cercana a este. Es el encargado de transformar la presión de aire en una señal eléctrica, por medio de unos elementos resistivos. Puede ser sustituido por un modelo de características similares, teniendo en cuenta que las características más importantes son: Rango de presión, Función de transferencia (mV/mmHg), Regulación de Offset, Tiempo de respuesta y Precisión.

3.1.3 Microcontrolador

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata de un SOC el cual no se ha podido hallar el modelo. Deberá tener además del microchip los siguientes periféricos como mínimo:

- Entradas digitales para la interface de los botones.
- Salidas Digitales para la interface de pantalla.
- Entradas Analógicas para la señal del sensor de presión.
- Salida Analógica para el control de la electroválvula y el motor eléctrico.
- Un convertidor Analógico-Digital y uno Digital-Analógico.

3.1.4 Memoria EEPROM

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata del modelo 220 93C46 (Atmel, San José, California, Estados Unidos) con una capacidad de 1 Kbyte, su función principal es almacenar las medidas de presión arterial junto a la fecha de estas, cuando el usuario decida que es importante almacenarlas. Puede ser sustituida por un modelo similar o incluso hay microcontroladores que la llevan integrada, aunque este no sea el caso.

3.1.5 Elementos Resistivos

En el caso del dispositivo objeto del proyecto son todo resistencias SMD, se desconoce la familia a la que pertenecen. Se aconseja usar SMD de la tolerancia más pequeña posible. En cuanto a su valor óhmico, será el adecuado para cada situación.

3.2 Alimentación

En el caso del dispositivo objeto del proyecto consiste en 2 Pilas AAA de 1.5V conectadas en serie para dar un total de 3 V. Estas pilas tienen cada unidad una capacidad promedio de 900-1150 mAh. Puede ser sustituidas por un elemento de alimentación que procure las mismas condiciones, se aconseja que sea recargable.

3.2.1 Alimentación parte eléctrica

En el caso del dispositivo objeto del proyecto está formado por una serie de transistores comandados por el microcontrolador, junto a unas pequeñas bobinas y condensadores (Ver B.O.M). Todo ello junto tiene el objetivo de alimentar al motor eléctrico y a la electroválvula cuando el microcontrolador mande y alimentarlos con una tensión constante (sin picos ni caídas).

3.2.2 Alimentación parte electrónica

En el caso del dispositivo objeto del proyecto la alimentación general es de 3 V, esta es recibida por el microcontrolador y este ya tiene en su interior los periféricos (salidas digitales y analógicas) encargados de alimentar la electrónica a las tensiones que esta lo requiere. Debe ser una tensión estable pues de lo contrario afectara a la señal del sensor de presión y por tanto a la propia medida de presión arterial.

3.3 Periféricos

Este apartado comprende a aquellos componentes mecánicos o electromecánicos necesarios para el funcionamiento del dispositivo tensiómetro digital.

3.3.1 Motor Eléctrico para tracción de la bomba de aire

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata de un motor de corriente continua de tipo “con escobillas” y alimentación 3 V, no se tiene más detalles, tampoco son necesarios. Su función es la de dar tracción a la bomba de aire que llena el manguito.

El motor será de alimentación DC, sus características de rpm y par serán las suficientes como para mover la bomba de aire, el consumo será el apropiado para la alimentación elegida según la duración de esta que se pretenda. Sus dimensiones serán las adecuadas al diseño estructural del dispositivo.

3.3.2 Bomba de aire

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata de una bomba de aire de dos pistones axiales. Esta bomba debe ser capaz de generar en el manguito una presión relativa de 200 mmHg en el tiempo más corto posible. Esta generación de presión/tiempo es dependiente del modelo de bomba de aire y del modelo de motor que le da tracción, ambos serán elegidos para lograr las especificaciones que se le exijan al futuro modelo.

3.3.3 Electroválvula

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata de una electroválvula 3/2, tiene 2 posiciones y 3 vías. En una posición comunica la bomba de aire con el manguito y cierra el orificio de aire, en la otra posición cierra la comunicación bomba de aire/manguito y comunica el manguito con el orificio de aire calibrado. El orificio calibrado es para que la descarga de aire sea progresiva, como requiere el método de medida de presión arterial.

