



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Sistema para el monitoreo de variables fisiológicas en caninos (MEASY-PET)

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

García Tavera Jorge Hugo

Hernández Bautista Roberto

Hernández Gutiérrez Jaime Omar

DIRECTORA DE TESIS

M.I. Livier Baez Rivas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el fruto del gran esfuerzo de este equipo, pero también es el fruto de tanta gente maravillosa que se cruzó en nuestro camino y fueron partícipes en la realización de este sueño. Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México, nuestra alma máter, por la excelente formación académica que nos ha brindado y por otorgarnos profesores cuyas enseñanzas van más allá de lo escolar y se convierten en lecciones de vida.

Agradecemos por las fantásticas personas que conocimos durante nuestra estancia, como nuestra tutora la Maestra Livier Baez Rivas por su infinita dedicación y su tutela, la cual nos guió en este camino. Gracias a esas personas que pasaron de ser compañeros a grandes amigos, gracias a German, Eduardo, Ricardo, Ana, Ilse por su apoyo.

Gracias a todos aquellos que participaron activamente en este trabajo, a los sujetos de prueba, a Yael, a Karen por su apoyo incondicional, sus aportaciones intelectuales y por nunca aceptar un “no se puede” como respuesta. Gracias a los amigos de cuatro patas que hicieron posibles las pruebas definitivas, gracias a Alaska, a Laika, a Tesla, a Botas, a Shaun y Bungalo. A sus dueños, infinitas gracias.

Yo Hugo, Quiero agradecer a mis padres y a mi hermano por proveerme todo lo necesario para poder lograr esta meta, la cual se las atribuyo a ellos. Por darme todas las herramientas necesarias como persona para poder enfrentarme a cada circunstancia que se me presentará en mi camino. Por todo el apoyo incondicional y todo el amor, sin el cual yo no habría podido culminar este trabajo.

Yo Roberto, Gracias a mi madre y padre por brindarme el apoyo durante todos mis estudios, por estar ahí cuando lo necesite y por escucharme en todo momento, incluso cuando no entendían de lo que hablaba. Sin su apoyo incondicional ni su guía no estaría donde me encuentro, ni mucho menos sería lo que ahora soy. A mis hermanos por su constante apoyo y creer en que podría lograr esto.

Yo Jaime, Gracias a todas las personas que me ayudaron a madurar y crecer, a mis abuelos Jaime, Juanita, Mario, Sara por sus enseñanzas de vida que al recordarlas y repasarlas hacen que mi camino sea más claro. Gracias a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron durante mis estudios, por siempre confiar en mí y en mi sueño. Gracias a mis hermanos por nunca hacer que me rindiera, gracias a todos por hacer posible este sueño y recordarles que si he llegado hasta aquí es porque estuve sobre hombros de gigantes, sobre sus hombros.

ÍNDICE

Objetivos y alcances	1
Resumen	2
Introducción.....	3
Estado del arte	5
Marco teórico.....	11
Taxonomía del perro	11
Historia.....	11
Clasificación	12
Generalidades.....	20
Sistema circulatorio	23
Sistema respiratorio	25
Sistema térmico.....	27
Técnicas de medición.....	29
Tecnología usada	33
Filtros	37
Microcontrolador	40
Transmisión y recepción	42
Capítulo 1. Diseño conceptual	
Identificación de una necesidad y análisis del usuario	44
Requerimientos	45
Especificaciones.....	46
Capítulo 2. Diseño de configuración	
Diagrama de caja negra.....	49
Diagrama de subsistemas.....	50
Exploración de configuraciones.....	51
Candidatos para el subsistema de energía.....	57
Candidatos para el subsistema térmico	57
Candidatos para el subsistema de transmisión.....	57
Propuesta elegida	58
Capítulo 3. Diseño a detalle	
Subsistema de acondicionamiento de energía	59
Subsistema de frecuencia cardiaca y oxigenación	61
Subsistema de temperatura	70
Subsistema de muestreo de datos.....	77
Muestra de la interfaz gráfica	77
Sistema integrado.....	78
Capítulo 4. Pruebas, resultados y análisis de resultados	
Pruebas de los subsistemas	79
Pruebas en humanos.....	80
Resultados de pruebas en humanos	82
Pruebas con el sistema infiniti	85
Pruebas con perros	93

Resultados de las pruebas en perros.....	101
Conclusiones.....	106
Tabajo a futuro.....	108
Referencias	109
Anexos	113
Apéndice a. Clasificación taxonómica del perro	113
Apéndice b. Huesos	115
Apéndice c. Guía de preguntas para las entrevistas realizadas	118
Apéndice d. Diagrama de flujo del programa para recibir, procesar y enviar datos.....	120
Apéndice e. Pseudo código del programa para recibir, procesar y enviar datos	124
Apéndice f. Diagrama de flujo del programa para mostrar datos	126
Apéndice g. Pseudo código del programa para mostrar datos	127
Apéndice h. Protocolo para las pruebas	128
Apéndice i. Carta informativa a los dueños	132
Glosario.....	133

OBJETIVOS Y ALCANCES

Objetivo general

Crear un modelo funcional que satisfaga la necesidad del monitoreo de la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno en la sangre y la temperatura corporal en la especie canina.

Objetivos particulares

Diseño de los sistemas de adquisición y procesamiento de señales:

- Señal de actividad cardíaca.
- Señal de temperatura corporal.

Transmisión:

- Transmisión de datos.
- Visualización de datos.
- Almacenamiento de datos.

Validación de los datos obtenidos.

Alcances

Presentar un modelo funcional capaz de adquirir, procesar, transmitir y almacenar las señales correspondientes a la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno en la sangre.

Pruebas

- Convalidar los resultados obtenidos con sistemas existentes.
- Realizar pruebas en humanos.
- Realizar pruebas en caninos.

RESUMEN

Resumen

En este trabajo se muestra el proceso del desarrollo de un dispositivo capaz de coadyuvar en el monitoreo de la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno en la sangre y la temperatura corporal de los caninos. Se realizó con la intención de convertir este dispositivo en una herramienta para el monitoreo no invasivo.

Con base en un análisis de las necesidades y requerimientos del usuario canino y humano, se seleccionaron las variables fisiológicas que sirven de indicadores son: la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno en la sangre y la temperatura corporal.

Se realizó una búsqueda de dispositivos, métodos de medición y técnicas para poder medir dichas variables para posteriormente realizar combinaciones de conceptos y propuestas para poder plantear una solución.

La solución mostrada en este trabajo es un dispositivo capaz de medir, de manera no invasiva, tres variables fisiológicas en caninos: Frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal mostrando los resultados en un dispositivo móvil.

Abstract

In this work it is shown the process of the development of a device able to help the monitoring of heart rate, saturation of oxygen in the blood and the corporal temperature of the canines. It was made with the aim of converting this device into a tool for the non-invasive monitoring.

Based on an analysis about the necessities and requirements of the canine user and the human user, it was selected the physiological variables are helpful to be indicators, and they are: heart rate, saturation of oxygen in the blood and the corporal temperature.

It was made a search of devices, measurement methods and technics to measure those variables and later make combinations of concepts and purposes to set a solution.

The showed solution in this work is a device able to measure, in a non-invasive way, three physiological variables in canines: heart rate, saturation of oxygen in the blood and the corporal temperature showing the results on a mobile device.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los perros en la sociedad humana

El perro y el ser humano llevan muchos siglos de convivencia, primero por necesidad y después por amistad. Lo que empezó como una relación de mutuo “uso” el humano utilizaba al perro para proteger a su ganado, para ayudarse con la caza, etc. y el perro nos utilizaba para conseguir comida y cobijo, se ha transformado en una de las amistades más consolidadas del mundo: cariño, juegos, protección o trabajo

Cabe mencionar que, debido a las aptitudes del perro, cumple con otras funciones que son muy importantes en nuestra sociedad, como salvar vidas humanas, evitar catástrofes, son utilizados en el campo de la medicina siendo utilizados en terapias para individuos autistas, parálíticos cerebrales, en personas deprimidas o en víctimas de la violencia¹.

Crecimiento de los perros como mascotas

De acuerdo con información de empresas relacionadas al sector, seis de cada 10 familias mexicanas tienen alguna mascota en casa, 84% de ellas tiene un perro y 16% gatos.² México ocupa el segundo lugar mundial en cuanto al número de mascotas, gracias a que siete de cada 10 hogares cuentan con una y el primer puesto hablando de perros en América Latina. Hay 19.5 millones de perros en México.

Menciona la agencia internacional GFK, por sus siglas en alemán *Nürnberg Gesellschaft für Konsumforschung* (Sociedad de investigación de consumo de *Nürnberg*), que 22 países encuestados, Argentina, México y Brasil tienen el mayor número de mascotas por persona. México ocupa el segundo lugar, con el 64% de la población con una mascota. El Gabinete de Comunicación Estratégica, empresa de investigación de mercados, señala que los hogares mexicanos que cuentan con mascotas, en su mayoría perros y gatos, gastan poco más de 200 dólares mensuales en comida, veterinario, peluquería y otros servicios relacionados al bienestar animal³.

Por lo que cada día se vuelve más común ver mascotas en las familias, y que muchas personas adoptan como un miembro más. Por ello, hoy en día existen diversos productos y servicios destinados sólo a las mascotas, ya que al adoptarlo se convierte en una responsabilidad de 12 o 15 años. El crecimiento de mascotas en los hogares ha provocado que el mercado de productos y servicios para mascotas crezca. Las ventas mundiales de productos y servicios para el cuidado de mascotas aumentó hasta un 14% en sólo cinco años (entre 2012 y 2017), lo que supone un crecimiento global de 13.000 millones de dólares (10.500 millones de euros), y unas ventas totales de 88.200 millones de euros⁴. En países como España se calcula que el consumo en el 2016 un 2.5% más de volumen en euros que en 2013, se calcula que se destinó 1,800 millones de euros donde un perro

muestra un consumo anual oscila entre 275-373 euros mientras el consumo de un gato oscila entre 175-299 euros al año⁵.

Un lazo fraternal

Las mascotas forman una parte importante en la vida de sus dueños, llegan a formar lazos casi fraternales y a ser considerados miembros indiscutibles de la familia. Éste fenómeno se ha fortalecido actualmente debido a que quienes nacieron entre 1980 y el año 2000 están postergando o evitando formar una familia, es aquí donde las mascotas, en muchas ocasiones son capaces de formar lazos fraternales con sus dueños, inclusive aun cuando sus dueños ya tienen una familia pueden formar un lazo fraternal.

ESTADO DEL ARTE

Con el paso del tiempo los humanos han desarrollado técnicas, métodos, medicinas etc. Para mantenernos sanos y poder detectar oportunamente alguna enfermedad. De igual manera, la necesidad de mantener sano, prevenir y monitorear a la mascota ha provocado el desarrollo de nuevos métodos y tecnología para la detección oportuna de alguna enfermedad.

Existen artefactos que buscan monitorear variables fisiológicas ya sean de humanos o de animales para procurar su bienestar, es por ello que observaremos dispositivos similares al que se pretende realizar, veremos los campos vistos desde un enfoque nacional hasta ver un enfoque internacional.

Dispositivos nacionales similares

Detección de signos vitales en ratas mediante métodos no invasivos

Se plantea un equipo para poder llevar a cabo mediciones de frecuencia cardiaca, pulso pletismográfico, presión asistólica, presión diastólica y frecuencia respiratoria, estas mediciones se llevan a cabo en ratas de laboratorio y para ello se opta por un llevar a cabo una etapa de acondicionamiento de señal para posteriormente se convertida y que la computadora pueda leer los datos anteriores y así poder almacenar e imprimir los datos recabados⁶.

Chamarra Inteligente

Una chamarra inteligente para corredores que se conecta a través de una app al smartphone de los usuarios para monitorear el ritmo cardiaco, temperatura corporal y registro del recorrido de la ruta⁷.

Chaleco que monitorea pulso cardiaco

El chaleco tiene un mecanismo de tres partes: circuitos eléctricos que miden el pulso cardiaco, sensor de posición corporal y transmisor de alertas. Esto, para que pueda cumplir los propósitos de monitorear y evaluar la normalidad de los signos vitales; detectar la posición del usuario y mandar un mensaje de alerta cuando se detecta una situación de peligro para la salud⁸.

Dispositivos internacionales similares

Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals

Los animales de granja son de gran utilidad debido a que proporcionan diferentes suministros de alimento para los humanos, el estrés que ellos sienten pueden afectar negativamente en su salud y es por ello que se opta por el monitoreo de los niveles de estrés

mediante análisis químicos, en ellos se busca glucocorticoides los cuales pueden ser encontrados en la sangre de los animales, pero dicho proceso resulta molesto para los animales analizados y para ello se tiene que buscar métodos no invasivos. La alternativa para llevar a cabo este monitoreo es el uso de otras sustancias provenientes de los animales como, por ejemplo: la leche, las heces, orina entre otras, de los cuales se puede llegar a obtener los glucocorticoides⁹.

Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring

El uso del electro cardiograma así como de la fotoplethysmografía se han usado para poder medir el pulso cardiaco, cada uno tendrá características propias del sistema y con ello se tendrá también problemas particulares, como lo son la toma de lectura puesto que para el primero se tendrá que medir voltajes y eso requiere que los conductores expuestos tengan la menor resistencia posible y del segundo se presentan problemas cuando la luz emitida no llega correctamente al objetivo (arterias) lo que no permite una buena medición, estas variables están presentes en los caninos puesto que cada raza tiene diferentes características (pelo, grosor de piel, cantidad de grasa, etc.)¹⁰

Auto que registra el ritmo cardiaco

Un centro de investigación de la fábrica Ford en Alemania avanza en el desarrollo de un auto que pueda medir el ritmo cardíaco y los latidos de su conductor a través de la electrónica y las computadoras instaladas en el propio automóvil¹¹.

Inupathy

Es una empresa japonesa de Joji Tagamuchi¹², la cual en el 2015 se creó y lanzó su primer producto, un collar con un diseño atractivo a la vista, el cual provee al dueño información acerca del estado de su mascota. Dicho collar cuenta con actuadores visuales, luces las cuales cambian de color dependiendo el estado de ánimo del animal, el cual es basado por la medición del pulso cardiaco.

Inupathy ofrece sus collares que te ayudarán a saber el estado de ánimo de tu mascota y vivir de una manera más plena, debido a que ahora tu podrás saber sus necesidades. Además, se ofrece un sistema de recopilación de datos, en una nube recopila la información y crea un historial.

El producto ofrecido por Inupathy, véase en la imagen 1, tiene una duración de batería de alrededor de 11 a 12 horas, y está diseñado para perros que oscilen entre los 4 kgs y 40 kgs, el cinturón transmite información al dueño a una aplicación por medio de tecnología inalámbrica bluetooth. Y tiene un costo de 120 dolares. En la siguiente imagen podemos observar como es el dispositivo puesto en un perro.



Ilustración 1: Dispositivo lupathy.

En la ilustración 2 se puede observar un diagrama sobre el funcionamiento de INUPATHY



Ilustración 2:Sistema INUPATHY.

PetPeace

Otra empresa y la más consolidada en la venta de sistemas de monitoreo es PetPeace¹³, la cual ofrece collares, que a diferencia de los anteriores mide varias variables fisiológicas como: temperatura, pulso cardiaco, respiración, niveles de actividad, posturas, calorías consumidas y HRV (*Heart Rate Variability*). Muchas de las variables que mide se obtienen a través de la medición del pulso cardiaco y otras más que son más específicas.

Petpeace se enfoca en vender un producto el cuál sea de ayuda al cuidado y prevención de alguna enfermedad a tu mascota, por lo que el monitoreo continuo y de diversas variables tienen el fin de tener un historial y un chequeo contante de la mascota, dicha información es enviada al veterinario para ser checada.

El diseño del collar parece sencillo y poco atractivo a la vista, sin embargo, la cantidad de variables que mide hace que sea lo menos importante. Este dispositivo transmite a un receptor intermedio antes de llegar al receptor final, una especie de modem donde se recibe la información del collar y se retransmite al usuario y al veterinario.

El costo de este collar varía dependiendo del tamaño del animal y de por cuanto tiempo quieras contratar el servicio de medición, ya que la App que utiliza se renta por un tiempo definido. Los precios van desde 150 dólares hasta 320 dólares. Y el sistema se puede apreciar en la figura 3.



Ilustración 3: Collar PetPeace.

Técnicas de medición actuales

Es un hecho que, al igual como sucede en los humanos, la medición de signos vitales (temperatura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y tensión arterial) en otras especies es de suma importancia para detectar anomalías en la salud del individuo, sin embargo, a pesar de la importancia que esto representa, el desarrollo tecnológico dedicado a este campo se ha visto diferenciado en otras especies con respecto al desarrollo ya existente en humanos.

Alrededor del mundo existen diferentes dispositivos destinados al uso veterinario para medir distintas variables fisiológicas, tales como, temperatura y ritmo cardíaco, pero, su nivel de desarrollo aunado a las complicaciones que involucran las características de las diferentes especies, como pelaje y grosor de la piel, complican la tarea de adquirir de manera acertada y sencilla dichas variables.

Existen diferentes técnicas que se han adquirido empíricamente, sin embargo, estas técnicas no proporcionan un diagnóstico acertado, debido a que se basan en la apreciación de la persona que realiza la medición. Por ello estas técnicas ya no son útiles, por lo que es necesario contar con la ayuda de un equipo que pueda obtener mediciones confiables y rápidas.

Cuando se habla de una situación nacional, podemos encontrar que se cuenta con equipo veterinario variado donde para tomar los signos vitales se pueden usar desde los métodos mencionados anteriormente, donde basta con la intervención de nuestros sentidos ya sea para sentir la temperatura corporal del perro y contar las veces que sentimos latir su

corazón hasta equipo sofisticado que con la ayuda de un par de pinzas del tipo caimán-caimán es posible obtener la frecuencia cardíaca y en algunos casos la saturación de oxígeno en la sangre. De igual manera sucede con la temperatura. Podemos encontrar diferentes tipos de termómetros, desde los de tipo invasivo que tienen que ser introducidos en el ano del sujeto en cuestión hasta los del tipo óptico, muy parecidos a los que se utilizan para obtener la temperatura por medio de métodos ópticos en los seres humanos, pero estos vienen configurados con base en los parámetros naturales de los perros.

Medición de temperatura con un termómetro de mercurio

La medición con un termómetro de mercurio es relativamente fácil, se necesita introducir el termómetro por el recto, máximo una pulgada. Ya adentro, se debe sostener firmemente dos minutos para una lectura fiable¹⁴. La siguiente imagen muestra la postura correcta para colocar el termómetro en el recto.

Medición de temperatura con un termómetro óptico

Se encontró la página del termómetro infrarrojo para mascotas termómetro infrarrojo “092-RC004T”, en su página dice que la temperatura de un perro se puede medir con este tipo de termómetro que utiliza métodos ópticos, la técnica consiste en tomar la lectura en alguna de las siguientes zonas.



Ilustración 4: Zonas para medir la temperatura.

Medición de la frecuencia cardíaca con el tacto

A través del tiempo se han desarrollado diferentes formas para medir variables fisiológicas sin algún dispositivo, tal es el caso de la frecuencia cardíaca. Estas formas “alternativas” para medir variables fisiológicas se han ido divulgando, y una de las más simples para medir la frecuencia cardíaca consiste en poner la palma de la mano en el costado del animal para apreciar sus latidos del corazón. Basta con contar y medir, como lo haríamos con nosotros mismos¹⁵. La siguiente imagen ilustra una de las posiciones para poder sentir los latidos del corazón y así obtener la frecuencia cardíaca. Una técnica se ejemplifica en la imagen 5.



Ilustración 5: Técnica para tomar frecuencia cardíaca.

Medición de la frecuencia cardíaca con un estetoscopio

Similar al método utilizado para medir el pulso cardíaco con el tacto, este método consiste en utilizar un estetoscopio para poder contar los latidos y entonces poder obtener una medición. En la imagen 6 se ilustra cómo es aplicada la técnica.



Ilustración 6: Tomar pulso cardíaco con estetoscopio.

MARCO TEÓRICO

Taxonomía del perro

El nombre científico de los perros es *Canis Lupus* y pertenecen al reino animal ya que son caracterizados por tener glándulas mamarias, pelo y mandíbulas pertenecen a la clase “Mammalia”, por la forma de sus molares pertenecen a la orden “Carnivora” y a la familia “Canidae”, donde podemos encontrar una amplia variedad de mamíferos como los son los lobos, coyotes, zorros, chacales entre otras especies.¹⁶

Historia

Es posible que en lugar de que el hombre haya domesticado al perro voluntariamente, los perros se hayan adaptado espontáneamente a vivir con el hombre. Esto se debe a que vivir junto al hombre les es ventajoso. Un perro viviendo con un hombre, aún en la antigüedad, podía comer con menos esfuerzo que uno salvaje; podía vivir en mejores condiciones y disfrutar del afecto humano.

Todo parece indicar que el perro es una subespecie doméstica del lobo gris, según la comparación de los mapas genéticos de ambas especies. La evidencia fósil más antigua de un perro domesticado fue encontrada en 2008 en la cueva Goyet de Bélgica, correspondiente a unos 31.700 años¹⁸. Hasta entonces las pruebas más antiguas se habían encontrado en Rusia, pertenecientes a hace 14.000 años (Eliseevich). El hombre consiguió domesticar a ejemplares de lobos; es muy probable que el perro haya sido el primer animal domesticado. El perro era útil como ayuda en la caza y para defender al grupo y su morada. Poco a poco, el hombre los adaptó a sus necesidades, creando diferentes razas para las distintas labores y características ambientales y geográficas.

El hombre se dio cuenta rápidamente de los finos sentidos del olfato y el oído que tenía el perro; su olfato es más potente que del humano (su área olfatoria es 20 veces más gruesa, y en el caso del Pastor Alemán con 40 veces más células olfatorias) y su oído es capaz de percibir sonidos muy por debajo y por encima del rango que oyen los humanos. Esta ventaja aumenta su utilidad en la caza y las labores de guarda. Su uso como pastor y protector de los rebaños es bastante posterior. Al ser un animal de costumbres sociales, que convive en grupos perfectamente jerarquizados, se adaptó a convivir con los humanos.

Los perros son muy valorados por su ayuda en la caza. Los perros enterrados en el cementerio mesolítico de Svaerdborg en Dinamarca muestran que, en la antigua Europa, eran ya una valiosa compañía.

Los perros siempre han acompañado al hombre en su proceso a la civilización; su presencia está probada en todas las culturas del mundo, así en Perú en la etapa preincaica, los mochicas los usaban como ayuda de caza y también como mascotas en casa. En el entierro del Señor de Sipán, se encontraron dentro de las tumbas restos de un perro que seguramente se usó en la caza, ya que el cráneo tenía perfectamente desarrollados sus

molares. El cráneo y los dientes del perro doméstico han disminuido de tamaño con relación al lobo al no necesitar matar presas grandes. Así mismo, al pasar de una dieta de carne a una constituida por los desechos provenientes de la alimentación de los humanos, desarrollaron cerebros más pequeños que requieren menos calorías y menos proteínas para su crecimiento y sustento. La percepción del perro por parte del ser humano ha variado y varía según las culturas, en varias etnias americanas anteriores a 1492, tal y como aún ocurre en zonas del Extremo Oriente Asiático, los perros eran usados directamente como alimento; en zonas del Oriente Medio el perro ha sido asociado por su aspecto con los chacales (de hecho científicamente se creyó hasta el desarrollo de la genética a fines del siglo XX que los perros comunes de todo el mundo eran descendientes de chacales) y al ser los chacales animales principalmente carroñeros, los perros también han sido considerados impuros en esa zona. Quizás la única especie de perro que no desciende del lobo es el perro fueguino que descendería del culpeo.

Durante miles de años se lleva a cabo la transformación del lobo al perro, el cual se adaptó como ninguna otra especie a las necesidades del ser humano. El largo proceso de domesticación, la efectiva selección realizada por el hombre y la crianza orientada a satisfacer sus diversas necesidades, llevaron a crear las diferentes razas caninas, adaptándolo a los más diversos climas y diferentes geografías.

Cuando un animal es domesticado sufre varias modificaciones en su morfología y comportamiento, y en el caso del perro¹⁹:

Esqueleto. Menor talla y peso del cerebro, reducción del cráneo, acortamiento hocico, huesos más frágiles que los del lobo, etc.

Exterior. Orejas colgantes, variedad de colores, ojos redondeados.

Cerebro. Disminución del 20-30% del peso del cerebro.

Expresiones vocales. Disminución o desaparición del aullido, aparece el ladrido, desarrollo del gemido.

Expresiones corporales. Persistencia del juego hasta en la adultez.

Desarrollo general. Más rápido tanto mental como físico, dieta más omnívora.

Reproducción. Pubertad más precoz, celo 2 veces al año, macho fértil todo el año.

Salud. Menos resistencia a enfermedades y parásitos.

Hoy en día, los hombres han cruzado cientos de razas de perros domésticos, 343 aproximadamente²⁰, divididas en 10 grupos, algunas de las cuales jamás podrían sobrevivir en libertad. Pese a la gran diversidad de razas, formas y tamaños, todos los perros domésticos, ya sean terranovas o caniches, son miembros de la misma especie: *Canis familiaris*

Clasificación por raza

Una forma de clasificar a los perros es por su raza, que son ciertas características que comparten ciertas especies que hacen que se diferencien unas de otras. La *Federación Cinológica Internacional (FCI)*, que es el organismo que mundial que se encarga de estipular los estándares de cada raza de perros, reconoce 343 razas las cuales clasifica en 10

grupos distintos. Además, existe una categoría extra donde se agrupan todas aquellas razas que la misma organización no ha admitido de forma definitiva.

Las razas de perros se subdividen en dos grandes grupos relacionados directamente con el modo de crianza²¹:

- Las razas puras o de selección son razas las cuales su pureza de sangre se ha llevado a cabo durante siglos, sin haber sido cruzados con razas distintas.
- Las razas mixtas o perros mestizos, son los que se obtienen a partir de los cruces de otras razas ya existentes.

Cada perro para ser clasificado en una raza debe de contar con parámetros fijos que la FCI estipula. Dichos parámetros como el tamaño, el pelo, entre otros, sirven para identificar una raza entre otras. En la tabla 1 se muestran cómo se clasifican las razas según la FCI en diez grandes grupos.

Grupo	
1	Perros de pastor y perros boyeros (excepto perros boyeros suizos)
2	Perros tipo pinscher y schnauzer - Molosoides - Perros tipo montaña y boyeros suizos
3	Terriers
4	Teckels
5	Perros tipo spitz y tipo primitivo
6	Perros Tipo sabueso, perros de rastro y razas semejantes
7	Perros de muestra
8	Perros cobradores de caza - Perros levantadores de caza - Perros de agua
9	Perros de compañía
10	Lebreles

Tabla 1: Clasificación de razas según la FCI.

Clasificación por tamaño y/o peso

Los perros también se pueden clasificar por su altura y de acuerdo con la AKC (American Kennel Club) existen 5 grupos, esta altura la medimos a partir del suelo hasta la cruz del animal, así como se puede observar en la figura 7²².

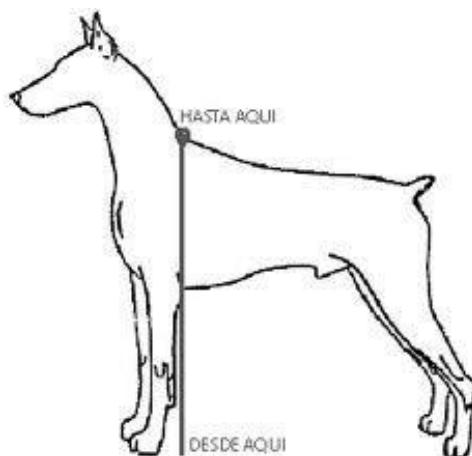


Ilustración 7: Técnica para medir la altura de un perro.

Los grupos son mostrados en la tabla número 2:

Grupo	Peso [kg]	Altura [cm]
Miniatura	5-	30-
Pequeños	5-10	30-41
Medianos	10-25	42-57
Grandes	25-35	58-64
Gigantes	35+	65+

Tabla 2: Clasificación de grupos en peso y altura.

Clasificación por actividad

Una de las formas más comunes es la de clasificar a los perros según las actividades que desempeñan dentro de la sociedad, son muchos los usos que se les da a los perros en nuestros días como lo son: compañía, guardia y protección, policías, guardia, pastores, caza, asistencia médica, búsqueda, rescate y de trabajo.

Perros de Compañía

Hace algunos siglos, la posesión de algún perro como mascota en las cortes reales se popularizó, y se extendió la moda en varias partes del mundo. Los perros criados como mascotas anteriormente habían tenido un trabajo en específico, una gran cantidad de razas y muchos de ellos suelen ser pequeños y muy mansos. Unos otros en años posteriores fueron creados con el propósito específico de ser una mascota. Entre estas razas tenemos a: Bulldog Inglés, Shih Tzu, Chihuahua, Lhasa Apso, Pequines, Pomerania, Spitz, Bichones, Carlino entre otros.

Psicólogos, psiquiatras y estudiosos del comportamiento humano, tras numerosos estudios realizados en el campo de las terapias con animales han llegado a la conclusión de que las relaciones del hombre con los animales de compañía tienen efectos muy positivos y beneficiosos. Los animales se utilizan en terapias para individuos autistas, parálíticos cerebrales enfermos terminales, personas con enfermedades mentales, en trastornos del comportamiento, en personas deprimidas o en víctimas de violencia. En países pioneros en este campo se han desarrollado programas de animales de soporte para personas sordas, epilépticas, inválidas e invidentes²³ como se puede apreciar en la imagen 8.



Ilustración 8: Perro de Terapia.

Dentro de las múltiples actividades que un perro puede realizar en nuestra sociedad actual está la de guardia y protección, donde los caninos utilizan algunas de sus increíbles características para llevar a cabo un amplio número de actividades, este tipo de actividades se pueden dividir de la siguiente manera:

Perros policía

Este tipo de perros son entrenados desde cachorros para después ser asignados a un cuerpo policiaco donde cumplirán alguna de las siguientes funciones:

- Detectar, debido al asombroso olfato de algunas especies, pueden cumplir con la función de detectar, los perros pueden llegar a detectar explosivos, minas, tabaco, animales exóticos, narcóticos entre un sinnúmero de artículos ilegales y con ello facilitar y agilizar la detección a los policías. En la siguiente imagen podemos ver parte del entrenamiento.
- Intervención, un poco conocida pero igual de importante, a los perros se les utiliza para la protección y rescate de personas, además para buscar a los delincuentes.
- Función científica, gracias a sus cualidades como rastreadores pueden ayudar a localizar cadáveres y a reconocer sospechosos.

Existen diversas características que deben tener un perro policía, entre las principales que son indispensables para su adiestramiento deben de ser activos, fuertes y robustos, también debe de existir un buen instinto de caza. En cuanto a su comportamiento deben de ser tranquilo, inteligente y sacrificado. A pesar de que las exigencias en cuanto a su condición física son altas, también deben ser las exigencias en cuanto a su capacidad de concentración ya que deben ser capaces de tener la capacidad de pasar por desapercibida a una perra en celo, hecho complicado debido al instinto natural de estos animales. Para conseguir esta gran característica se someten a grandes distracciones como ruidos muy fuertes, petardos, disparos, explosiones y gritos²⁴. En la imagen 9 podemos observar un perro siendo entrenado.



Ilustración 9: Perro policía en entrenamiento.

Perros Guardia

Después de ser domesticados, uno de los primeros trabajos para lo que los humanos emplearon a los perros fue para brindar defensa y protección, lo que es bien conocido como perro guardián, un ejemplo lo tenemos en la mitología con el guardián del Hades.

Este tipo de perros son entrenados para actuar en caso de alguna agresión al dueño, o a cualquiera que se les haya consignado a cuidar y proteger, normalmente se encuentran a este tipo de perros laborando en lugares como casas, bodegas y algunos lugares oficiales gubernamentales.

Además de sus características físicas que pueden variar debido a que no siempre utilizaremos al perro para atacar, para lo cual necesitamos características físicas como lo son fuerza y una apariencia impactante, sino que muchas veces bastará con que el perro nos avise con sus ladridos de la presencia de extraños, pero minimizando el riesgo de lesiones sobre el intruso no autorizado ²⁵ para ello no es necesario las características físicas antes mencionadas de presentar otras características como tenacidad, valentía, fuerza, lealtad y obediencia. Un ejemplo de entrenamiento de perro guardia se puede apreciar en la imagen 10.



Ilustración 10: Perro guardián en entrenamiento.

Perros Pastores

Durante muchos siglos, fueron utilizados perros para ayudar al humano con el movimiento y cuidado del ganado tanto bovino como ovino e inclusive controlar a venados y pollos. Un buen perro pastor, persuade a las ovejas para moverlas. Existen diversas y muy variadas razas de perros pastores y esto se debe a las diferentes áreas y condiciones geográficas. En una descripción corta un perro pastor es activo, inteligente y con unos pelajes muy distintivos.

Tiempo atrás estas razas solían ser más grandes y fuertes, para defender al ganado de amenazas como lobos u osos, con el paso del tiempo fueron adaptándose hasta ser más pequeños y ágiles para tener un mejor control de los rebaños. Entre las razas de pastor tenemos: pastor alemán, pastor inglés, welsh, pastor belga, corgi, schnauzer gigante y la raza collie.

Perros de Caza

Estos perros son criados para perseguir a una presa, suelen ser de tamaño mediano, pelaje corto y una complexión atlética. Por la metodología de caza podemos dividir a estos en dos grandes grupos, los que cazan por vista o los lebreles.

Un perro de caza necesita grandes espacios para ejercitarse y no siempre se adaptan bien a la vida de ciudad. Se tiene: Hound, Sabuesos y el Teckel.

Perros de asistencia médica

Además de los perros utilizados para brindar apoyo a la terapia con animales, éstos animales pueden ayudar a la salud de un paciente de otros modos, según un artículo publicado por la revista médica “British Medical Journal” (BMJ), los perros pueden detectar el cáncer de intestino mediante el uso de su olfato, esto con un gran nivel de precisión incluso cuando la enfermedad se encuentra en una fase inicial. De acuerdo con

sus investigaciones, los autores indicaron que existen componentes químicos de cáncer específicos que circulan por el cuerpo humano y que un perro puede oler, lo cual fue posible descubrir gracias a un experimento con un perro labrador adiestrado, que realizó durante varios meses pruebas de olfato entre las que se incluyeron test de alimento y muestras de heces de los participantes. Los participantes hacían en total un número de 306 personas de las cuales 48 eran personas diagnosticadas con cáncer de intestino y 248 personas no sufrían de la enfermedad o habían padecido de esta en el pasado.

Los resultados que arrojó el experimento fueron reveladores, pues el perro identificó qué pruebas eran cancerosas y cuáles no en 33 de 36 test de aliento y en 37 de 38 pruebas de heces, con las mayores tasas de detección entre las extraídas de las personas que tenían la enfermedad en su fase inicial.²⁶ Así como lo podemos ver en la imagen 11.



Ilustración 11: Perro olfateando muestras de heces humanas.

Parecido a los perros de compañía, un fin medicinal que se le ha dado a los caninos es el de evitar el estrés, debido a la cualidad de convivir con un perro ayuda a eliminar el estrés laboral, sentir felicidad y hasta llenar el vacío de una persona que no se encuentra cerca. Hay gente que se acostumbra a hablar con su mascota, sin proponérselo, están practicando una terapia de relajación.

Inclusive acariciar constantemente a una mascota ayuda a liberar una sustancia denominada oxitocina, que ayuda a reducir los sentimientos de estrés, ansiedad y depresión.²⁷ Debido a ello es que a veces se les encuentra en hospitales para animar a los pacientes, principalmente terminales o el área de pediatría. Como se puede apreciar en la imagen 12.



Ilustración 12: Perro con un paciente de cáncer.

En otro campo de oportunidad de ayuda a la medicina podemos encontrar perros que detectan ataques de epilepsia antes de que ocurran, esto es posible, según los expertos, gracias a algunos signos como el olor, los cambios en el tono de voz o en el comportamiento, los perros detectarán este tipo de señales y avisarán a sus dueños para que estos puedan tomar precauciones, también es importante reconocer que la labor de este tipo de perros no termina ahí, al término de las convulsiones el animal ayudará a su dueño a reponerse de la confusión y desorientación que este tipo de ataques pueden producir. Es importante recordar que un perro puede ser entrenado para realizar diferentes tareas en función de las necesidades que sus dueños puedan tener²⁸. Esto lo podemos ver claramente en la imagen 13.

Perros de búsqueda y rescate



Ilustración 13: Perro auxiliando a un paciente después de un ataque epiléptico.

Los pioneros en esta especialidad fueron los suizos, debido a que emplearon perros en avalanchas de nieve. En 1972 Urs Ochsenbein desarrolló el Método suizo, donde después se unieron los alemanes y los franceses. Desde el año de 1954 las escuelas suizas, alemanas y americanas adiestraron a un sin número de perros de rescate.²⁹

Nuestro país no es ajeno a este tipo de servicios brindados por los perros, debido a que, a lo largo de la historia, nuestro país ha experimentado numerosos terremotos, donde la labor de los perros rescatistas se hizo presente de manera subrayada el pasado 19 de septiembre del año 2017, donde alrededor de la una de la tarde con 15 minutos ocurrió un terremoto de magnitud 7.1 grados en la escala de Richter.

Los perros que desempeñan la búsqueda y el rescate tienen las siguientes características:

Resistencia y agilidad, el trabajo de búsqueda y rescate tiene como propiedad inherente dificultades y el perro debe de ser capaz de soportar dichas dificultades para llevar a cabo la tarea, es por ello por lo que perros de pequeñas especies no suelen ser utilizados para este tipo de tarea.

Perfectamente socializado, el perro debe estar acostumbrado a estar en contacto con muchas personas y otros animales, además de que debe estar acostumbrado a pasar por situaciones estresantes, esto con el fin de que a pesar de que se encuentre en dichas situaciones no se distraiga de su objetivo. Ejemplos de perros de rescate en México son los siguientes.

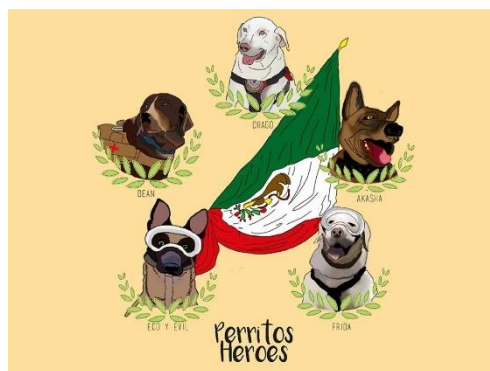


Ilustración 14: Imagen de los héroes caninos del 19 de septiembre del 2017.

Perros de Trabajo

Alrededor del mundo los perros han sido adaptados a una gran variedad de trabajos, esto se refleja en la gran diversidad de razas existentes. Sus funciones son variadas y van desde tirar de los trineos a través de las nieves y el hielo, resguardar las propiedades, el ganado y en épocas más actuales han ido más allá al tener funciones más específicas como ayudar a gente con discapacidad visual, rescatar heridos y trabajar en ámbitos policíacos. Por mencionar algunos:

Bóxer, American bulldogs, Doberman, Fila brasileiro, Husky siberiano, Chow chow, Shar pei entre otros.

En la siguiente tabla se muestran las razas más comunes que se utilizan para distintos trabajos que son asignados a los perros, como la caza, pastoreo o compañía.

Generalidades

Características físicas del perro

Cuentan con una buena estructura ósea, unido a su fuerte musculatura, habilitan al animal a desplazarse con velocidad. Su corazón, al igual que el de los humanos está formado por cuatro cámaras, dos aurículas y dos ventrículos. El sistema circulatorio es sofisticado y dota al perro de buena resistencia y agilidad. Sus cualidades olfativas y el notable desarrollo de su oído han contribuido a ser considerado por el ser humano como un animal de gran utilidad práctica³⁰.

Partes del cuerpo

Debido a los diferentes tamaños de perros también el tamaño de los órganos varía. Sin embargo, todos los *Canis familiaris* tiene la misma disposición anatómica. Es importante notar, sin embargo, que razas de perros de tamaño más pequeños suelen estar más predispuestas a ciertas enfermedades causadas por su reducido tamaño.

Se puede apreciar las partes del cuerpo en las siguientes imágenes.



Ilustración 15: Partes del cuerpo de un perro vista posterior.

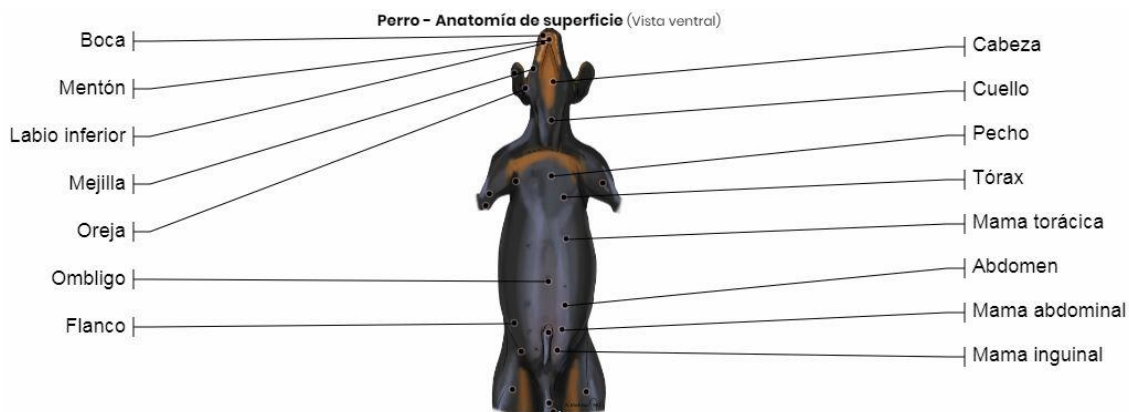


Ilustración 16: Partes del cuerpo de un perro vista inferior.



Ilustración 17: Partes del cuerpo de un perro vista lateral³¹

Esqueleto

El esqueleto es el armazón sobre la cual se estructura toda la anatomía del perro. Es de consistencia dura ya que soporta y protege los tejidos blandos de los animales. Junto con un complejo sistema de músculos y tendones, le permite mantener en pie, sentarse, saltar o caminar. Son los músculos, firmemente anclados en los huesos, los que ponen en movimiento el esqueleto del perro.

El esqueleto se puede dividir en tres partes:

- Esqueleto axil: cráneo, columna vertebral, costillas y esternón.
- Esqueleto apendicular: Constituido por los huesos de los miembros.
- Esqueleto esplácnico o visceral: consta de varios huesos desarrollados en el parénquima de algunas vísceras u órganos, como el hueso del pene en los perros.

Más información sobre los huesos puede ser encontrada en el apéndice B.

Todos los perros poseen 30 vértebras, 7 son cervicales (armazón del cuello), 13 son torácicas (armazón de la espalda) y están unidas a las costillas, y otras 7 son lumbares (armazón de los riñones) a las cuales se suman las vértebras de la cola, cuyo número varía de una raza a otra. La médula espinal se aloja en un canal formado por las vértebras del espinazo, destinado a proteger un órgano vital.³²

Cráneo

La forma del cráneo varía enormemente de una raza a otra, aunque los huesos que lo componen son en todo los casos los mismos. Existen tres morfologías bien diferenciadas:

- Dolicocefalas: cráneo estrecho y alargado, como los Afganos y Borzois.
- Braquicéfalos: cráneo achatado, como el Bulldog y el Bóxer.
- Mesocéfalos: aquellos que se encuentran entre ambos, como el Beagle y Fox Terrier.

Sea cual sea su forma, el cráneo forma siempre una cavidad cerrada, cuya parte superior se denomina caja craneana. El hueso maxilar constituye la mandíbula superior, y la mandíbula inferior está unida al cráneo mediante una articulación.

Las placas óseas que forman la caja craneana se sueltan en el centro de la zona frontal tras el nacimiento, como ocurre con las fontanelas de los bebés humanos.

En algunas razas de cráneo muy abombado, como el chihuahua, estas fontanelas nunca llegan a soldarse por completo, lo que hace al perro especialmente vulnerable a las lesiones cerebrales.

Más datos sobre huesos y características se pueden observar en el apéndice B.

Especificaciones

Parámetros de exploración		
Parámetro	Fórmula	Valor normal (perro)
Frecuencia respiratoria (resp/min)(rpm)	FR	10-30
Frecuencia cardíaca (pul o lat/min) (ppm/lpm)	FC	60-180
Tiempo de relleno capilar (s)	TRC	< 2
Temperatura corporal (°C)	T°	37,5-39,2
Presión arterial sistólica (mm Hg)	PAS	100-160
Presión arterial media (mm Hg)	$PAM = [(PAS - PAD)/3] + PAD$	80-120
Presión arterial diastólica (mm Hg)	PAD	60-90
Producción de orina (ml/kg/h)	OUTPUT URINARIO	1-2

Ilustración 18: Parámetros de exploración³³.

Sistema circulatorio

El sistema circulatorio está conformado por el sistema cardiovascular: el corazón y todos los conductos por los que circula la sangre, y por el sistema linfático: conductos, estructuras y órganos por donde circula la linfa. El sistema cardiovascular conduce la sangre y está formado por arterias, venas, capilares y por el corazón.

Sistema Cardiovascular es el gran sistema de comunicación. Se encarga de encauzar y propulsar la sangre para que irrigue todo el cuerpo. La sangre es un tejido conectivo que es esencial porque transporta alimentos, productos de desecho, oxígeno, dióxido de carbono, hormonas, células del sistema inmune, etc. Aunque también tiene otras

funciones como regular la temperatura corporal³⁴. El sistema cardiovascular se considera como un circuito cerrado, debido a que tienen su origen y fin en el corazón.