La alimentación de la electroválvula es por parte de la 3.2.1 Alimentación parte eléctrica, esta es comandada por el microcontrolador de forma que posicione la electroválvula en la posición requerida según situación. La electroválvula si es sustituida será por una que tenga características similares a las anteriormente descritas y logre el objetivo descrito.

En su defecto, será posible diseñar otro tipo de electroválvula si logra el objetivo de la del dispositivo objeto de este documento.

3.4 Estructura

En este apartado se detallan las especificaciones requeridas a aquellos componentes que forman la estructura del dispositivo objeto del proyecto o son parte de ella.

3.4.1 Estructura exterior

En el caso del dispositivo objeto del proyecto está construida en acrilonitrilo butadieno estireno o ABS, de forma que al tratarse de un dispositivo de uso doméstico este sea ligero a la vez que resistente. La estructura exterior deberá ser resistente y ligera como la del dispositivo objeto de este proyecto, así como tener las aristas redondeadas, las demás características son de libre elección.

3.4.2 Tornillos

Los tornillos serán del tipo que el diseño del futuro dispositivo requiera, pero se le pone la condición de que no deben sobresalir de la estructura y/o se realizara un avellanado para que no sobresalgan. De esta forma se pretende evitar los posibles arañazos en la piel al colocarse el dispositivo en la muñeca del usuario.

3.4.3 Muñequera

En el caso del dispositivo objeto del proyecto está construida con una tela hipoalérgica de una textura cómoda. Debe de tener unas dimensiones para contener a la bolsa inflable y ser resistente estructuralmente. También deberá tener algún tipo de sujeción para ser sujeta a la muñeca del usuario, en el caso del dispositivo objeto se trataba de un sistema por medio de velcro.

3.4.4 Bolsa inflable

En el caso del dispositivo objeto del proyecto está construida en Goma de Silicona (SI), que es un elastómero. Tendrá unas dimensiones y forma que logren adaptarse a la muñeca rodeándola, deberá ser resistente a más de 200 mmHg de presión. Contendrá los orificios de comunicación con la electroválvula y con el sensor de presión.

3.5 Interface

En este apartado se detallan las especificaciones requeridas a los componentes del dispositivo que forman la interface entre este y el usuario.

3.5.1 Pantalla

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se trata de una pantalla LCD de 2.5", su función es la de mostrar las medidas de presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco. La presión sistólica se mostrará arriba de la diastólica, pues la primera es la llamada "alta" y la segunda la "baja", así se evitan confusiones. Al ser un dispositivo orientado a personas de la 3ª edad, los datos mostrados en pantalla serán lo bastante grandes como para que no se tengan dificultades a la hora de ser leídos.

3.5.2 Botones

En el caso del dispositivo objeto del proyecto se tienen dos botones, uno que pone en "On" el proceso de toma de tensión y otro que memoriza la medida tomada o muestra anteriores medidas guardadas en memoria. Estos botones son de tipo pulsador y se encuentran cerca de la pantalla, más en concreto en su parte inferior. No se exige que esto tenga que ser así, por lo que se puede modificar su diseño siempre y cuando se tenga en cuenta que la interface del dispositivo debe de ser sencilla y simple.

4. Bill of Materials (BOM)

En este apartado se da dos tablas, una para la PCB de potencia y otra para la PCB de control, estas tablas incluyen la lista de componentes electrónicos del dispositivo objeto del proyecto. Estas tablas tienen como objetivo aportar información sobre las especificaciones de estos componentes para facilitar la tarea de búsqueda de uno similar, si fuera el caso.

Tabla 1.1 BOM Circuito de Potencia

NOMBRE	TIPO	MODELO	VALOR
R10	Resistencia	SMD	1 M Ω
R32	Resistencia	SMD	16 M Ω
R19	Resistencia	SMD	127 k Ω
R34	Resistencia	SMD	29000 M Ω
R35	Resistencia	SMD	43 k Ω
R26	Resistencia	SMD	220 Ω
R25	Resistencia	SMD	47 k Ω
R30	Resistencia	SMD	127 k Ω
R31	Resistencia	SMD	1 k Ω
R20	Resistencia	SMD	390 k Ω
R21	Resistencia	SMD	511 k Ω
R27	Resistencia	SMD	2.9 M Ω
Q7	Transistor	BAY	N/A
Q1	Transistor	DK QE	N/A
Q2	Transistor	BAY	N/A
C12	Condensador	MA 100 16V	100 μ F
C14	Condensador	SMD	
C7	Condensador	SMD	
C6	Condensador	MA 100 16V	100 μ F
U3	Integrado 4 AO	2D36 324 ARP	N/A
U8A	Sensor de Presión	FPN-07PG	N/A
U1	Transistor	H5 07	N/A
L1	Motor DC		N/A
L2	Electroválvula		N/A
L3	BobinaAltafrecuencia	101J	0.1 μ H
D3	Diodo	C5D	N/A