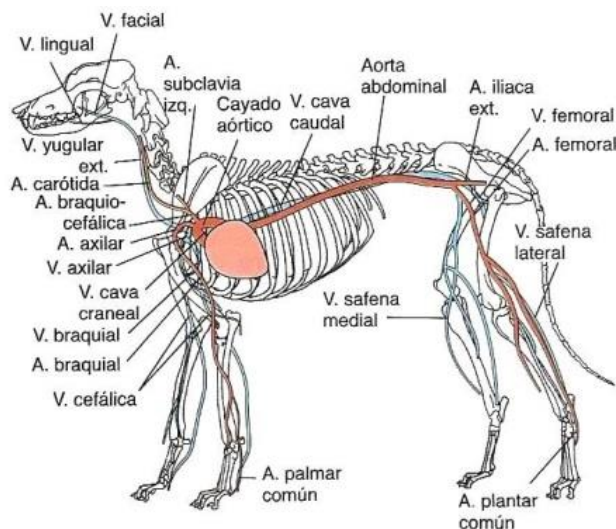


Ilustración 19: Sistema circulatorio del perro.

Las arterias y las venas están formadas por tres capas o tunicas: túnica íntima, túnica media y túnica adventicia.

- La túnica íntima es la más interna, más próxima a la sangre, y está formada por un epitelio simple plano (endotelio), una lámina basal y una capa de tejido conectivo laxo.
- La túnica media está formada sobre todo por fibras de músculo liso.
- La túnica adventicia es la capa más externa y está formada por tejido conectivo.

Las arterias (conductos que conducen la sangre desde el corazón hasta otros órganos) y las arteriolas tienen las paredes más gruesas que las venas y vénulas ya que tienen que soportar mayor presión sanguínea por estar más cerca del corazón. Las arterias suelen tener menor diámetro que las venas, lo que junto con el mayor grosor de sus paredes les da un aspecto más redondeado, como se aprecia en la imagen 20.

Las venas tienen la misma estructura que las arterias y presentan diámetros mayores. Algunas venas de las extremidades parecen válvulas en la luz de sus conductos que impiden que la sangre viaje en dirección contraria por efecto de la gravedad o por una menor presión. Las venas se clasifican por su tamaño en venas grandes, venas medianas y vénulas o venas pequeñas. Venas grandes: Tienen un tamaño superior a unos 10 mm. Venas medianas: Son venas más pequeñas, con unos 10 mm de diámetro, y representan a la mayoría de las venas del cuerpo humano. Vénulas: Tienen un diámetro muy pequeño, hasta unos 0.1 mm.

El Corazón es el órgano encargado de bombear sangre a todo el sistema circulatorio, aunque es ayudado por los movimientos corporales. Está formado principalmente por células musculares estriadas cardíacas, las cuales sólo se encuentran en este órgano.

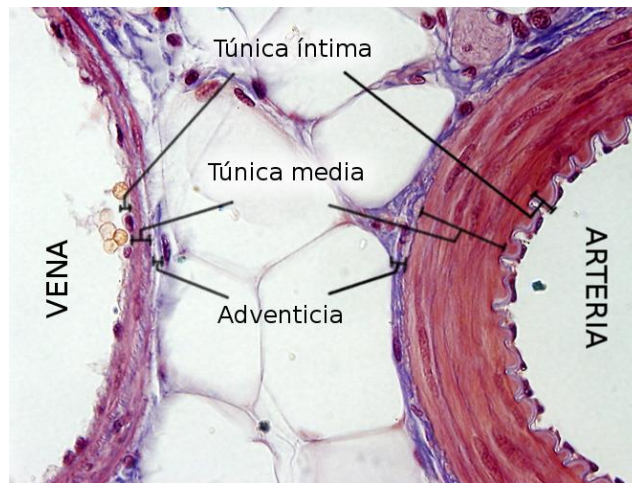


Ilustración 20: Organización de las diferentes capas que componen una vena (a la izquierda) y una arteria (a la derecha), ambas de tamaño medio. Nótese la diferencia de la túnica media entre ambos tipos de vasos.

Este consta de 4 cavidades, dos ventrículos que propulsan la sangre, y dos aurículas, una que recoge la sangre de los pulmones y la otra del resto del cuerpo. Las aurículas están separadas por un tabique interauricular y los ventrículos por un tabique interventricular. El reflujo de la sangre se evita con las válvulas que se encuentran en las salidas de las diferentes cavidades. Las paredes de las aurículas y de los ventrículos están formadas por tres capas, que de fuera a dentro se denominan epicardio, miocardio y endocardio.

Sistema respiratorio

La respiración es un proceso involuntario y automático que realiza el organismo para absorber el oxígeno del aire y expulsar el dióxido de carbono (CO₂). La respiración de un perro es un signo vital importante de conocer, el cual tiene una frecuencia de unas 20-40 respiraciones por minuto. Esta frecuencia puede aumentar en climas muy húmedos o calurosos y cuando el perro ha estado corriendo o realizando movimientos.

Muy semejante al de la mayor parte de los mamíferos, el aparato respiratorio del perro está formado por: la nariz, las fosas nasales, los senos nasales, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones³⁵.

Funcionamiento general

La finalidad fundamental del aparato respiratorio es el intercambio gaseoso del aire con los tejidos y el transporte del anhídrido carbónico hacia el exterior del organismo. Además, influye en la regulación de la temperatura sobre el metabolismo de algunos elementos y la protección frente a sustancias dañinas inhaladas.

El aparato respiratorio del perro está formado por tres grandes partes con funciones muy importantes:

- Las vías superiores: estas comprenden la nariz, las cavidades nasales, los senos paranasales y la rinofaringe.
- El árbol aerífero: este comprende la laringe, la tráquea y los bronquios.
- Los pulmones aquí son donde se produce la hematosis (cambios gaseosos entre el aire y la sangre).

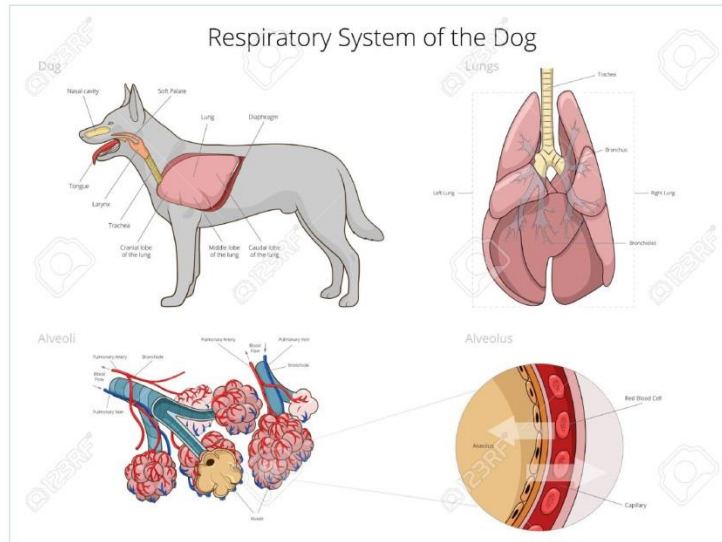


Ilustración 21 circuito respiratorio completo de un perro

Fases de la respiración

Ventilación

La ventilación, entrada y salida de aire a los pulmones, permite el intercambio de oxígeno y anhídrido carbónico, de modo que todos los tejidos realizan la oxigenación adecuada. Este intercambio se produce en dos fases, la inhalación y la exhalación.

La inhalación es una fase activa, en la que se contraen el diafragma y los músculos intercostales para llenar de aire todo el tracto respiratorio. La exhalación es un proceso pasivo, aunque puede forzarse, debido a los pulmones y a la caja torácica.

Distribución

El aire debe distribuirse por la totalidad del aparato respiratorio hasta alcanzar todos los alveolos pulmonares. Una distribución defectuosa provoca un intercambio gaseoso anormal, que se produce en muchas enfermedades pulmonares.

Perfusión

Es fundamental la perfusión de sangre a partir del ventrículo derecho para el buen funcionamiento del aparato respiratorio. Y cualquier distribución anormal del riego sanguíneo puede derivar en enfermedad respiratoria.

Intercambio gaseoso

El intercambio gaseoso entre los alveolos pulmonares y los capilares sanguíneos se produce por difusión, que es la diferencia de presiones entre los gases de los alveolos y la sangre capilar. La alteración de esta difusión también puede provocar síntomas de enfermedad pulmonar.

Sistema térmico

Piel y Pelaje

La piel y el pelaje del perro conforman la primera barrera de protección contra los parásitos, hongos, bacterias y virus. En cuanto a la piel del perro, notamos que este sistema de protección varía lo largo del cuerpo para adaptarse a funciones específicas.

Por ejemplo, las almohadillas de los pies son gruesas y fuertes, ya que están en contacto con el suelo y deben soportar el peso de todo el cuerpo y la fricción con todo tipo de superficies. En cambio, la piel de las orejas es mucho más fina porque como las usan para comunicarse, debe darles la posibilidad de moverlas a voluntad.

El crecimiento del pelo depende de cada raza, pero en todos los casos es cíclico, a una fase de crecimiento le sigue una etapa de transición y luego descansa. Es por ello cuando cae el pelaje, siempre hay más pelo nuevo esperando para reemplazarlo.³⁶

Estos ciclos de crecimiento dependen de variados factores externos como ser la temperatura. Pero no sólo depende de la temperatura propia de cada estación, sino también la del medio ambiente donde habitan, así como la humedad.

Otros de los factores que afectan al crecimiento del pelo son el aumento y la disminución de las horas de luz solar y la actividad hormonal, que en las hembras tiende a disminuir la densidad de las capas y en los machos la aumenta.

Muchos perros tienen dos capas de pelo, una interna y otra externa. La capa interna o subcapa suele ser corta, suave y densa. Actúa como protección contra el agua y sirve de soporte a la capa externa. Las razas originarias de climas fríos no mudan el pelo, con lo cual, si no se mantiene su manto en condiciones, pueden hacerse nudos y hasta rastas. La capa externa suele ser más larga y de una textura más dura o áspera.

Regulación de la temperatura corporal del perro

En el perro existen peculiaridades en la manera de difundir el calor que lo distinguen del hombre. Vale observar que, aunque es un mamífero como el ser humano, se diferencia de éste por diversas particularidades fisiológicas de notable importancia, sobre todo a efectos atléticos.

Un ejemplo: el perro prácticamente no suda y elimina el calor, sobre todo, a través del aparato respiratorio, por lo cual no experimenta una pérdida sensible de sales minerales; en consecuencia, tras un esfuerzo físico prolongado, es suficiente reintegrar el agua perdida para retornar a la normalidad fisiológica y funcional.

Tienen glándulas sudoríparas únicamente en las plantas de los pies. Por otra parte, el perro presenta una termorregulación particular: durante el trabajo muscular la temperatura corporal sube con facilidad y alcanza los 39-40° C, y a veces más, hasta llegar a los 42,5°, produciéndose una hipertermia fisiológica del esfuerzo, que no conviene confundir con la clásica congestión cerebral conocida popularmente como “golpe de calor”.

Estos altos valores tienen la particularidad de favorecer el funcionamiento de todos los sistemas enzimáticos orgánicos y mejoran su rendimiento físico. El cerebro tiene que mantenerse a menos de 41° para que no se corra el riesgo de provocar el temido edema cerebral. Cuando se supera esta cifra puede ocurrir lo dicho anteriormente, sobre todo en las razas braquicéfalas y en perros demasiado viejos, jóvenes o enfermos.

Transferencia de calor

La temperatura corporal refleja la existencia de un cuidadoso equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. Gran parte de la energía química producida por el cuerpo se pierde en calor, en el perro aún más que en el hombre:

Energía Mecánica: 25%. Energía Térmica: 75%

El cuerpo transfiere el calor de las partes nucleares hacia el exterior por cuatro mecanismos:

Conducción

El calor generado en las partes profundas del cuerpo es conducido a través de los tejidos hasta llegar a la superficie corporal. Puede ser transportado hasta la piel o hasta el exterior, hasta el aire que está en contacto directo con la piel. Al contrario, si el exterior está caliente, se invierte el proceso y la piel se calienta y se difunde hacia las zonas nucleares.

Convección

Supone la transferencia del calor de un lugar a otro por medio de un gas, en este caso el aire o el agua. Cuando el aire circula alrededor del cuerpo barre el calor que se ha calentado por el contacto por la piel, cuanto mayor es el movimiento o cuanto más frío sea, por ejemplo, en el agua, mayor es el ritmo de eliminación de calor. Aunque la conducción y la convección eliminan constantemente el calor cuando la temperatura exterior es menor que la del cuerpo, sólo supone una pequeña pérdida de entre el 10 y el 20%. No obstante, un

cuerpo sumergido en el agua puede perder hasta veintiséis veces más calor que con una temperatura similar del aire.

Radiación

En reposo es el método principal de pérdida del exceso de calor corporal. Aproximadamente el 60% del calor expelido corresponde a la radiación. Es liberado por medio de rayos infrarrojos, que son una forma de ondas electromagnéticas. Si la temperatura exterior es superior al cuerpo este recibe por el mismo método calor irradiado. La radiación se emite en proporción inversa, el frío al caliente y el caliente al frío. El sol es un tremendo irradiador de calor. El color del perro influye grandemente en la acumulación de calor. Considerando un cociente teórico de absorción del 100% para los colores claros que rocen el blanco, estos absorben el 27%; un oscuro tono cercano al negro absorbe el 83%.

Evaporación

Es el camino más importante para la eliminación de calor durante el ejercicio. Representa el 20% de pérdida durante el reposo, pero durante el ejercicio se convierte hasta de un 60%. En el perro, al ser la sudoración muy leve y prácticamente sólo en la planta de los pies, se pierde mediante la evaporación a través de las mucosas de la boca y de la lengua, algunas veces de una forma que nos parece muy escandalosa³⁷.

Técnicas de medición

Método de la pletismografía corporal

El método se desarrolló con base en los conceptos descritos por Bert, Grad y Pflüger en el siglo XIX y fue realizada por primera vez por DuBois en la década de 1950. La medición está basada en la Ley de Boyle-Mariotte que señala que el volumen en un gas es inversamente proporcional a la presión a la que está sujeto en condiciones isotérmicas; por lo tanto, durante la compresión de un gas en estas condiciones el producto de la presión por volumen permanece constante.

La pletismografía corporal es una prueba mecánica de la respiración cuya principal medición directa es la capacidad funcional residual que corresponde al volumen de gas intratorácico medido al final de la espiración a volumen corriente estable³⁸.

Método de la fotopletismografía

En la fotopletismografía, parecido al método de la pletismografía, la principal función es la medición del volumen de un cuerpo determinando la cantidad de luz que este refleja.

Para fines de esta tesis se empleará el método de la fotopletismografía el cual consiste en un emisor LED y un receptor de luz, puede ser infrarrojo o no, el principio está en “iluminar” los vasos subcutáneos donde dichos vasos reflejan parte de dicho haz de luz y es captado por el receptor, él cual siguiendo este proceso mide los cambios en la absorción de la luz que se dan debido a que, con cada ciclo cardíaco, el corazón bombea sangre a la periferia. A pesar de que este pulso que llega a la piel es suficiente para dilatar las arterias y arteriolas en el tejido subcutáneo, el cambio de volumen causado por la presión de pulso es detectado en la piel con la luz infrarroja³⁹.

Método Medición de Oxigenación

Este método se basa utilizando el mismo principio de la fotopletismografía el cual es que el volumen de las arterias y venas cambian con cada latido del corazón y la segunda característica que aprovecha este método es que la sangre que está oxigenada tiene una hemoglobina que puede absorber de 600 a 750 nm en la longitud de onda y que la hemoglobina que no tiene oxígeno puede absorber de 850 a 1000 nm de longitud de onda.

Sabiendo que cuando una luz es emitida dentro del cuerpo, parte de esta luz va a ser absorbida por la piel, los huesos y los músculos, a esto se le denomina la corriente directa estática (DC).

La variación del pulso durante la diástole y la sístole va a crear una variación en la intensidad de la luz y a esto se le llama la corriente alterna que forma parte de la señal (AC).

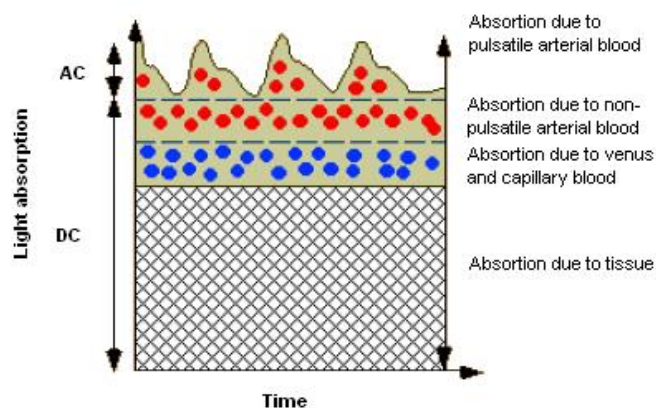


Ilustración 22: Representación de la parte estática y variable de la señal.

Dichas componentes se pueden representar de la siguiente manera.

$$SpO2\% = 110 - R * 25^{40}$$

Donde:

SpO2% = Saturación de oxígeno en la hemoglobina arterial.

R = Es la relación de radios o la relación entre la tensión alterna del color rojo entre la tensión alterna del color infrarrojo.

Térmica

Temperatura Corporal

La temperatura corporal es producida por los procesos químicos y físicos dentro de nuestro cuerpo, es el resultado de la termogénesis y la termólisis³⁹. La interacción de estos mecanismos permite mantener a la temperatura en rangos seguros, para los seres humanos los límites de seguridad. La regulación de la temperatura la lleva a cabo el hipotálamo, recolecta la información del medio mediante terminaciones nerviosas y con esa información realiza la interacción entre la termogénesis y la termólisis para que el cuerpo se mantenga en los límites seguros los cuales van desde los 36.4 [C°] a los 37.4 [C°].

Este tipo de mecanismo regulador de temperatura es una característica que compartimos los mamíferos con las aves y es lo que nos hace ser animales homeotermos. Los órganos encargados de la regulación de la temperatura la podemos ver en la siguiente imagen⁴¹.

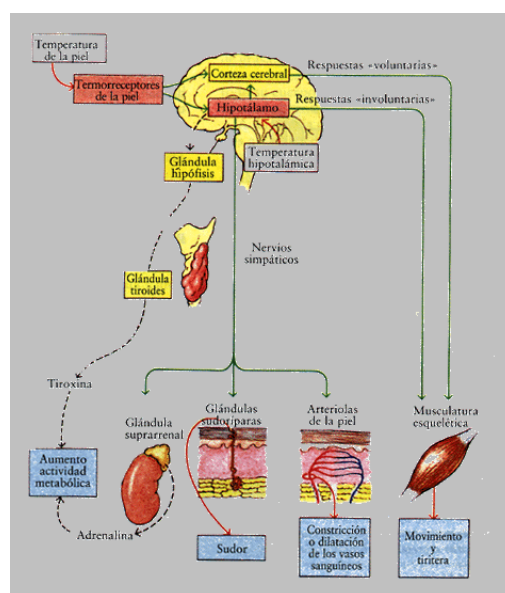


Ilustración 23: Órganos encargados de la regulación de la temperatura.

Descripción de la técnica

La temperatura corporal es un indicador muy importante tanto en la especie humana como en la especie canina, durante la historia médica hemos visto la importancia de medir dicho parámetro en los individuos humanos, se tienen registros de que en la época de los griegos, hipócrates, considerado como el padre de la medicina, clasificaba la temperatura corporal

en “calor dulce” y “fiebre ardiente” en ese entonces el tacto era el único medio que tenía para tratar de evaluar la temperatura. No fue hasta que entre 1714 y 1738 Hermann Boerhaave junto a Fahrenheit construyeron termómetros de alcohol, fue entonces que Hermann y sus estudiantes Gerard Van Swieten (fundador de la escuela vienesa de medicina), Antón De Haen y George Martine, incorporaron el termómetro en el examen clínico. A partir de este suceso se ha demostrado en la práctica que al poder valorar el parámetro de temperatura podemos percibir afecciones en el organismo⁴².

Debido a la importancia que tiene poder medir la temperatura, la técnica para medir la temperatura ha ido evolucionando con el paso del tiempo, hasta tener técnicas más sofisticadas y eficaces, a continuación, se mencionaran dos tipos de termómetros y se explicará cómo es que funciona cada termómetro.

Termómetros digitales

Los termómetros digitales son aquellos que, valiéndose de dispositivos transductores utilizan circuitos especializados para al obtener pequeñas variaciones de voltaje, éstas se conviertan en números entendibles para quien visualiza.

Este tipo de termómetros emplea un termistor, el cual es un dispositivo que varía el valor de su resistencia eléctrica en función de la temperatura, al variar el valor de su resistencia, entrega información que ira a los circuitos comparadores quienes al comparan obtendrán un resultado el cual puede ser procesado. Un ejemplo de un termómetro lo podemos ver en la siguiente imagen. Vemos que la información recolectada por el sensor es procesada hasta convertirse en información que el usuario pueda entender. Un ejemplo de dichos termómetros se muestra a continuación.



Ilustración 24: Ejemplo de termómetro digital.

Termómetros ópticos

El termómetro óptico es un dispositivo para medir la temperatura basado en la ley de Wien sobre la distribución de la radiación térmica. Según esta ley el color de la radiación varía

dependiendo de la temperatura, por lo que este artilugio compara el color emitido por la superficie a medir con el color emitido por un filamento ajustado a un reóstato previamente calibrado⁴³.

La reflexión y transmisión de la luz que es visible varía según la temperatura, por lo que al detectar algún color se puede relacionar con la temperatura. Al igual que el termómetro digital el resultado es traducido al usuario en una pantalla. Existen varias aplicaciones para este tipo de termómetros, van desde las aplicaciones industriales hasta las veterinarias, un ejemplo típico de un termómetro de este tipo aplicado a la medicina y a la veterinaria es ilustrado en la siguiente imagen.



Ilustración 25: Ejemplo de termómetro óptico.

Especificaciones en humanos

A continuación, se muestra un listado de los valores en los rangos normales de la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno en la sangre y la temperatura cardíaca en los seres humanos.

Variable Fisiológica	Valor Normal
Frecuencia Cardíaca	60-80 [bpm] ⁴⁴
Saturación de Oxígeno	95-100 [%] ⁴⁵
Temperatura Corporal	36.5-37 [°C] ⁴⁶

Tabla 3: Especificaciones en seres humanos.

Tecnología usada

Amplificador operacional

El amplificador operacional o amp op es un dispositivo ocupado en circuitos eléctricos por su capacidad de realizar operaciones, tanto lineales como no lineales.

El amp op dispone de dos entradas de voltaje, una salida y dos entradas de alimentación debido a que es un componente activo (esto quiere decir que requiere de energía externa para su funcionamiento), lo anterior mencionado se puede visualizar en la siguiente figura

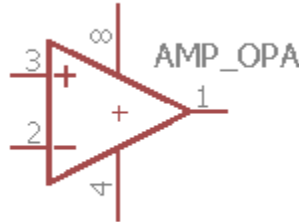


Ilustración 26: Amplificador Operacional.

En la imagen se puede apreciar que el pin 3 es la entrada no inversora y el pin 2 es la entrada inversora, los pines 8 y 4 son los pines de alimentación del dispositivo y el pin 1 es la salida de voltaje, que es el resultado de la diferencia de voltaje de las entradas.

El amp op ideal posee las siguientes características:

- Ganancia infinita de lazo abierto.
- Resistencia de entrada infinita.
- Resistencia de salida cero⁴⁷.

La idea del amplificador ideal nos brinda una aproximación del comportamiento de un amplificador real, esto debido a que en la actualidad las ganancias y la impedancia de entrada son grandes en magnitud que el análisis es aceptable.

Características importantes del amplificador operacional

Rapidez de respuesta o *slew rate*

Es la razón de variación que limita la respuesta de voltaje de salida con respecto al tiempo se conoce como “rapidez de respuesta”; por lo regular se expresa en volts por microsegundos. Por lo tanto, matemáticamente la rapidez de respuesta está dada por⁴⁸

$$\text{Rapidez de respuesta} = \frac{\Delta V_{sal}}{\Delta t} \left[\frac{V}{\mu s} \right]$$

Ancho de banda del amplificador

Esto es la frecuencia a la cual la ganancia de lazo abierto vale la unidad⁴⁹. Es necesario que

un amplificador tenga un ancho de banda muy amplio de modo que una señal de cualquier frecuencia pueda ser amplificada sin sufrir corte o atenuación. Idealmente el ancho de banda debería extenderse desde cero hasta infinito⁵⁰.

Rechazo en modo común

La relación de rechazo en modo común (CMRR) es una medida del rechazo de una señal común, aplicada simultáneamente a ambas entradas del amplificador, en comparación con la señal diferencial de entrada. Dicho parámetro se suele expresar en decibels y puede calcularse a partir de la expresión

$$CMRR(dB) = 10 \log \frac{A_0}{A_{OCM}}$$

Donde A_0 es la ganancia diferencial de lazo abierto del amplificador y A_{OCM} es la ganancia en modo común del mismo⁵¹.

Configuraciones usadas

Amplificador inversor

Esta configuración del amplificador permite la amplificación o atenuación de una señal eléctrica y en su salida se presenta un cambio de signo. Para ello, la entrada no inversora se conecta a tierra v_i se conecta a la entrada inversora a través de R y el resistor de retroalimentación R_f se conecta entre la entrada inversora y la salida. El objetivo es obtener la relación entre la tensión de entrada v_i y la tensión de salida V_o ⁵². Lo anterior puede visualizarse en la siguiente figura.

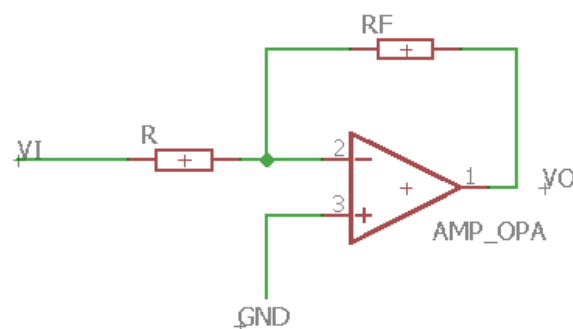


Ilustración 27: Configuración amplificador inversor.

La ecuación para calcular el voltaje de salida es el siguiente:

$$V_o = -\frac{R_f}{R} * V_i$$

Conversor Corriente a tensión

El circuito consiste en un amplificador operacional configurado para amplificar la corriente dependiendo de la luz captada por el fotodiodo. Un pequeño voltaje se deriva de la fuente de alimentación aplicado a la entrada no inversora del amp op⁵³. La configuración puede verse en la siguiente figura.

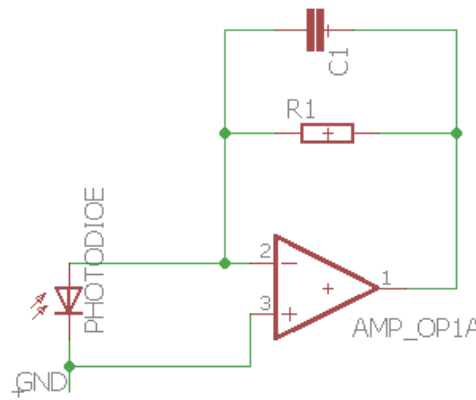


Ilustración 28: Configuración corriente a voltaje.

La ecuación para calcular el voltaje de salida es la siguiente:

$$V_o = -I_{in} * R_f$$

El condensador de retroalimentación es usado para mantener la estabilidad, dado que compensa la capacitancia del fotodiodo a la entrada inversora del amplificador operacional.

Para el cálculo de la ganancia se hace uso de la siguiente ecuación⁵⁴

$$R1 = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{I_{in(max)}}$$

El condensador de realimentación, en combinación con la resistencia, forman un polo en la respuesta en frecuencia del amplificador⁵⁵.

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}$$

Existen dos configuraciones para el fotodiodo, las cuales se describen a continuación:

Modo Fotovoltaico: Para este modo, el fotodiodo es colocado con el ánodo a tierra mientras que el cátodo se conecta a la entrada negativa del conversor de corriente a voltaje. Entre las características de esta configuración se encuentran; Salida lineal, poco ruido, no dark current. Esta configuración es adecuada cuando la precisión es más importante que la velocidad⁵⁶.

Modo Foto conductivo: Este modo de conexión es similar al anterior, con la variante de que el ánodo del fotodiodo es conectado a una fuente de voltaje negativo. Esta configuración presenta las siguientes características; Reducción de capacitancia en el diodo, Mayor amplificación manteniendo la estabilidad. Esta configuración es apropiada cuando se requiere una respuesta rápida y no se necesita gran precisión⁵⁷.

Offset

Con la inyección de pequeñas corrientes en el punto de suma se consigue obtener un ajuste (offset) para los circuitos de los amplificadores⁵⁸. Un ejemplo de este circuito se puede visualizar en la siguiente imagen.

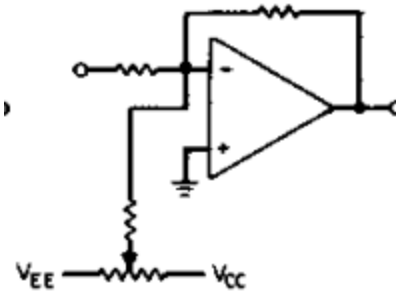


Ilustración 29: Offset.

Filtros

Un filtro es un circuito que se diseña para dejar pasar señales con frecuencias deseadas y rechazar o atenuar otras.

Características de los filtros

Banda de paso: En un filtro es el intervalo de frecuencias que el filtro deja pasar con atenuación mínima⁵⁹.

Frecuencia Crítica o Frecuencia de Corte (f_c): Define el final de la banda de paso y se especifica en el punto donde la respuesta se reduce -3dB o 70.7%⁶⁰.

Región de transición: Es la región entre la banda de paso y la banda de rechazo y su pendiente está dada por el orden del filtro.

Región de la banda de rechazo: En los filtros, es la región en la que frecuencias mayores o menores a la frecuencia de corte se ven minimizadas.

Las características anteriores se pueden visualizar en la siguiente Figura:

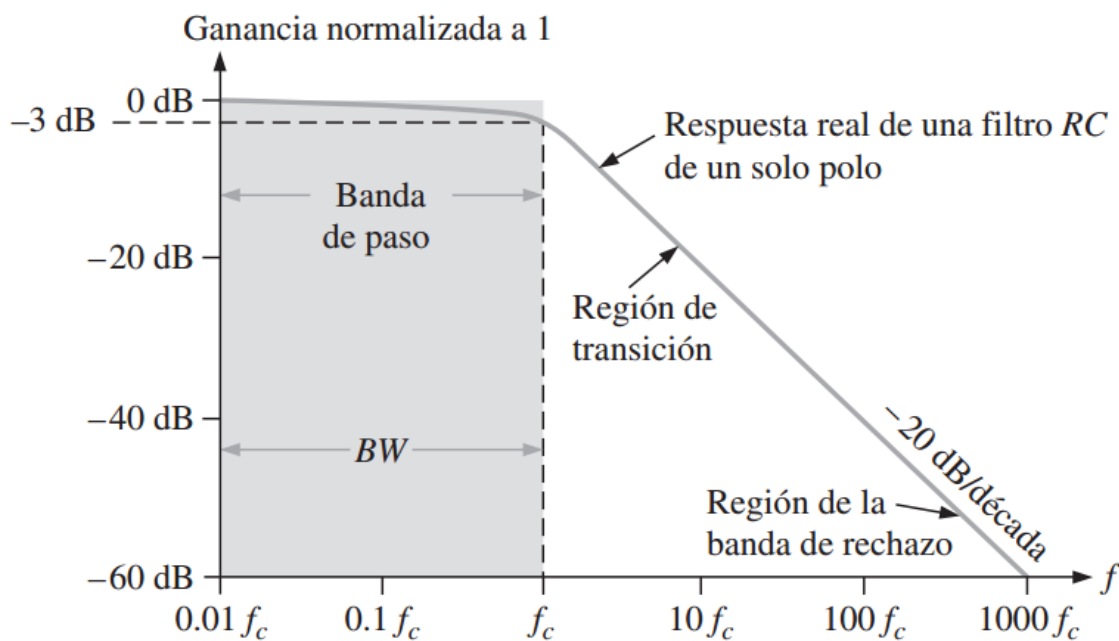


Ilustración 30: Características de un filtro⁶¹.

Filtros pasivos

Un filtro pasivo consiste solo en elementos como resistores, condensadores e inductores, todos ellos son elementos pasivos debido a que no requieren de energía externa para su funcionamiento. Las configuraciones usuales son pasa altas, pasa bajas, pasa banda, rechaza banda.

Filtro pasó altas

Como su nombre lo indica, este filtro permite el paso de frecuencias por encima de la frecuencia de corte. La configuración y su comportamiento se muestran en la Figura.

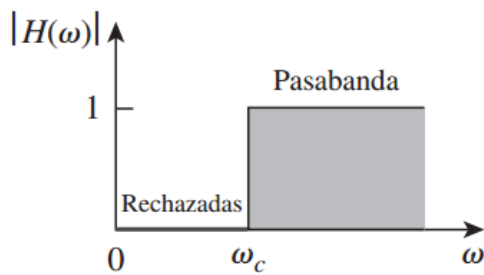


Ilustración 32: Filtro paso altas⁶¹.

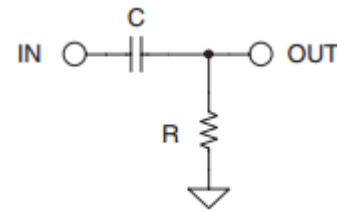


Ilustración 31: Filtro paso altas⁶¹.

Filtro pasa bajas

Este filtro permite el paso de frecuencias por debajo de la frecuencia de corte, señales por encima son atenuadas.

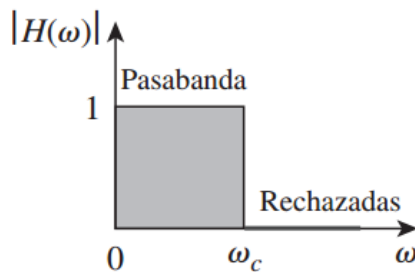


Ilustración 33: Filtro paso bajas⁶¹.

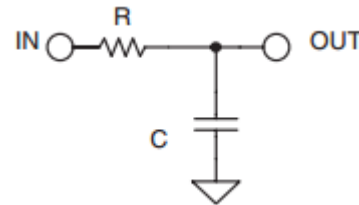


Ilustración 34: Filtro paso bajas⁶¹.

Filtro pasa banda

Esta configuración de filtro permite el paso de frecuencias entre dos frecuencias de corte (superior e inferior), las frecuencias que se encuentren por debajo de la frecuencia inferior serán atenuadas lo mismo les suceden a las frecuencias que se encuentren por encima de la frecuencia de corte superior, Figura. Para su configuración bastaría con usar las dos configuraciones anteriores, paso altas seguido de un paso bajas para obtener el comportamiento mostrado en la imagen 35.

Filtro rechaza banda

Esta configuración puede verse como lo contrario al filtro pasa banda, dado que se suprimirán las frecuencias que se encuentren entre las frecuencias de corte, imagen 36.

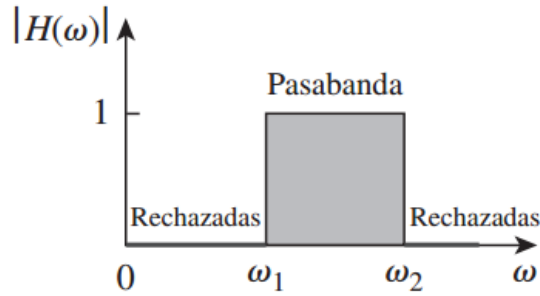


Ilustración 35: Filtro pasa banda⁶¹.

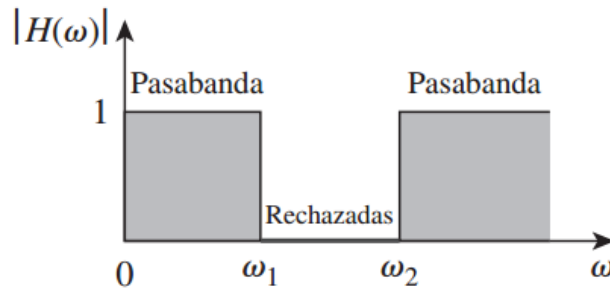


Ilustración 36: Filtro rechaza banda⁶¹.

Filtros activos

Los filtros activos, al igual que los filtros pasivos limitan el paso de frecuencias, pero a diferencia de los pasivos, estos requieren de componentes activos para su funcionamiento (requieren de energía externa para su funcionamiento), como los son los amplificadores operacionales.

A diferencia de los filtros pasivos, en los filtros activos existen diferentes configuraciones para para cada uno de ellos, entre los cuales se encuentran: Sallen-Key, realimentación múltiple, variables de estado, bicuadráticos por mencionar algunos. Dado la gran cantidad de configuraciones, solo se limitará a hablar de los filtros ocupados en la tesis.

Microcontrolador

Un microcontrolador difiere de un microprocesador en diferentes maneras. La gran diferencia entre un microcontrolador y un microprocesador es la complejidad de la máquina. Un microprocesador es simplemente el “corazón” de la computadora. Para poner al microprocesador en funcionamiento, se requiere de memoria, periféricos, puerto serial y paralelo para hacerlo funcional. Por el contrario, el microprocesador fue diseñado para contener todo en un solo chip. La memoria y periféricos fueron completamente integrados

dentro de un chip por lo que se requieren pocos componentes externos para para funcionar. El diagrama de bloques de un microcontrolador se muestra en la figura siguiente⁶².

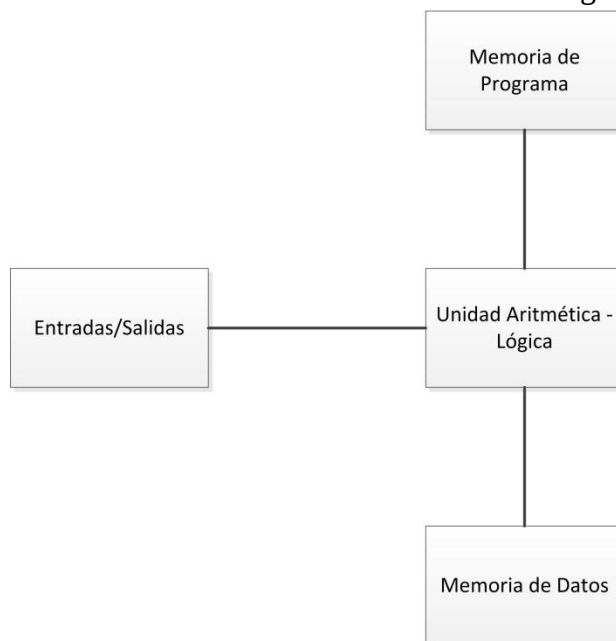


Ilustración 37: Bloques de un microcontrolador.

La unidad de control central del microcontrolador es la unidad lógica-Aritmética (ALU), el cual se conecta a otros tres bloques. El primero es la unidad de Entradas/Salidas (I/O), el segundo es la memoria del programa y el tercero es la memoria de datos.

La arquitectura mostrada en la Figura 6 se le conoce como Harvard, pero el más común es la arquitectura Von Neumann, cuya diferencia con la arquitectura Harvard se presenta en el hecho de que solo dispone de una memoria para programas y para datos.

Existen tres formas para que la maquina deje de ejecutar el código dentro de un loop y ejecute código externo. A estas operaciones se le llaman interrupciones.

El primero es mediante una señal de reset, Para ello se requiere conectar un pin de reset, esto es usualmente una conexión a tierra. Al llevar a cabo esta acción se varios registros toman valores predeterminados y se ejecuta una rutina desde una parte especifica de la memoria.

El segundo es forzar la ejecución de código externo al loop principal mediante la detección de una interrupción interna. Una interrupción externa ocurre cuando la petición de interrupción o interrupt request (IRQ) se establece como bajo o low. Este pin es monitoreado antes de la ejecución de cada instrucción, sin embargo si una instrucción está siendo ejecutada mientras se solicita un IRQ, la instrucción será completada cuando la IRQ termine.

El tercero es salir del loop principal mediante interrupciones internas. Los periféricos del microcontrolador pueden causar interrupciones. Una interrupción interna es similar a una externa la diferencia está en los vectores de memoria. Los datos son manejados de manera síncrona o asíncrona, la diferencia entre ellos está en el uso del reloj para una forma síncrona, mientras que la forma asíncrona requiere de eventos para poder llevar a cabo la transferencia de datos.

Transmisión y recepción

Históricamente, al igual que las redes por cable, el desarrollo de tecnología inalámbrica procede de dos fuentes principales, redes de datos y voz. Las orientadas a la voz fueron desarrolladas primero, seguidas de las redes de datos. Los negocios fueron la principal razón de ello, el mercado para transmisión de voz en productos y servicios se desarrolló primero. La transmisión de datos orientados productos y datos está creciendo considerablemente. Los productos orientados a datos y voz, y también servicios, estas emergiendo. Como resultado de ello se tiene que una red de datos eficiente puede fácilmente transportar voz. Todos los estándares inalámbricos diseñados por IEEE 802 pueden transportar voz, audio, y video, adicionalmente datos.

Entre las principales características de la transmisión inalámbrica se encuentran:

- Habilidad para transportar voz, audio, video y datos de computadores.
- Permiten a los dispositivos de diferentes precios, consumo eléctrico, datos y rangos de operación interconectarse.
- Eficiente y dinámico asignación de espectro entre distintas redes ⁶³

La transmisión de una señal inalámbrica comienza cuando la antena transmisora convierte la señal de radiofrecuencia (RF) en una onda electromagnética. La onda electromagnética se propaga a través de un medio inalámbrico, y solo una porción de la energía de esa onda electromagnética llegará a la antena de receptor. Esto se debe a la presencia de materia entre el transmisor y el receptor, no se tiene un espacio vacío. Además de esta atenuación se tiene una reflexión por objetos que haya alrededor, dichas señales también pueden llegar al receptor y a esto se le conoce como multipath.

La señal en una línea de visión o line of sight (LOS) entre el receptor y el emisor, tendrá un delay de aproximadamente 3d ns o 3 ns por metro ⁶⁴.

Estándar para Red personal de área local (WPAN)

Esta tecnología viene de la creciente demanda de diminutos y poco costosos dispositivos con capacidad para conectarse a internet. Ejemplo de ello son los celulares, asistentes personales, reproductores de música, cámaras digitales entre otros. Anteriormente el problema de conectarse a una red se solucionaba conectado un cable, de uso especial para

ello, pero surgía el problema del rango de conexión y no solo ello sino que también presentabas problemas de movilidad e incluso frustración para su uso. Ello se solucionó con la llegada de las redes personales de área local.

Punto de acceso o Access Point (AP)

El punto de acceso funciona como enlace entre distintas estaciones de trabajo⁶⁵. En este caso el AP nos permite tener la conexión entre el celular, o dispositivo, y el servidor que se encuentra en la tarjeta ESP32. Dicha configuración es parte del protocolo IEEE 802.11 conocido como Basic Service Set (BSS). El BSS es una construcción fundamental en el protocolo, puede contener uno o más estaciones y una estación base.

En la siguiente figura se puede observar un punto de acceso, en el cual se aprecian distintas computadoras conectadas a dicho punto y este se comunica con otra estación que está conectada a internet.

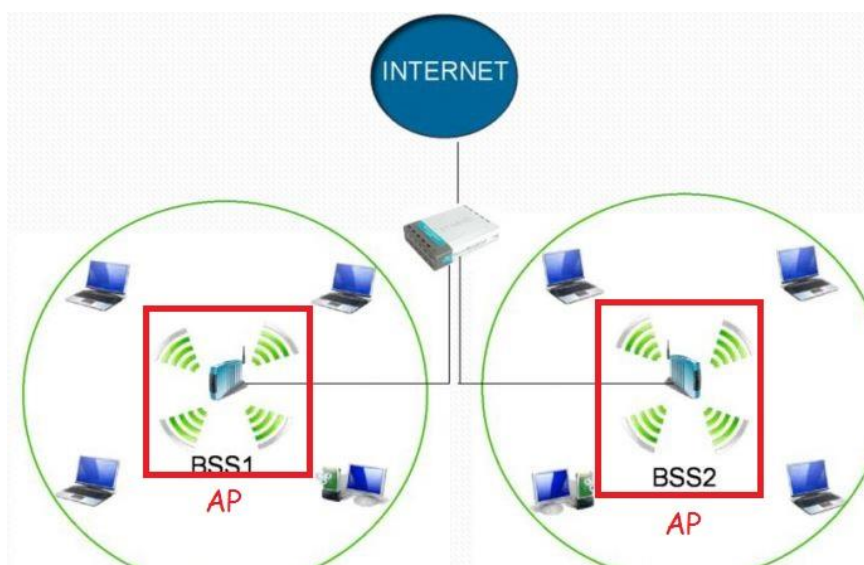


Ilustración 38: Computadoras conectadas a un punto de acceso.

CAPITULO 1

Diseño Conceptual

Objetivo: Obtener las necesidades de los usuarios dueños de caninos y personas como pueden ser entrenadores, veterinarios y traducirlos a especificaciones.

Alcance: El capítulo se limita a mostrar los datos recabados durante la adquisición de las necesidades de los usuarios.

1.1 Identificación de una necesidad y análisis del usuario

En el presente trabajo se identificaron dos usuarios, el usuario perro y el usuario manejador del perro, este último puede ser el dueño, el manejador, el entrenador o el médico veterinario.

En cuanto a las necesidades se identificó:

- Es necesario un dispositivo que sea capaz de realizar mediciones *in situ*.
- También hablando de no que el dispositivo no sea invasivo.
- El dispositivo tiene que ser portable.
- Portable.

En muchos casos, las mediciones obligan al paciente a permanecer inmóvil. El simple hecho de colocar el artefacto o de tratar de obtener las variables fisiológicas con procedimientos alternativos obliga a los pacientes a encontrarse en un estado estático. Es aquí donde una necesidad es identificada. **La necesidad de un dispositivo que sea capaz de obtener las variables fisiológicas que componen a los signos vitales “*in situ*” es decir, capaz de obtener esa información en el momento sin necesidad de tener al paciente en un lugar con condiciones controladas.**

Para un perro es muy importante estar en constante movimiento y debido a sus características especiales se vuelve en un usuario especial para esta necesidad que se ha determinado.