Tabla 1.2 BOM Circuito de Control

NOMBRE	TIPO	MODELO	VALOR
R7	Resistencia	SMD	22 kΩ
R6	Resistencia	SMD	22 kΩ
R5	Resistencia	SMD	22 kΩ
R12	Resistencia	SMD	510 kΩ
R37	Resistencia	SMD	464 kΩ
R36	Resistencia	SMD	10 MΩ
R1	Resistencia	SMD	10 MΩ
R28	Resistencia	SMD	10 kΩ
R11	Resistencia	SMD	10 kΩ
R38	Resistencia	SMD	100 kΩ
R16	Resistencia	SMD	169 kΩ
R18	Resistencia	SMD	3.6 kΩ
R22	Resistencia	SMD	124 kΩ
R13	Resistencia	SMD	22 kΩ
R15	Resistencia	SMD	3.6 kΩ
R14	Resistencia	SMD	10 kΩ
R17	Resistencia	SMD	169 kΩ
R23	Resistencia	SMD	300 kΩ
R22	Resistencia	SMD	124 kΩ
R9	Resistencia	SMD	100 kΩ
Q6	Transistor	BAY	N/A
Q5	Transistor	WA	N/A
Q4	Transistor	WA	N/A
Q3	Transistor	BAY	N/A
C19	Condensador	SMD	
C8	Condensador	SMD	
C17	Condensador	SMD	
C1	Condensador	SMD	
C2	Condensador	SMD	
C16	Condensador	SMD	
C18	Condensador	SMD	
C9	Condensador	MD 2.2 50V	2.2 μF
C21	Condensador	SMD	
C11	Condensador	SMD	
C5	Condensador	SMD	
C16	Condensador	SMD	
U5	Microcontrolador	Rossmax	N/A
U4	Integrado 4 AO	Hitachi 17324/A	2D36 324 ARP
U6	Memoria EEPROM	Atmel 220 93C46	N/A
Y2	Oscilador	H5 07	N/A
D1	Diodo	C5D	N/A

(Esta página se deja en blanco a propósito)

PRESUPUESTO

A continuación, el presupuesto para el proyecto objeto de este documento:

Presupuesto Proyecto de Ingeniería inversa

Fecha 20/06/2020

Descripción	Unidades	Referencia	Precio	Cantidad	Total
Mano de Obra					
Ingeniero Técnico	horas	h1	15,00 €	120	1.800,00 €
Total Mano de Obra					1.800,00 €

Equipos Industriales					
<u>Ordenador portátil</u> <i>e1=(Amortización+Mantenimiento+Energía)</i>	horas	e1	2,50 €	80	200,00 €
<u>Software Ofimática</u> <i>e2=(Amortización+Mantenimiento+Energía)</i> Windows Office	horas	e2	0,20 €	60	12,00 €
<u>Equipos de Medida</u> <i>e3=(Amortización+Mantenimiento+Energía)</i> Polímetro, Medidor LCR, Cámara de Fotos, Microscopio, etc.	horas	e3	0,50 €	40	20,00 €
Total Equipos Industriales					232,00 €

Medios Auxiliares					
<u>Medios auxiliares sobre costes directos</u> <i>Real Decreto 1098/2001 de 12 de Octubre</i> <i>Art.130.3</i>	%		10,00%	2.032,00 €	203,20 €
Total Medios Auxiliares					203,20 €

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL 2.235,20 €

Ref.	Descripción	Importe
c1	Proyecto de Ingeniería inversa sobre un tensiómetro digital de uso doméstico	2.235,20 €
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		2.235,20 €
13%	GASTOS GENERALES	290,58 €
6%	BENEFICIO INDUSTRIAL	134,11 €
SUMA PARCIAL		2.659,89 €
21%	IVA	558,58 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA		3.218,46 €

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de 3.218,46€ (TRES MIL DOS CIENTOS DIECIOCHO EUROS CON CUARENTA Y SEIS CENTIMOS)