El usuario que precisa satisfacer la necesidad antes mencionada es el perro, este animal, que ha acompañado al hombre a lo largo de muchos años, ha sido domesticado y esta domesticación fue la clave para que fueran lo que conocemos hoy, como seres capaces de convivir pacíficamente con los seres humanos, capaces de aprender y en este punto es donde se vuelven de demasiada importancia para nuestra sociedad pues al poder aprender

pueden ser entrenados para muchas actividades las cuales, como hemos visto anteriormente, pueden ayudar de manera muy significativa a los seres humanos.

1.2 Requerimientos

Los requerimientos son características deseadas del prototipo funcional. Estos pueden obtenerse de una entrevista con el usuario manejador que ha visto o experimentado ciertas necesidades, de un análisis de mercado o de la observación de productos similares⁶⁶. Para recolectar información realizamos un total de 10 entrevistas siguiendo la guía de preguntas que aparecen en el apartado de anexos.

Las identificaciones de los requerimientos pueden establecer prioridades, objetivos del producto y ser una guía en el desarrollo de este e incluso sirven como referencia para comparar si el producto final cumple con la necesidad o incluso si es viable, es por ello que, establecer e identificar los requerimientos es de suma importancia.

Con base en la información recabada de las entrevistas se identifican los siguientes requerimientos:

1. **No invasivo.** *Debido a que los productos actuales son muy invasivos, se propone crear un dispositivo que no realice su función siendo invasivo.*
2. **Portable.** *Los dispositivos comúnmente usados para la adquisición de los signos vitales no permiten realizar la recolección de datos de manera que sea posible hacerlo “in situ”, la propuesta del dispositivo es tener un dispositivo que pueda hacer mediciones en cualquier lugar.*
3. **Confiable.** *El sistema deberá de mostrar datos reales y confiables de las variables que se están adquiriendo, con el objetivo de proporcionar un diagnóstico acertado de la condición del usuario.*
4. **Monitoreo continuo.** *El sistema debe ser capaz de entregar un listado con las mediciones de las variables fisiológicas que componen los signos vitales, siempre que sea necesario.*
5. **Robusto.** *El dispositivo debe de ser capaz de soportar ambientes húmedos, golpes, raspaduras y seguir trabajando.*
6. **Adaptable.** *El dispositivo está pensado para adaptarse a usuarios con diferentes tamaños.*
7. **Facilidad de uso.** *Debido a que el dispositivo está destinado a medir variables fisiológicas, es necesario que su uso sea sencillo y rápido.*

Una vez que se establecieron los requerimientos, se procedió a realizar una jerarquización de los mismos con la finalidad de poder determinar los aspectos fundamentales que debe cubrir el sistema.

No. De Necesidad	Requerimiento	Importancia
1	No Invasivo	9
2	Portable	9
3	Confiable	10
4	Monitoreo Continuo	7
5	Robusto	7
6	Adaptable	9
7	Facilidad de uso	6

Tabla 4: Requerimientos jerarquizados.

Se utilizó una escala del 1 al 10 para valorar el requerimiento, donde 1 representa una característica de menor importancia y el número 10 representa una característica de mayor importancia.

1.3 Especificaciones

Los requerimientos antes mencionados, están expresados de acuerdo con el criterio del usuario. Por ello se deben de transformar estos requerimientos en especificaciones que explican con detalles precisos y medurables, lo que el producto debe de hacer⁶⁶. De esta manera las especificaciones cuentan con una métrica y un valor.

Estableciendo a la métrica de tal modo que describiera la necesidad, podemos ver en la siguiente tabla la relación entre la métrica y el requerimiento.

	Métrica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Medidas zoomórficas	Porcentaje de error	Número de componentes invasivos	Tiempo de operación	Número de controladores	Peso del dispositivo	Volumen del dispositivo	Superficie que ocupa el dispositivo	Humedad	Temperatura
	Requerimiento										
1	No Invasivo	*		*							
2	Portable	*			*		*	*	*		
3	Confiable		*		*					*	*
4	Monitoreo Continuo				*						
5	Robusto		*							*	*
6	Adaptable	*		*			*	*	*	*	*
7	Facilidad de uso					*					

Tabla 5: Relación requerimiento-métrica.

En la siguiente tabla se plasmó la asignación de importancia a las métricas según la importancia de su necesidad que está relacionada a ella.

No. De Métrica	No. De Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor Máximo
1	1	Medidas zoomórficas	9	Cm	
2	2	Porcentaje de error	10	%	5
3	3	Número de componentes invasivos	9	#	1
4	4	Tiempo de operación	9	horas	2
5	5	Número de controladores	6	#	2
6	6	Peso del dispositivo	9	g.	500
7	7	Volumen del dispositivo	9	Cm ³	5
8	8	Superficie que ocupa el dispositivo	9	Cm ²	10
9	9	Humedad	7	%	70
10	10	Temperatura	7	°C	60

Tabla 6: Tabla de métricas de las especificaciones.

Como se puede observar en la tabla, la métrica con más valor en la escala de importancia es el porcentaje de error, esta métrica se refiere a la desviación que el dispositivo puede tener de acuerdo con las medidas teóricas esperadas, esto en gran medida es causado por las imperfecciones de los instrumentos de medición y por perturbaciones, para expresar este tipo de desviaciones se utiliza el porcentaje.

En segundo lugar, de importancia tenemos a las métricas de medidas zoomórficas, número de componentes invasivos, tiempo de operación, peso del dispositivo, volumen del dispositivo y superficie que el dispositivo ocupa, todos ellos son importantes por ello es por lo que quedaron en segundo lugar:

Medidas zoomórficas, se refiere a las dimensiones que pueda tener nuestro usuario, existen muchas variaciones entre usuarios en esta métrica es por ello por lo que está muy relacionada con la adaptabilidad.

Número de componentes invasivos, debido a que una de las necesidades identificadas fue la de encontrar un dispositivo que no fuera invasivo es de suma importancia contar con el menor número de elementos invasivos.

Tiempo de operación. Es importante que el tiempo de operación sea adecuado debido a las características con las que cuentan las actividades realizadas por los usuarios de este dispositivo, por ello tiene un alto grado de importancia.

Peso del dispositivo, volumen del dispositivo y superficie que ocupa el dispositivo son de vital importancia con relación al requerimiento de portabilidad.

En tercer nivel de importancia podemos encontrar a las métricas de humedad y temperatura las que el dispositivo debe de operar, en ellas radica la robustez que el dispositivo requiere para trabajar adecuadamente en las actividades desarrolladas por los usuarios.

En el último nivel de la escala de importancia nos encontramos con el número de controladores que debe el sistema, esta métrica va ligada con la facilidad de manejo de nuestro dispositivo, para que quien requiera conocer las variables fisiológicas del usuario no tenga complicaciones al momento de operar el dispositivo.

CAPITULO 2

Diseño de Configuración

Objetivo: Explorar las diferentes configuraciones y alternativas para solucionar las necesidades encontradas en el diseño conceptual.

Alcances: Mostar y describir los subsistemas del prototipo, así como las configuraciones encontradas durante las propuestas.

2.1 Diagrama de caja negra

El siguiente paso en la etapa de diseño es construir el diagrama de caja negra, el cual es una representación gráfica de como el sistema interactúa con el medio⁶⁶ en la caja negra se muestran las entradas y salidas que posee el sistema. Para ello es importante definir lo que se refiere una entrada y una salida. Una entrada se define como un flujo de materia, energía o información proveniente del medio, dicho flujo de materia, energía o información es necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. Una salida se refiere el flujo de materia, energía, materia o información que proviene del sistema y es el resultado de la acción de este.



Ilustración 39: Diagrama de Caja Negra. Las Líneas azules son las que corresponden al flujo de información y las líneas verdes corresponden al flujo de energía.

El diagrama de la caja negra nos dice que nuestro sistema trabajará con dos tipos de flujos: en la figura anterior las líneas azules representan el flujo de información. Este tipo de flujo ingresa a través de lo que se denomina *variable fisiológica*, dicha entrada proporciona información que será captada por el sistema y al procesarla deberá mostrar la condición del usuario a través de la salida que se denomina *estado del organismo*.

Las líneas verdes nos muestran los flujos de energía, en nuestro sistema tenemos la entrada de energía eléctrica, la cual es indispensable para que nuestro sistema funcione adecuadamente.

La finalidad de nuestro dispositivo es otorgar la información sobre el estado de la temperatura corporal, el pulso cardíaco y la saturación de oxígeno en la sangre.

2.2 Diagrama de subsistemas

El diagrama de caja negra nos ayuda a entender la función principal del sistema, así como a entender los diferentes flujos con los cuales interacciona el sistema, ahora el siguiente paso es descomponer al sistema en diferentes subsistemas.

Al dividir nuestro sistema en diferentes subsistemas resulta más sencilla su explicación que al tratar de explicar el funcionamiento de toda la caja negra, además de que se agrega detalle y se pueden observar de una mejor manera las características.

En la siguiente figura se puede observar el diagrama de subsistemas que conforman el dispositivo, también se puede observar la forma en la que estos subsistemas interactúan entre ellos.

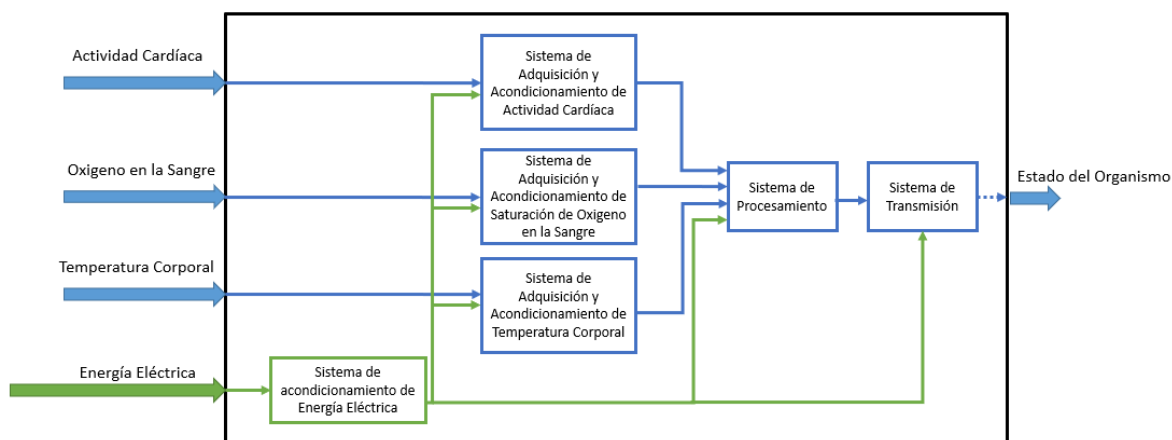


Ilustración 40: Diagrama de subsistemas.

El diagrama de la caja negra y el diagrama de subsistemas la entrada denominada variables fisiológicas se han subdividido en los diferentes fenómenos a medir los cuales son: Actividad cardíaca, temperatura corporal y oxígeno en la sangre. El motivo de que estos fenómenos hayan sido seleccionados, es debido a que juntos nos hablan del estado de salud del usuario. Los sistemas encargados de registrar las variables son los siguientes:

Subsistema de Adquisición y Acondicionamiento de Actividad Cardíaca

Este sistema se encargará de adquirir y acondicionar la señal, para poder medir los cambios en la frecuencia cardíaca como se ha mencionado anteriormente, la frecuencia cardíaca es un indicador importante para conocer certeramente la salud del usuario. Cabe señalar que

en la especie canina como en la humana no es posible controlar de una manera consciente la frecuencia del pulso ni la fuerza de contracción.

Subsistema de Adquisición y Acondicionamiento de Temperatura Corporal

Este sistema se encargará de adquirir la temperatura corporal del usuario, y de la misma manera que el sistema anterior debe de acondicionar la señal para evitar que las perturbaciones afecten la medición. Cabe mencionar que para adquirir la temperatura se tomará en cuenta la temperatura periférica debido a dos razones, el sistema pretende ser no invasivo y la toma de la señal periférica puede suponer una forma no invasiva de realizar la medición además que al revisar las hojas de especificaciones de algunos termómetros veterinarios no invasivos se observó que utilizan la temperatura periférica de la piel.

Subsistema de Adquisición y Acondicionamiento de la Saturación de Oxígeno en la Sangre

Al igual que los sistemas anteriores, su tarea es adquirir la señal de la sangre oxigenada, acondicionarla para poder procesarla y obtener el estado de la saturación de oxígeno en la sangre.

Subsistema de Procesamiento

Este sistema es el encargado de recibir todas las señales ya procesadas y realizar las operaciones adecuadas para poder determinar el estado de las variables fisiológicas, con base en eso este subsistema también define el estado de salud del usuario, dicha información es la salida de este sistema.

Subsistema de Transmisión

En esta etapa la información procedente del sistema anterior es enviada a un dispositivo móvil para la visualización de dicha información.

Subsistema de Acondicionamiento de Energía Eléctrica

Debido a que las tensiones de trabajo y los voltajes otorgados por las fuentes son diferentes se requiere acondicionar dichos valores para que cada componente funcione de una manera adecuada.

2.3 Exploración de configuraciones

Propuesta 1

En la primera propuesta fue la de un dispositivo en forma de broche, el cual es colocado en



Ilustración 41: Propuesta 1.

la cola del animal para poder monitorear sus signos vitales. El dispositivo propuesto es colocado en la cola, ya que al ser un sistema externo al animal este puede quitárselo, y el colocarlo en la cola disminuye esa posibilidad. El diseño también está pensado para que el animal pueda tener un desplazamiento libre, esto quiere decir que al estar en un lugar en donde no tiene tanto contacto con medios externos, evita que este se atore y por ende el animal quede atorado.

De una discusión, entre el equipo, sobre las ventajas y desventajas se llegó a lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-Es inalámbrico -Permite el almacenamiento de los datos	-Dificultad de adquirir los datos deseados -Se ensucia con facilidad, por la ubicación -No todos los perros tienen cola

Tabla 7: Ventajas y desventajas propuesta 1.

Propuesta 2

La segunda propuesta, imagen 42, es un collar, basado en la idea de que, usualmente, los perros están acostumbrados al uso de collares, este no le sería diferente y por lo cual no se tendría problemas con que intentara quitárselo. Posee pocas partes móviles por ello su limpieza no representa gran complicación.

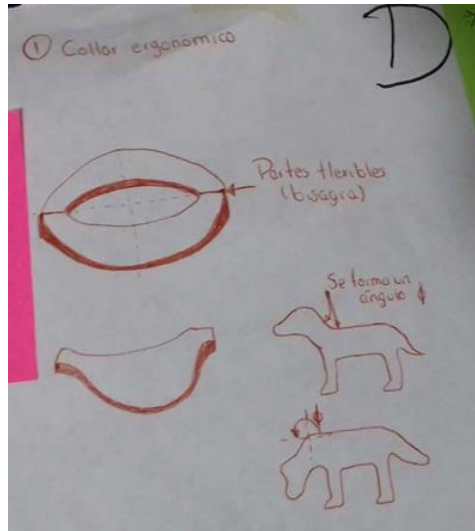


Ilustración 42: Propuesta 2.

La idea también fue puesta a crítica y se obtuvo lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-Inalámbrico -Puede realizar una medición continua -Fácil limpieza	-Debido a la rigidez se puede presentar incomodidad -Voluminoso

Tabla 8: Ventajas y desventajas propuesta 2.

Propuesta 3



Ilustración 43: Propuesta 3.

En la tercera propuesta se presenta un dispositivo, el cual es colocado en el muslo trasero del animal. El dispositivo puede tomar la forma del muslo y así evitar resbalar, al colocar el dispositivo en esta zona se evita que este quede atorado en algún objeto del ambiente, lo que le da una mejor movilidad al animal. Al discutir los puntos positivos y negativos se llegó a lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-Evita el movimiento del dispositivo -Es inalámbrico	-Se ensucia fácilmente -El perro puede quitárselo -Invasivo -Problemas de manufactura

Tabla 9: Ventajas y desventajas propuesta 3.

Propuesta 4

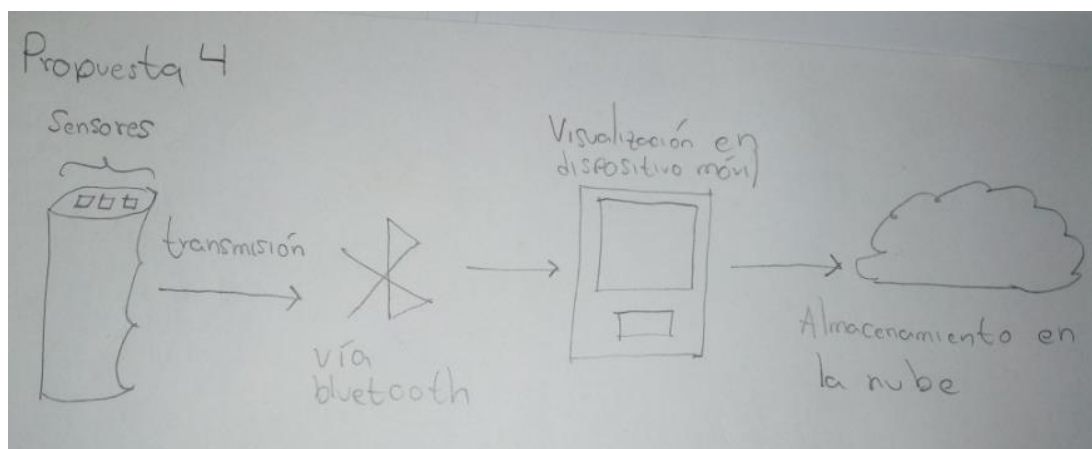


Ilustración 44: Propuesta 4.

La cuarta idea propone un dispositivo capaz de medir los signos vitales del animal, el sistema consiste en un cilindro, con relieves que permiten un mejor agarre, el cual puede medir los signos vitales del perro al tocarlo con el dispositivo y los datos recopilados son enviados, inalámbricamente, a algún dispositivo externo, como una computadora o un Smartphone. Al evaluar la propuesta se obtuvo lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-Fácil construcción -Permite almacenar o enviar los datos	-Poco amigable -Invasivo -Límite de rango de operación

Tabla 10: Ventajas y desventajas propuesta 4.

Propuesta 5



Ilustración 45: Propuesta 5.

En la quinta propuesta, se muestra un collar articulado, el cual permite la medición de variables fisiológicas, dichos datos serán tomados del cuello. El collar está articulado, esto con el propósito de que, si el perro se atora en algún lado, al jalar para intentar soltarse, este dispositivo se libere y así evitar daños en el animal. Al discutir las ventajas y desventajas de este dispositivo, se obtuvo lo siguiente:

Ventaja	Desventaja
-Ligero -Inalámbrico	-Incomodo -El material debe ser rígido para poder cumplir con su función -Al tener muchas articulaciones facilita su ruptura -Posible complicación al limpiarlo

Tabla 11:Ventajas y desventajas propuesta 5.

Propuesta 6

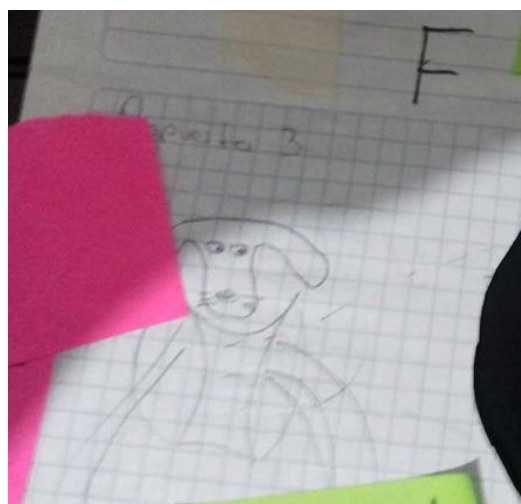


Ilustración 46: Propuesta 6.

La sexta propuesta, trata de un dispositivo parecido a un arnés. El arnés cubre el pecho y la espalda, por lo que el sensor puede ser colocado en diferentes áreas. La evaluación de la idea arroja lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-No invasivo -Gran área para colocar el sensor -Facilidad de manufactura	

Tabla 12: Ventajas y desventajas propuesta 6.

Propuesta 7

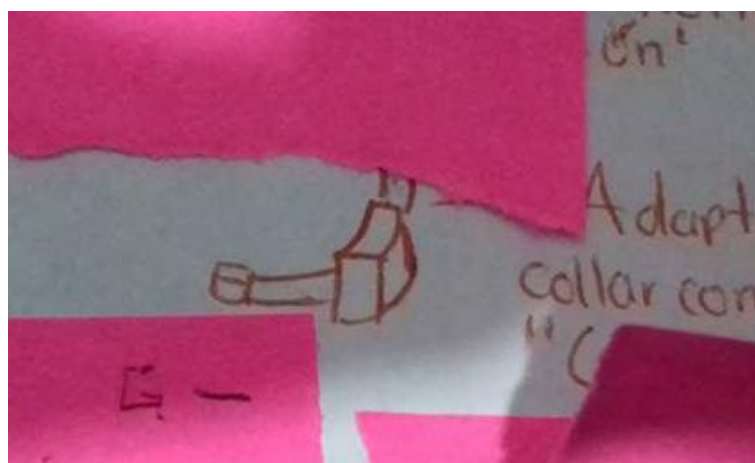


Ilustración 47: Propuesta 7.

La séptima propuesta, muestra un dispositivo en forma de placa, la cual puede ser colocada en el collar del animal. El sistema es una placa que mide las variables fisiológicas en el cuello. Dado que el sistema funciona como un aditamento a su collar, este no representa alguna molestia al agregarlo y dado el tamaño, tampoco supone alguna carga para el animal. La opción fue evaluada y se obtuvo lo siguiente:

Ventajas	Desventajas
-Ligero -Facilidad de mantenimiento e instalación -Inalámbrico -No invasivo	-Posibles complicaciones de fabricación

Tabla 13: Ventajas y desventajas propuesta 7.

Cuando los subsistemas han sido establecidos y han quedado claras las funciones que desempeñarán es momento de generar el concepto, el cual deberá satisfacer la función del

sistema. Para ello se exploran diferentes posibles candidatos que puedan satisfacer las necesidades de cada subsistema.

Candidatos para el subsistema de energía

Configuración	Duración	Facilidad de recarga
Batería LIPO- Circuito acondicionador	Adecuada	Alta
Batería de celular- Circuito acondicionador	Reducida	Baja

Tabla 14: Candidatos para el subsistema de energía.

Candidatos para el subsistema térmico

Dispositivo	Intervalo de Trabajo	Precisión	Voltaje de Operación	Auto-calentamiento	Tiempo de Respuesta
LM34 [62]	-55 [°C] a 100 [°C]	±0.5 [°C] @ 25 [°C]	4 [V]-30 [V]	0.08 [°C]	3 [s]
Termistor MA100GG	0 [°C] a 50 [°C]	±0.1[°C] @ 20-35 [°C]			2 [s]
IR sensor ZTP-115 [57]	-40 [°C] a 145 [°C]		5[V]		0.3 [s]

Tabla 15: Candidatos para el subsistema de temperatura corporal.

Candidatos para el subsistema de transmisión

Dispositivo	Pines Analógicos	Precisión	Transmisión	Velocidad del procesador
ESP 32	16	sí	3.3 [V]-5 [V]	160 [MHz] (Hasta 240 [MHz])
ESP 2866	1	sí	3.3 [V]-5 [V]	80 [MHz]
ARDUINO UNO-2866	-40 [°C] a 145 [°C]	sí	3.3 [V]-5 [V]	16 [MHz]

Tabla 16: Candidatos para el subsistema de transmisión.

Después de verificar todos los conceptos generados y las propuestas para poder seleccionar la configuración más adecuada con base en las especificaciones que se han explicado anteriormente. Fue así como llegamos a la siguiente decisión.

Propuesta Ganadora
Propuesta 6 (Arnés)
Pila LIPO-Circuito acondicionador
Termistor MA100GG
ESP 32

Tabla 17: Propuesta Ganadora.

CAPITULO 3

Diseño a Detalle

Objetivo: Elegir los componentes que cumplan con las especificaciones

Alcance: Mostrar las configuraciones usadas para el prototipo.

Una vez que se establecieron los principios y dispositivos que ayudarán al sistema, se procede a diseñar a detalle cada subsistema que integra al sistema en su totalidad. Como se vio en el capítulo de diseño conceptual el sistema cuenta con diferentes subsistemas los cuales se pueden apreciar de manera clara en la siguiente imagen.

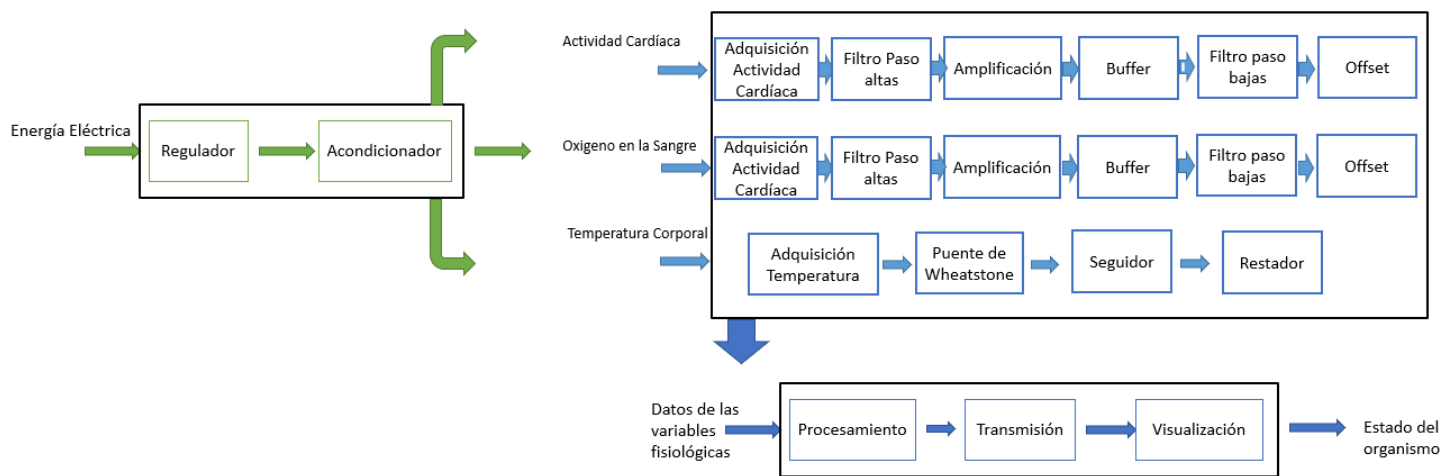


Ilustración 48: Diagrama de sistema completo.

3.1 Subsistema de acondicionamiento de energía

La configuración del subsistema de acondicionamiento de energía se representa en la siguiente imagen.

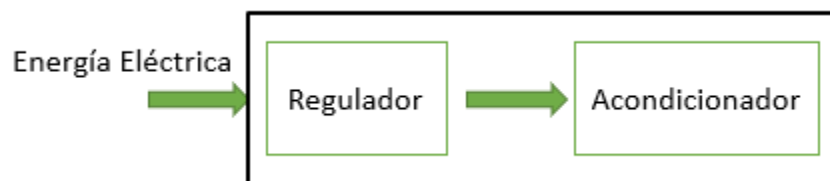


Ilustración 49: Diagrama de subsistema de acondicionamiento de energía.

Para poder alimentar los otros subsistemas se requiere de una tensión constante de 5 volts, como máximo para los componentes digitales y como mínimo para los componentes analógicos. Los componentes analógicos no sólo requieren de una alimentación positiva

sino también alimentación negativa, por lo cual el subsistema de energía debe ser capaz de suministrar voltaje positivo y negativo. Para dicho propósito se seleccionó el regulador de voltaje 7805, el cual nos permite tener un voltaje constante de 5 volts, además del inversor de voltaje ICL7660 el cual nos permite invertir la tensión proveniente del 7805, con ello se obtiene una fuente simétrica ideal para los amplificadores operacionales ocupados en otras etapas.

En las hojas de especificación se pueden encontrar las formas comunes de conexión, siguiendo dichos diagramas se puede generar el siguiente esquema:

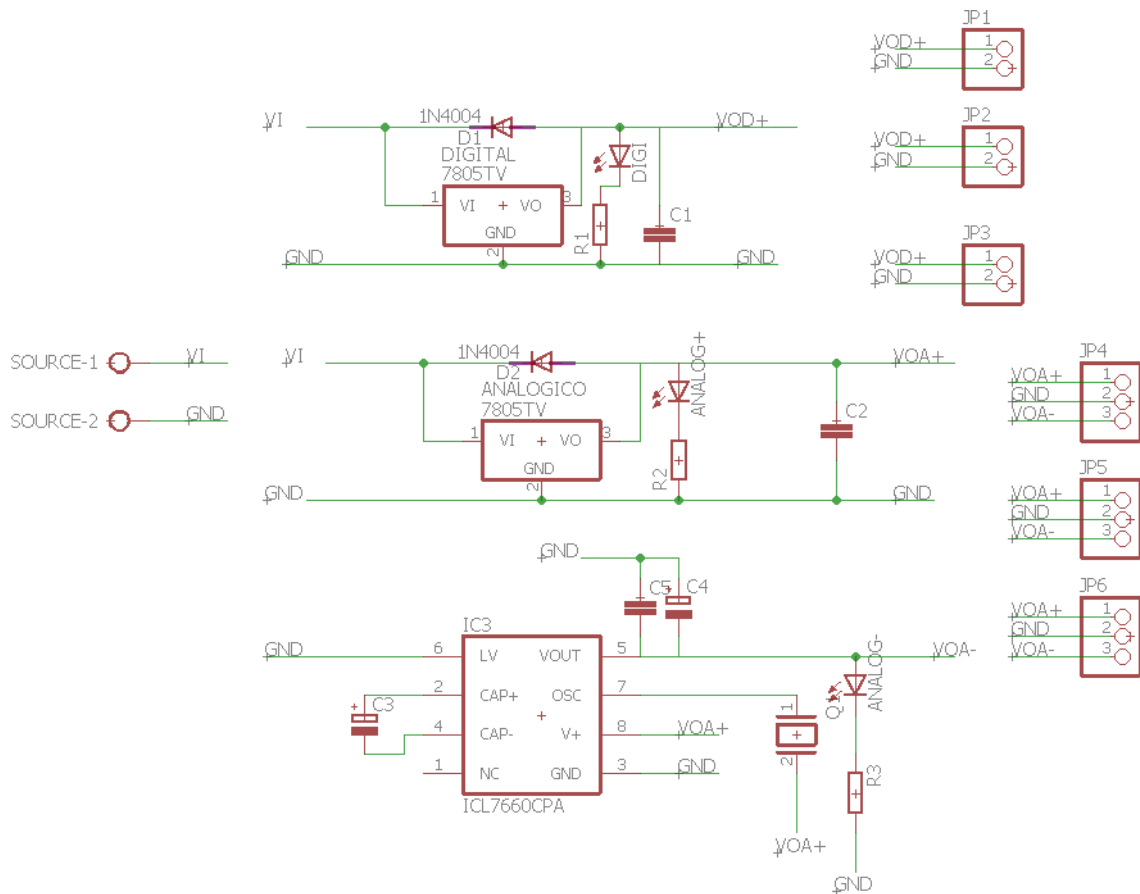


Ilustración 50: Diagrama de subsistema de acondicionamiento de energía.

En la figura anterior se puede observar el uso de dos reguladores, uno para los componentes analógicos y el segundo para los componentes digitales. El diodo en cada uno de ellos es para la protección de los integrados, el LED a la salida de cada regulador es solo como indicador del funcionamiento de cada regulador. El inversor está conectado, de acuerdo a las especificaciones del fabricante con el añadido, al igual que en los reguladores, de un LED indicador a la salida del integrado.

Los elementos en el diagrama de nombre “JP” son headers, los cuales son usados para poder conectar los otros subsistemas y así poder suministrarles energía eléctrica. La

decisión de poner tres de cada tipo, tres dobles y tres triples, es por el número de subsistemas que se tendrían.

El diseño del circuito para PCB terminada se muestra a continuación:

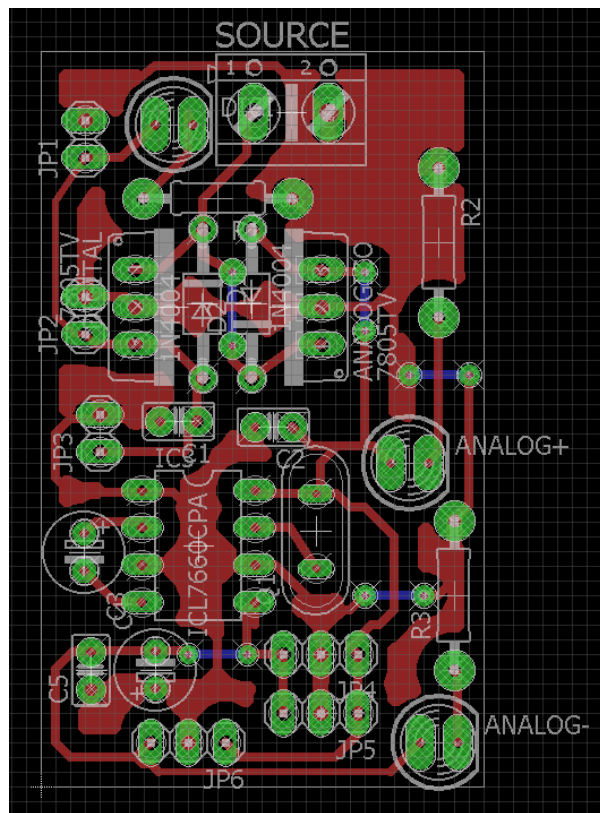


Ilustración 51: Diseño para PCB.

3.2 Subsistema de frecuencia cardiaca y oxigenación

La configuración del subsistema de frecuencia cardiaca y oxigenación se representa en la siguiente imagen.



Ilustración 52: Diagrama de subsistema de frecuencia cardiaca y oxigenación.

Para este subsistema se seleccionó el amplificador operacional TL082, el cual posee las siguientes características:

Característica	Valor
Ancho de banda	4 MHz
Slew Rate	13 V/us
Corriente de alimentación	3.6 mA
Input Offset Voltage	5 mV
Rango de temperaturas de operación	0-70 °C
CMRR	100
Voltaje alimentación mínimo	+5 V

Tabla 18: Características del amplificador TL082.

Para poder obtener la oxigenación en la sangre se requiere comparar la absorción de luz roja e infrarroja en la sangre, mientras que para el pulso cardiaca solo se requiere monitorear la absorción de luz de alguna de ella. Debido a lo anterior se requiere de un sensor capaz de detectar longitudes de onda entre los 660nm y los 940nm (Townsend, 2001), para ello se seleccionó el fotodiodo BPW34, el cual tiene las siguientes características:

Característica	Valor
Longitud de onda	430 – 1100 nm
Angulo medio de sensibilidad	±65°
Rango de temperatura de trabajo	-40 – 100 °C
Temperatura de soldado	260°C
Capacitancia del diodo	70 pF
Rise time	100ns
Fall time	100ns
Reverse light current	50uA

Tabla 19: Características del fotodiodo BPW34.

Si se compara la gráfica de sensibilidad – longitud de onda de este sensor contra un fototransistor, como se muestra en la Figura 23 se puede observar que en la curva de la foto transistor está centrada en los 900nm, lo cual lo hace bueno para luz infrarroja pero no tanto para luz roja puesto que solo tendría una sensibilidad menor del veinte por ciento para los 660nm de la luz infrarroja mientras que en el BPW34 se tiene aproximadamente un sesenta por ciento.

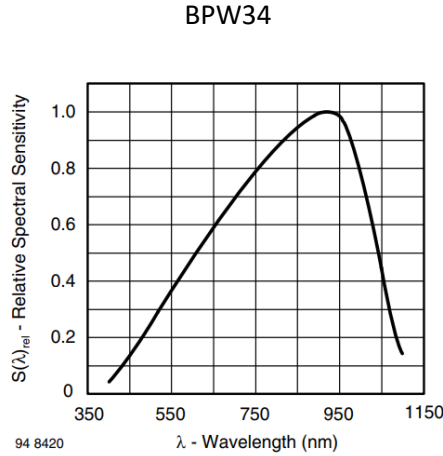


Ilustración 53: Comparación entre BPW34 y un fototransistor.

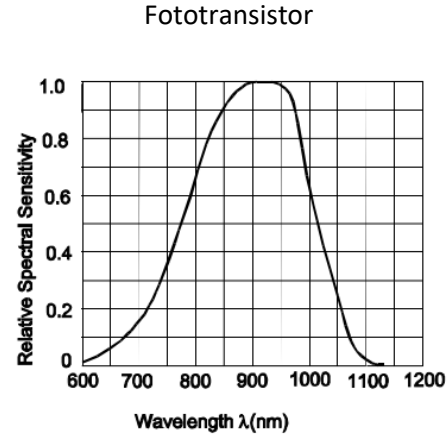


Ilustración 54: Comparación entre BPW34 y un fototransistor.

El fotodiodo proporciona una corriente proporcional a la luz que incide en él, por lo cual se requiere de un convertor de corriente a voltaje (Fraden, 2004). Se ocupa la siguiente configuración para el convertor de corriente a voltaje,

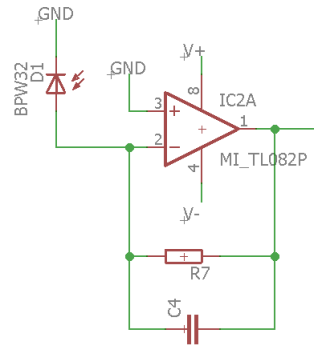


Ilustración 55: Conversor corriente-voltaje.

Se puede observar que la entrada de corriente está dada por el fotodiodo y en la salida se tiene un voltaje proporcional a la corriente (Semiconductor, 2002)

$$V = I_{in}R$$

$$R1 = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{I_{in(max)}}$$

El condensador de realimentación es utilizado para mantener la estabilidad y compensar la capacitancia del fotodiodo (Caldwell, 2014) y la forma para calcularlo es la siguiente

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}$$

De la ecuación se puede obtener una resistencia de 100KΩ y con ello se puede calcular el condensador, usando la ecuación, para una frecuencia de 15 Hz.

Posterior a ello se requiere de eliminar los posibles offset proporcionados por el amplificador y el mismo proceso de conversión el fotodiodo. Para ello se propuso un filtro pasivo de primer orden, la configuración se muestra a continuación:

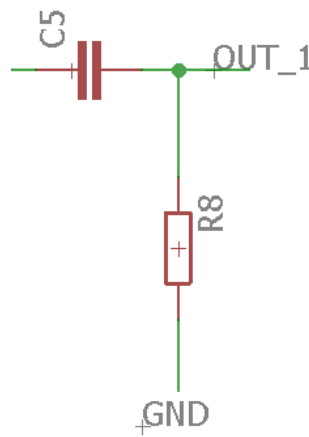


Ilustración 56:Filtro pasivo paso altas de primer orden.

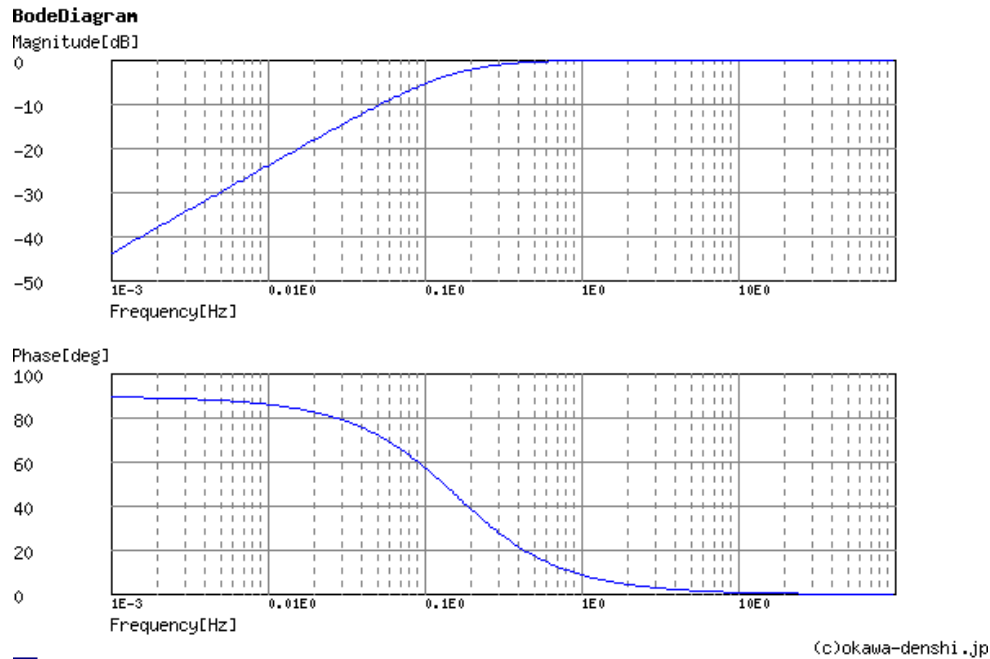
Para poder calcular la frecuencia de corte de dicho filtro, se ocupa la ecuación, y se selecciona un a frecuencia baja, en este caso 0.15 Hz para obtener los valores de resistencia y capacitancia, el comportamiento del filtro se muestra en la gráfica 1.

Dado que a la salida del filtro se tiene una atenuación de la señal sumado con la débil magnitud a la salida del conversor de corriente a voltaje, se requiere una amplificación de la señal. Se requiere incrementar en al menos 100 veces el voltaje de salida por lo cual es idóneo el uso de un amplificador de instrumentación. El diagrama se muestra en la figura 57.

El amplificador de instrumentación INA129 tiene las siguientes características

Características	Valor
Offset en voltaje	50uV (Máximo)
CMR	125 dB
Rango de voltaje de alimentación	±2.25 - ±18
Temperatura de operación	-55°C – 175°C

Tabla 20: Características INA129.



Gráfica 1: Frecuencia de corte.

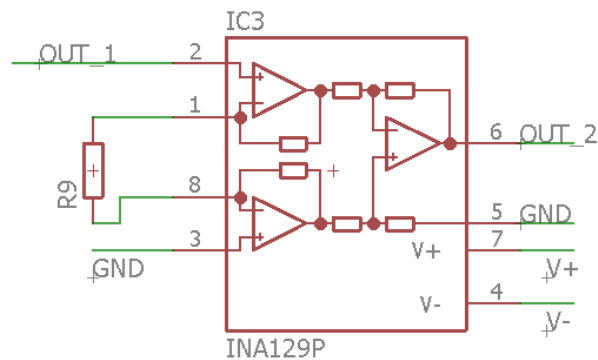


Ilustración 57: Configuración del Amplificador de instrumentación.

Para el cálculo de la ganancia se ocupa la formula

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G}$$

Para una ganancia de 100 se requiere de un resistor de valor 500, aproximadamente.

Posterior a la amplificación se requiere un nuevo filtrado, pero esta vez para poder monitorear los latidos del corazón. Para ello se ocupa un filtro paso bajas activo de segundo orden en configuración Butterworth, como el mostrado a continuación

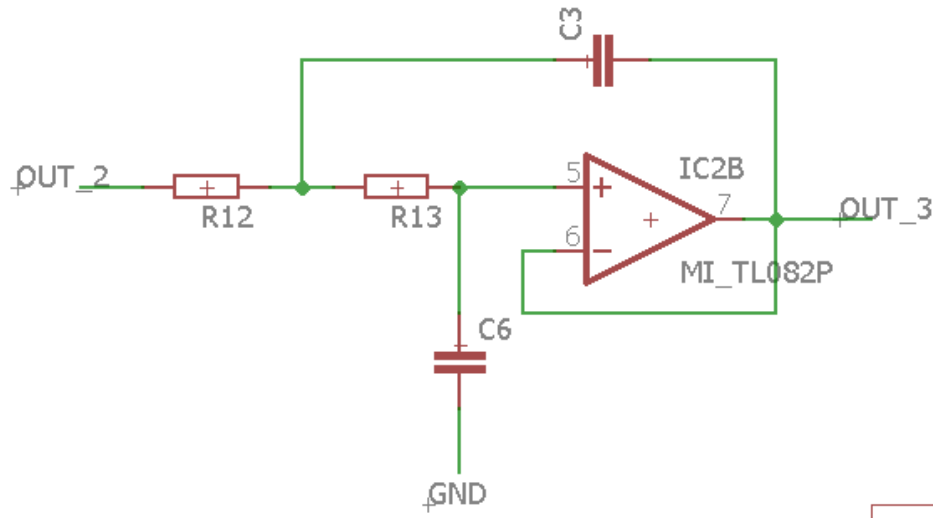


Ilustración 58: Filtro paso bajas activo de segundo orden.

La función de transferencia de este filtro es:

$$G(s) = \frac{1}{R_{12}R_{13}C_3C_6} \frac{1}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_{13}C_3} + \frac{1}{R_{12}C_3}\right) + \frac{1}{R_{12}R_{13}C_3C_6}}$$

Calculando para una frecuencia de 2.6 Hz, se obtiene el siguiente comportamiento:

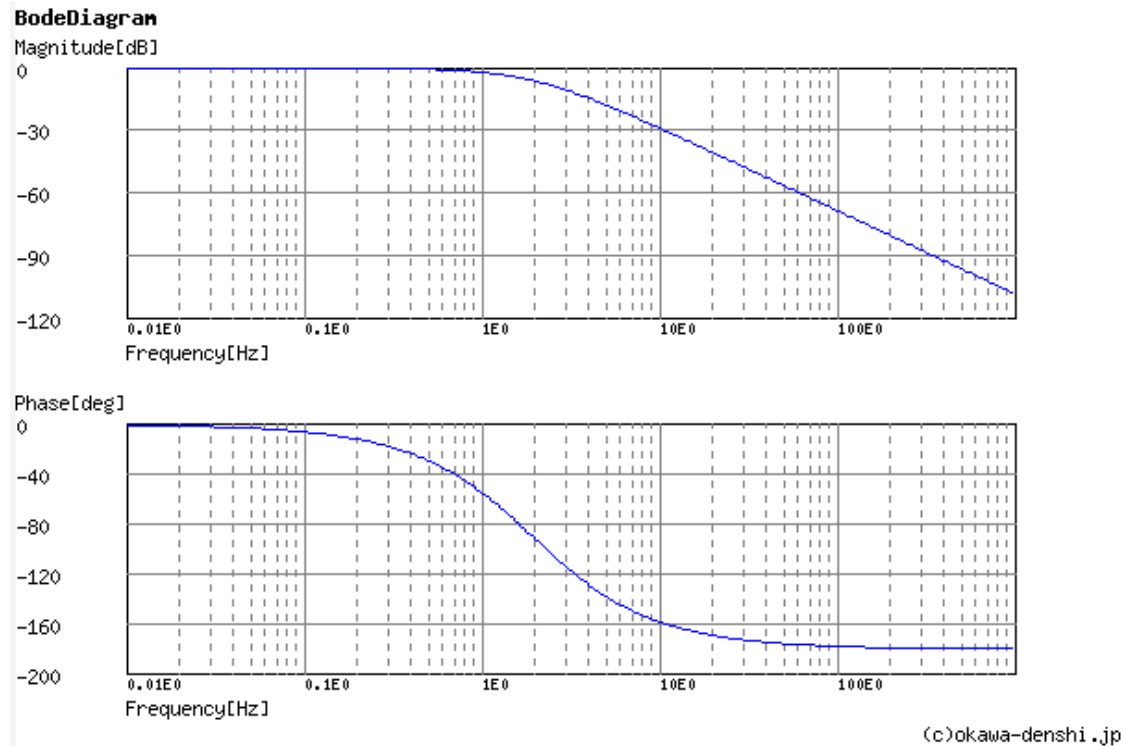


Ilustración 59: Filtro paso bajas de segundo orden.

Como se puede apreciar en la figura el filtro atenúa la señal aproximadamente en la frecuencia de corte indicada, esto varia debido a las tolerancias de los componentes usados.

Posterior al filtrado se coloca una un seguidor de voltaje, con el objetivo de evitar caídas de voltaje, así como una última etapa de amplificación, puesto que el filtrado redujo la magnitud de la señal y para etapas posteriores se requiere de una señal con mayor magnitud. Se muestran los diagramas de las configuraciones usadas.

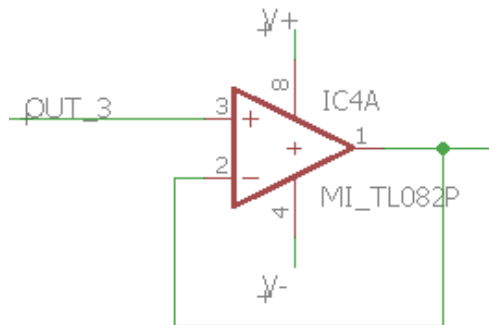


Ilustración 60: Seguidor de tensión y Amplificación de la señal.

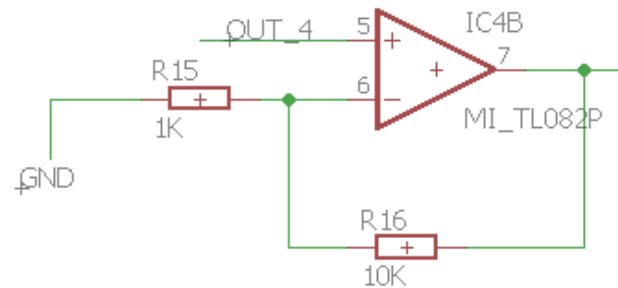


Ilustración 61: Amplificador.

La ganancia de la amplificación se puede calcular con la siguiente formula:

$$G = \frac{R_{15} + R_{16}}{R_{15}}$$

Con lo que al substituir los valores se obtiene una ganancia de 11 veces.

Hasta este momento la señal a la salida la última etapa de amplificación puede ser visualizada como una señal que varía en el tiempo, por lo cual se visualiza como voltaje positivo y negativo, lo cual nos serviría para monitorear la frecuencia cardiaca pero no para la oxigenación por lo cual se implementa un offset que nos permita ver la señal completa pero solo con valores de voltaje positivo.

En la Figura 62 se puede observar el un divisor de voltaje el cual divide a la mitad el voltaje suministrado por la fuente, lo que equivale a 2.5 V. Las resistencias en la configuración otorgan una ganancia, la cual puede ser calculada de la siguiente manera:

$$G = 1 + \frac{R_4}{R_4 + R_3}$$

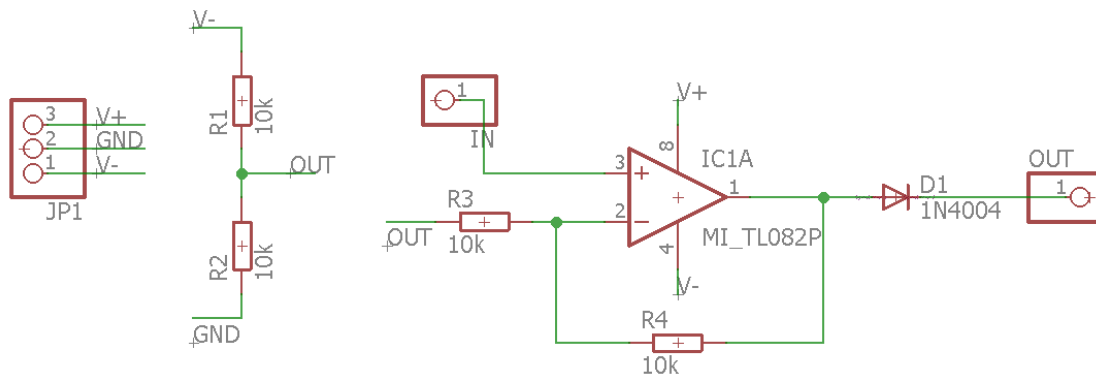


Ilustración 62: Offset.

Con lo que al substituir lo valores se obtiene una ganancia de 1.5 veces. Dado el valor aún puede ir en sentido negativo se coloca un diodo con lo cual se asegura que los valores de voltaje estén entre 0 y 5 volts, con esto se evita la avería de la electrónica digital.

La parte de la fotopletismografia y oxigenación ha sido terminada pero aún queda hacer que los LEDs enciendan de forma intermitente, para resolver ello se hace uso de un integrado 555 el cual en su configuración astable nos proporciona una señal pulsátil que nos permite encender intermitentemente los LED rojo e infrarrojo. La configuración del integrado 555 se muestra en el siguiente esquema:

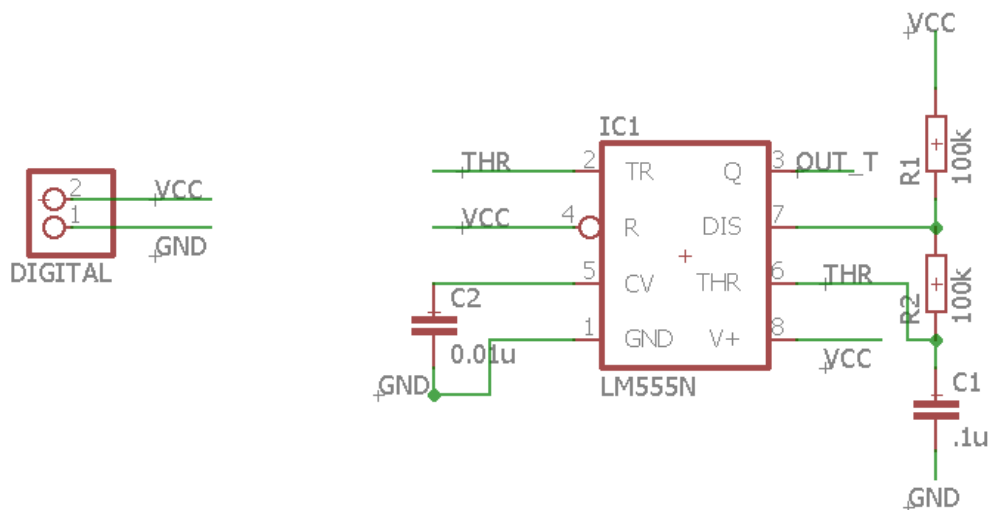


Ilustración 63: Configuración integrado 555.

Para calcular la frecuencia de oscilación se ocupa la ecuación:

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Para calcular el tiempo en alto y el tiempo en bajo se ocupa:

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C$$

$$t_2 = 0.693(R_2)C$$

Con los valores propuestos en la siguiente figura se obtiene un valor de 48 Hz, un tiempo en bajo de 6.9 ms y un tiempo en alto de 13.86 ms

Con el 555 en modo astable solo podríamos encender un LED mientras que el otro se mantiene apagado todo el tiempo, para solucionar esto se incorpora un arreglo de transistores.

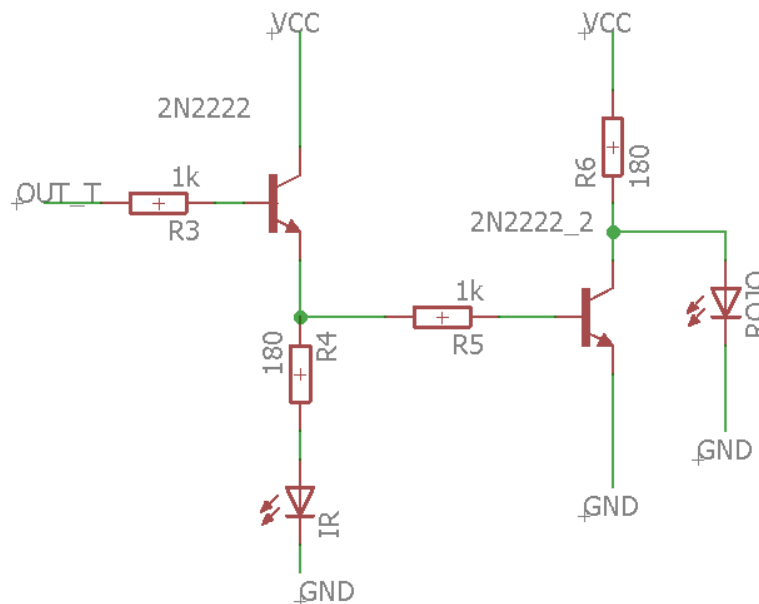


Ilustración 64: Arreglo de transistores para encendido intermitente de los leds.

La salida del 555 va a la base del primer transistor, lo que al haber 5 volts en la salida del integrado permitirá el flujo de corriente en el transistor. El segundo transistor está conectado de tal manera que niega la salida del emisor del primer transistor por lo que,

cuando fluya corriente por el primer transistor el segundo transistor bloquee el flujo de corriente y viceversa.

3.3 Subsistema de temperatura

La configuración del subsistema de temperatura se representa en la siguiente imagen.



Ilustración 65: Etapas subsistema de temperatura.

Para este sistema se ha seleccionado el sensor MA100GG103A, el cual es un termistor destinado al uso médico que posee las siguientes características.

Característica	Valor
Tiempo de respuesta	15 [s] en el aire
	2 [s] en el agua
Precisión	0.1 C @ 20-35 C
	0.05 C @ 35-39
Resistencia Nominal @ 25	10 [kΩ]
Material del cable de aislamiento	PVC de grado médico
Material del encapsulado	Plástico moldeado

Tabla 21: Características del sensor MA100GG103A.

El comportamiento de este sensor lo dicta su naturaleza, el sensor es de tipo NTC, lo cual significa que entre más aumenta la temperatura, la resistencia baja, el comportamiento del sensor lo podemos observar en la figura 66 donde se muestra la temperatura contra la resistencia (T-R).

Debido a que es una resistencia eléctrica debemos encontrar una ecuación que relacione a la resistencia eléctrica con la temperatura, sin embargo, nos encontramos con que el termistor muestra un comportamiento no lineal se ha optado por elegir un rango de interés en donde se encuentran los parámetros normales de la temperatura canina. Recordando que la temperatura corporal canina adecuada se encuentra entre los 38.5 [°C] y los 39.5 [°C] se decidió tomar un rango de entre los 18 [°C] y los 40 [°C], teniendo el apoyo del software MATLAB versión R2014a se ha obtenido la siguiente ecuación:

$$R = -372.83T + 19614$$

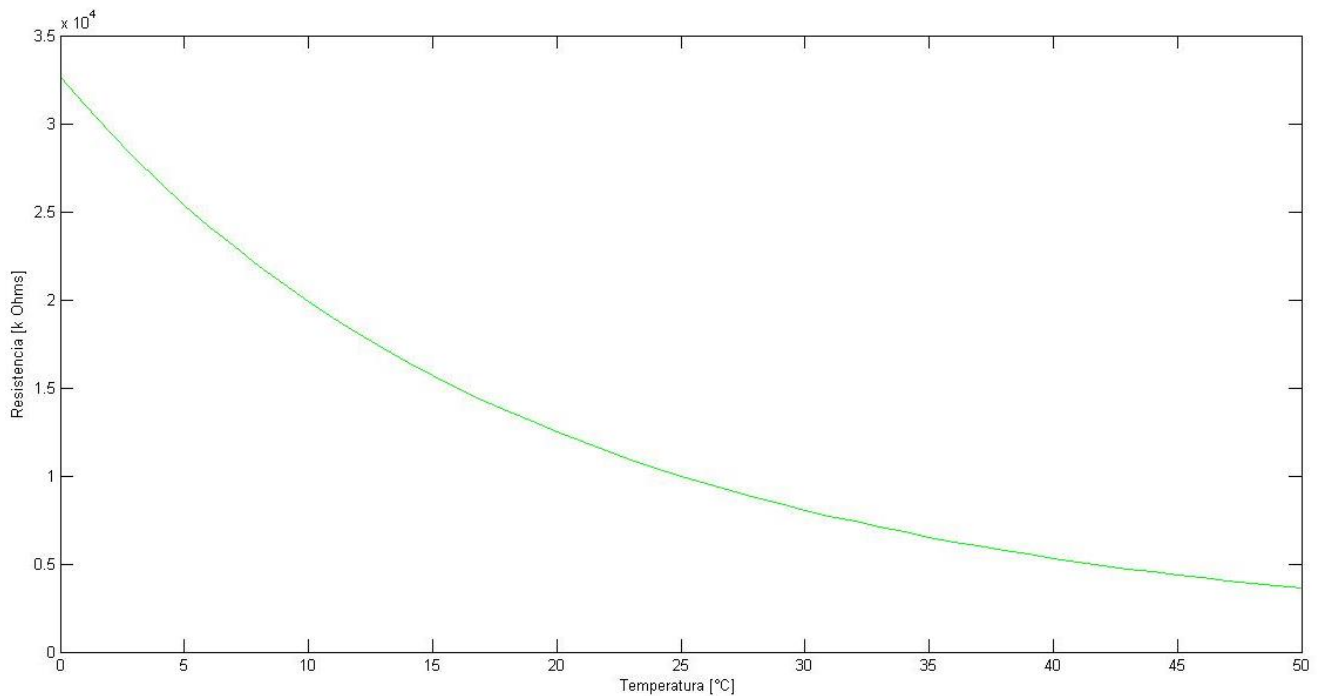


Ilustración 66: Gráfica (T-R) del sensor MA100GG103A.

En la siguiente gráfica podemos observar ambos comportamientos, tanto el comportamiento real del termistor como el comportamiento linealizado en el rango de 18[°C] a 40[°C] y podemos observar que el error relativo máximo se da en los extremos de la gráfica donde el error es de 0.3% aproximadamente.

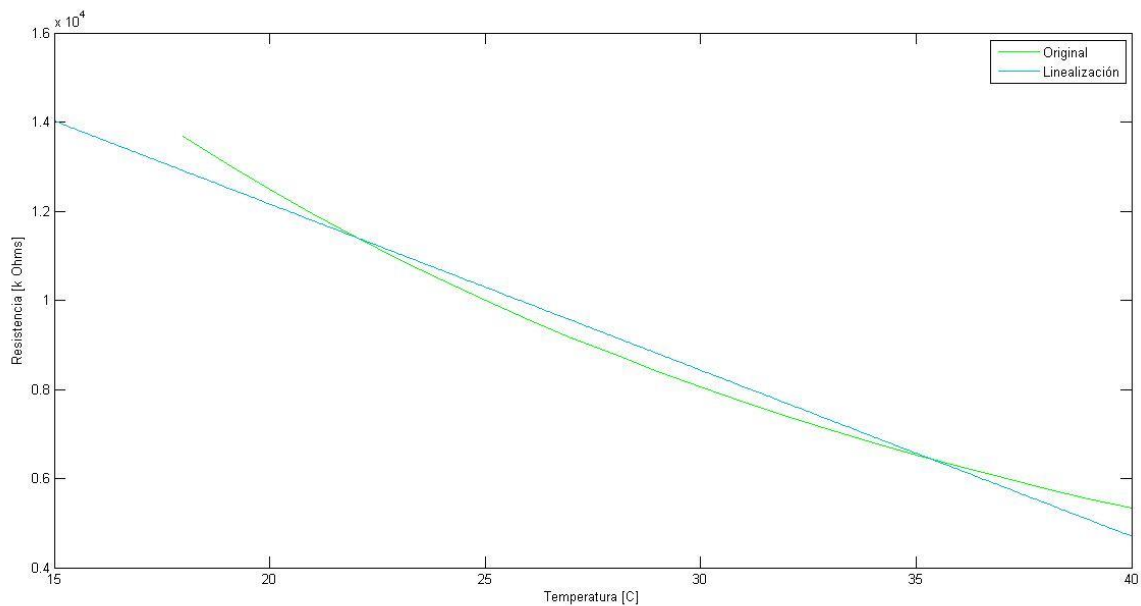


Ilustración 67: Comparación entre la gráfica original del sensor y su linealización en la zona de interés.

Ahora que se ha seleccionado un rango de interés dentro, es necesario el uso de un circuito que nos ayude a medir los cambios en nuestro termistor, para ello se eligió el puente de

Wheatstone el cual es un arreglo de resistencias que permite medir los cambios en la tensión.

El presente circuito sigue el siguiente comportamiento:

$$V_{BD} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X}{R_X + R_3} \right) V_f \dots (1)$$

Despejando R_X tenemos lo siguiente:

$$R_x = \frac{R_3 R_1 V_f - (R_3 R_1 + R_3 R_2) V_{BD}}{(R_1 + R_2) V_{BD} + R_2 V_f} \dots (2)$$

Se puede analizar de la siguiente manera, para poder medir los cambios necesitamos obtener la resta entre el voltaje que se encuentra entre R_X y R_3 llamando a este punto el nodo B y restarle el voltaje que se encuentra entre R_1 y R_2 , a este lo llamaremos nodo D, con ello podremos realizar una resta y obtener V_{BD} , lo cual es lo mismo que obtener V_G por lo que tenemos que hacer es obtener por separado V_B y V_D para ello utilizaremos la ayuda de nuestra ecuación que describe el comportamiento de nuestro termistor.

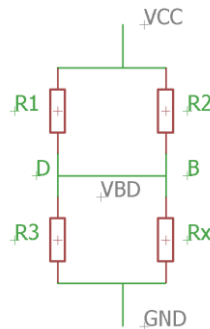


Ilustración 68: Puente de Wheatstone.

Sabemos que nuestro termistor es no lineal y para poder relacionarlo con nuestro circuito hemos obtenido, a partir de su gráfica no lineal, la siguiente ecuación:

$$R_x = -372.83T + 19614 \dots (3)$$

En un rango de temperatura que va de los 18 [°C] a los 40 [°C], como quien nos interesa es conocer cómo se relaciona R_X con todo el circuito, es por ello que sabemos que a cada brazo del puente le podemos aplicar un divisor de voltaje, de esos divisores de voltaje obtendremos V_B y V_D para poder realizar V_{DB} , después de relacionar a las ecuaciones (2) y a la ecuación (3) y de definir los valores de $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ [k}\Omega\text{]}$ se encontró que el modelo matemático que rige la relación entre R_X y todo el circuito es el siguiente:

$$T = \frac{\frac{10 \times 10^7 V_f - 20 \times 10^7 V_{BD}}{10 \times 10^3 V_f - 20 \times 10^3 V_{BD}} - 19614}{-372.83}$$

Para las dos señales obtenidas a las salidas del puente de Wheatstone se requiere un procesamiento para tener una señal adecuada para mandar al microcontrolador, se optó por el siguiente procesamiento.

Adquisición

En la adquisición utilizamos el arreglo del puente de Wheatstone, donde, como se ha mencionado en este capítulo, todos los resistores tienen el mismo valor el cual es 10 [kΩ] con lo que nuestro puente tiene la siguiente configuración.

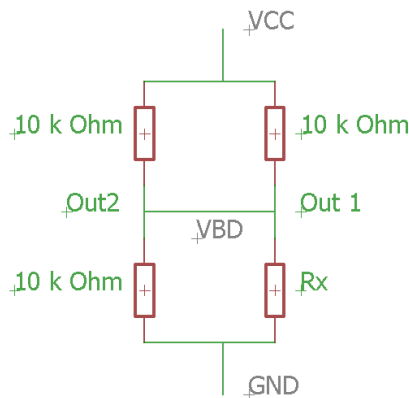


Ilustración 69: Puente de Wheatstone.

La cual sigue un comportamiento de la siguiente manera

$$R_x = \frac{R_3 R_1 V_f - (R_3 R_1 + R_3 R_2) V_{BD}}{(R_1 + R_2) V_{BD} + R_2 V_f}$$

Seguimiento

Para el acoplamiento de impedancias se ha conectado en cada salida del puente un seguidor tal y como se muestra en la figura 70.

Los cuales tienen el siguiente comportamiento:

$$V_i = V_o$$

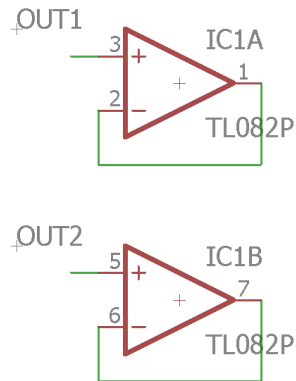


Ilustración 70: Seguidores de Voltaje.

Diferencial

Ya que hemos recolectado los dos voltajes y han pasado por los seguidores es momento de obtener V_{BD} realizando la resta entre la salida 1 menos la salida 2 para ello utilizamos la configuración de “amplificador diferencial” la cual la podemos ver en la siguiente imagen.

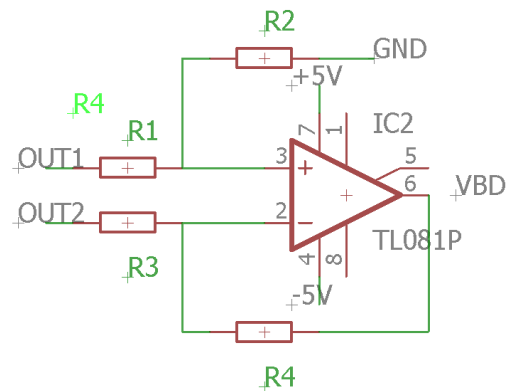


Ilustración 71: Amplificador Diferencial.

La configuración de amplificador diferencial se comporta de la siguiente manera

$$V_{BD} = \frac{R_4}{R_3} (V_{out1} - V_{out2})$$

Pero como el arreglo tiene los valores de la figura 72.

Por lo que el comportamiento de esta configuración es el siguiente:

$$V_{BD} = V_{out1} - V_{out2}$$

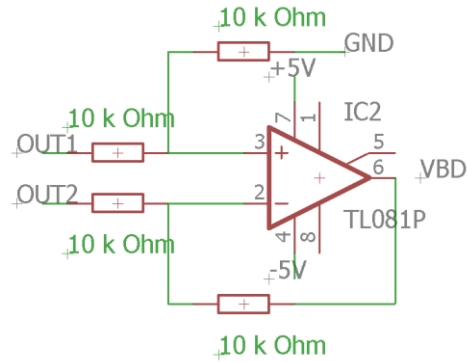


Ilustración 72: Amplificador Diferencial.

Circuito completo

Conectando todas las fases el circuito tenemos el siguiente diagrama

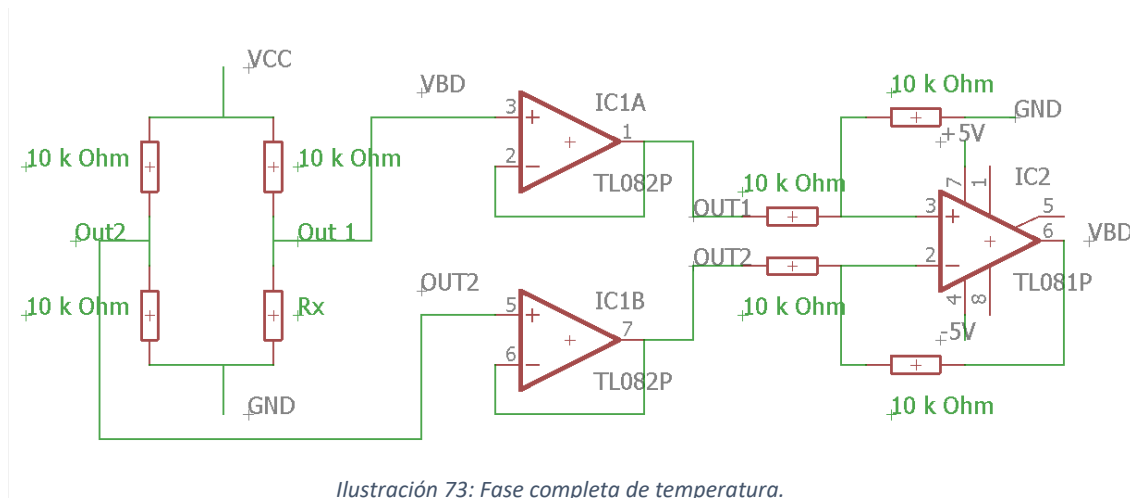


Ilustración 73: Fase completa de temperatura.

Ahora tenemos un circuito que es capaz de recolectar la señal de la temperatura mediante la variación en el valor de la resistencia de un termistor y la salida de este circuito nos da el valor del voltaje necesario para que, en conjunto con el valor del voltaje de la fuente y la ecuación que relaciona la temperatura con la resistencia para que la siguiente fase pueda calcular la temperatura con la siguiente formula.

$$T = \frac{\frac{10 \times 10^7 V_f - 20 \times 10^7 V_{BD}}{10 \times 10^3 V_f - 20 \times 10^3 V_{BD}} - 19614}{-372.83}$$

3.4 Subsistema de transmisión

La configuración del subsistema de transmisión y de muestreo de datos se muestra en la siguiente imagen.

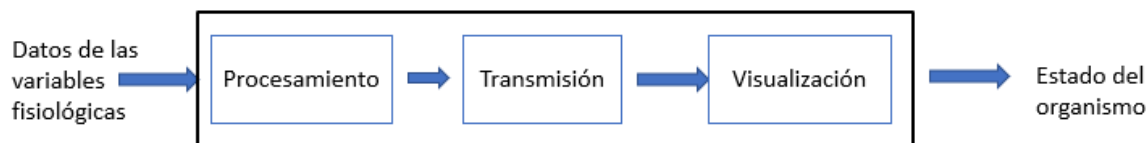


Ilustración 74: Etapas del subsistema de transmisión.

Ahora que todas las señales han sido tratadas y han pasado por diferentes fases están listas para ser procesadas y transmitidas. El dispositivo que se ha seleccionado la placa de desarrollo ESP 32, la cual permite crear una red WIFI para enviar datos mediante esta red. Esta placa tiene las siguientes características.

Característica	Descripción
Procesador	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core a 160 MHz (hasta 240 MHz)
Memoria RAM	520 kB
Memoria Flash	Hasta 16 MB
ROM	448 kB
Alimentación	2.2 a 3.6 [V]
Rango de temperaturas	-40 °C a 125 °C
Consumo de corriente	80 [mA] (225 [mA] máximo)
Consumo en modo sueño profundo	2.5 [μ A] (10 [μ A] RTC + memoria RTC)
Coprocador de bajo consumo	Sí. Consumo inferior a 150 [μ A]
WiFi	802.11 b/g/n (hasta +20 dBm) WEP,WPA
Soft-AP	Sí
Bluetooth	Bluetooth 4.2
GPIO	36
Hardware/Software PWM	1/16 canales

Sistema integrado

A continuación, se muestra el sistema físicamente y sus diferentes subsistemas.



Ilustración 77: Sistema completo.

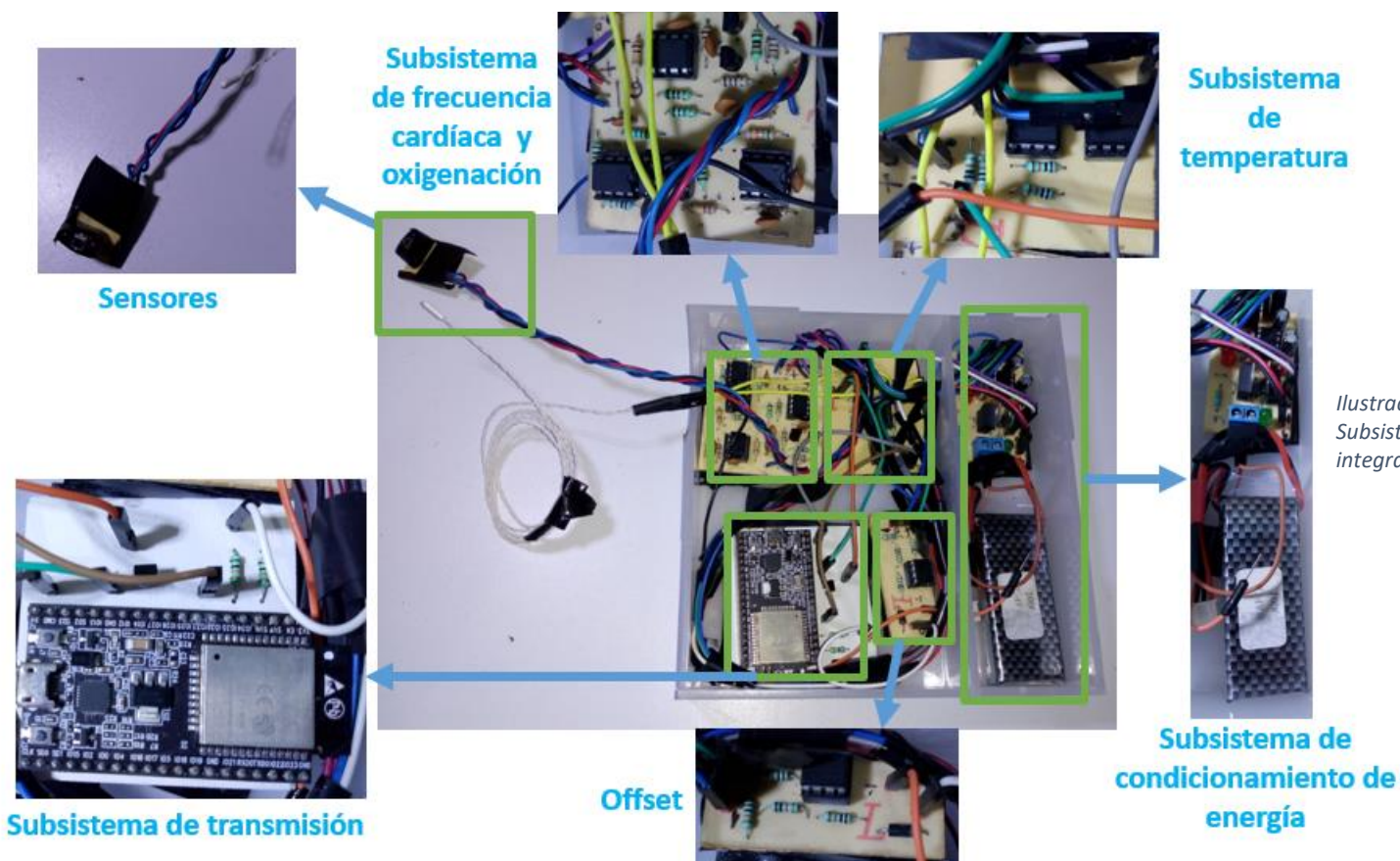


Ilustración 78:
Subsistemas
integrando el

CAPITULO 4

Pruebas, Resultados y Análisis de Resultados

Objetivo: Realizar pruebas con humanos para saber la fiabilidad del sistema y posteriormente realizar pruebas con caninos.

Alcances: Mostrar los resultados de las pruebas realizadas con humanos y perros, así como las comparaciones con las especificaciones.

4.1 Pruebas de los subsistemas por separado, calibración y análisis de los resultados

Antes de hacer las pruebas en mascotas se decidió hacer otras dos pruebas previas, una con un Baumanómetro digital para comparar la frecuencia cardiaca y otra con un termómetro óptico para comparar la temperatura en un canino.

4.1.1 Resultados y comparación de la prueba con el baumanómetro digital

Esta prueba fue realizada en los sujetos de prueba 3 y 4 con el fin de comparar los valores de frecuencia cardiaca entre el baumanómetro y nuestro dispositivo. Dichas comparaciones aparecen a continuación.

Sujeto de prueba 3

$$E = \left(\frac{94 - 90}{94} \right) * 100$$

$$E = 4.255\%$$

Sujeto de prueba 4

$$E = \left(\frac{91 - 86}{91} \right) * 100$$

$$E = 5.494\%$$

4.1.2 Resultados y comparación de la prueba con un termómetro digital

La siguiente prueba fue hecha con un termómetro digital aplicada a un sujeto canino de prueba “Alaska”, los resultados y la comparación se muestran a continuación.

Alaska

$$E = \left(\frac{38 - 37.8}{38} \right) * 100$$

$$E = 0.52\%$$

4.2 Pruebas, protocolo y análisis de resultados con usuarios humanos

La fase de prueba de concepto es una fase muy importante en el desarrollo de un producto, debido a que es una forma de conocer si un producto es viable. También ayuda a poder observar la interacción entre el usuario y el dispositivo, y a visualizar si son útiles los conceptos para el propósito que buscamos⁶⁶.

Normalmente este paso sirve para poder conocer la opinión de un cliente potencia, donde se puede obtener mucha información de utilidad, como el número de unidades y algunas mejoras que podríamos hacerle al concepto.

En el caso de nuestro dispositivo, este paso nos ayudó a conocer la opinión de dueños potenciales que estén dispuestos a dejar que a sus perros se les hagan muestras.

Nuestra prueba de concepto fue aplicada a humanos, ya que era necesario aplicarla a un ser que sea capaz de estar quietos en las pruebas.

Para ello se instrumentaron a 5 sujetos de prueba con las siguientes características:

Sujeto 1	
Edad	23
Sexo	Femenino

Tabla 23: Características del sujeto de pruebas 1.

Sujeto 2	
Edad	23
Sexo	Femenino

Tabla 24: Características del sujeto de pruebas 2.

Sujeto 3	
Edad	24
Sexo	Masculino

Tabla 25: Características del sujeto de pruebas 3.

Sujeto 4	
Edad	24
Sexo	Masculino

Tabla 26: Características del sujeto de pruebas 4.

Sujeto 5	
Edad	24
Sexo	Masculino

Tabla 27: Características del sujeto de pruebas 5.

Las pruebas fueron tomadas con los siguientes criterios con los siguientes criterios:

- No haber fumado recientemente.
- No haber consumido fármacos recientemente.
- No haber consumido ningún tipo de droga.
- No haber realizado ningún tipo de actividad física en los 30 minutos anteriores a la prueba.

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura fue colocado en la axila del sujeto.
- El sensor de actividad cardiaca fue colocado en la falange distal del dedo índice de la mano derecha. O de la mano izquierda.

Los pasos que seguir fueron los siguientes:

- Se explica al sujeto las pruebas a realizar, se le indica lo que se realizará y que será fotografiado.
- Se colocan los sensores advirtiéndole que no son invasivos y que no le provocarán ninguna reacción adversa.
- Se le indica al sujeto de pruebas que la prueba tratará de tomar las variables fisiológicas durante un estado de reposo y que la prueba no durará más de 2 minutos.
- Se pone en funcionamiento al sistema, empieza la grabación de la prueba.
- Se le dice al sujeto de pruebas que permanezca relajado durante 2 minutos.
- Una vez finalizada la prueba se le agradece al sujeto de pruebas por haber contribuido al desarrollo de “MEASY-PET”

Es deseable que el lugar de pruebas tenga las siguientes características:

- Se encuentre a la sombra.
- Lugar tranquilo.
- Iluminación constante.
- Lugar amplio.

Resultados esperados

Al tener a sujetos de prueba que cumplen con todas las especificaciones anteriores se espera que los resultados arrojados en las dos pruebas (con nuestro dispositivo y con el dispositivo Infiniti) sean los que se encuentran en los parámetros normales.

4.3 Resultados

Tomando lo que teníamos podemos observar los resultados arrojados por nuestro dispositivo, estos fueron los resultados de cada sujeto:

Resultados del sujeto 1

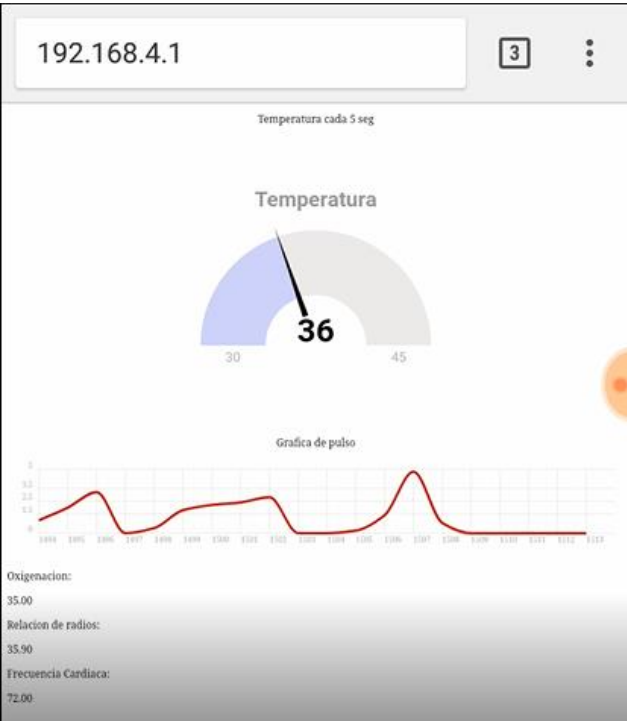


Ilustración 79: Resultados del sujeto de prueba 1 con “Measy-Pet”.

Resultados del sujeto 2

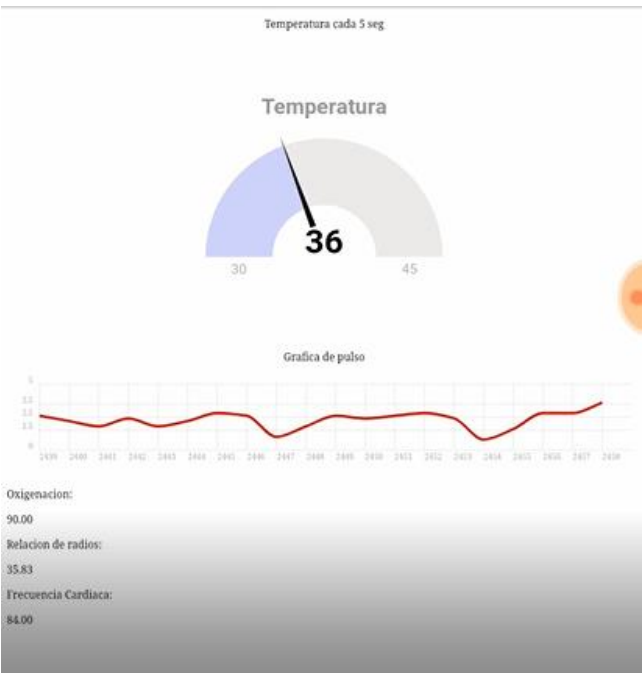


Ilustración 80: Resultados del sujeto de prueba 2 con “Measy-Pet”.

Resultados del sujeto 3

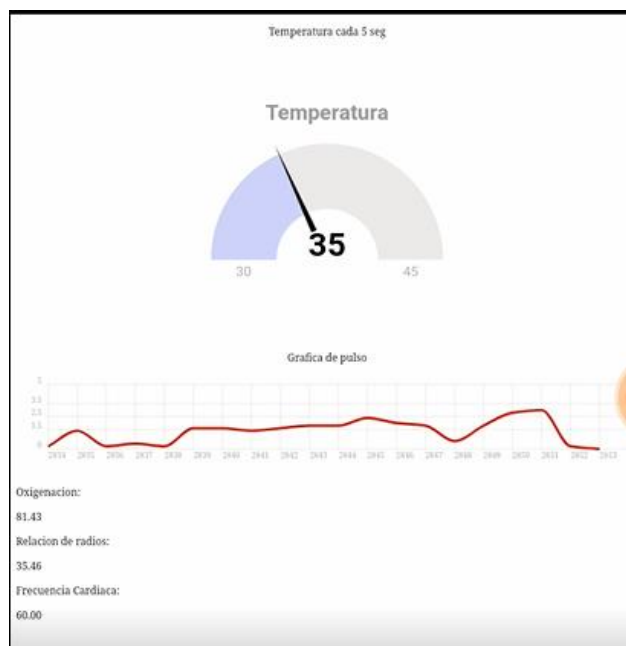


Ilustración 81: Resultados del sujeto de prueba 3 con "Measy-Pet".

Resultados del sujeto 4

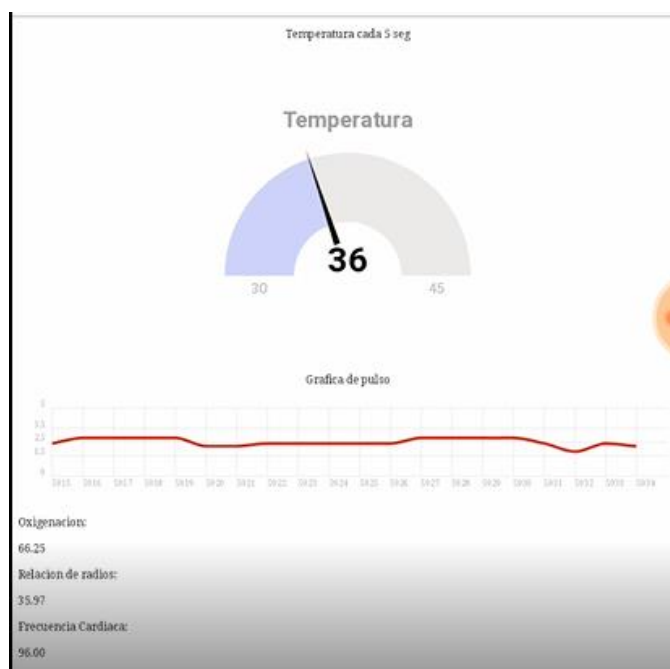


Ilustración 82: Resultados del sujeto de prueba 4 con "Measy-Pet".

Resultados del sujeto 5

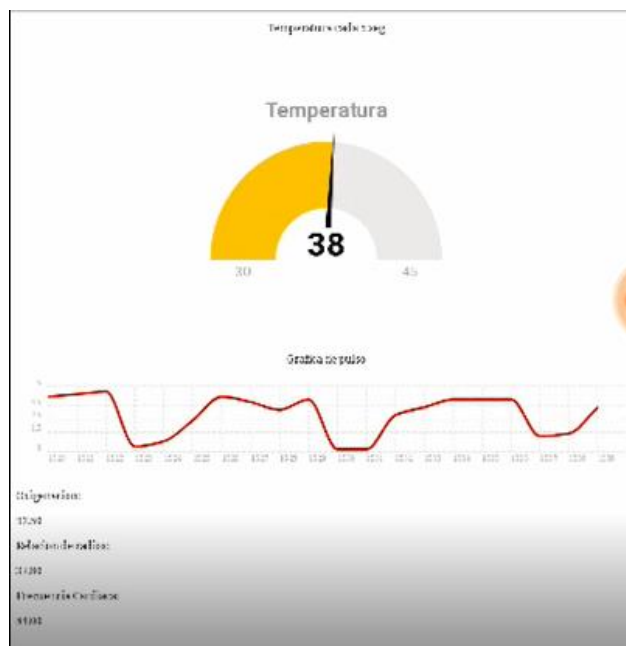


Ilustración 83: Resultados del sujeto de prueba 5 con "Measy-Pet".

4.4 Pruebas con el sistema comercial PROCOM INFINITI

Ahora que se han realizado las primeras pruebas, lo que haremos será corroborar la información con los datos obtenidos con el sistema comercial PROCOM INFINITI para después de obtener los resultados poderlos comparar.

PROCOM INFINITI

El PROCOM INFINITI es un sistema que tiene la capacidad para registrar diferentes tipos de variables fisiológicas a través de sus sensores, teniendo las siguientes características.

Característica	Valor
Voltaje de operación	3.6 [V]-6.5[V] (Fibra óptica), mínimo 4.0 [V] (Tarjeta Compact Flash)
Voltaje de sensores	7.260 [V] $\pm$ 2 [mV]
ADC	14 bits
Número de canales	8
Ancho de banda y frecuencia de	Configurable a:

muestreo	DC-512 [Hz] @ 2048 muestras/segundo DC-64 [Hz] @256 muestras/segundo DC-64 [Hz] @ 200 muestras/segundo DC-8[Hz] @ 32 muestras/segundo DC-8 [Hz] @ 20 muestras/segundo
Vida de la batería	30 horas típico 20 horas mínimo
Comunicación	USB Wireless

Tabla 28: Especificaciones del sistema PROCOM INFINITI.

La prueba fue realizada al mismo tiempo junto con la prueba con nuestro dispositivo para tener una buena comparación de datos.

Las pruebas fueron realizadas siguiendo el mismo protocolo ya mencionado, y los resultados fueron los siguientes.

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI del sujeto de pruebas 1

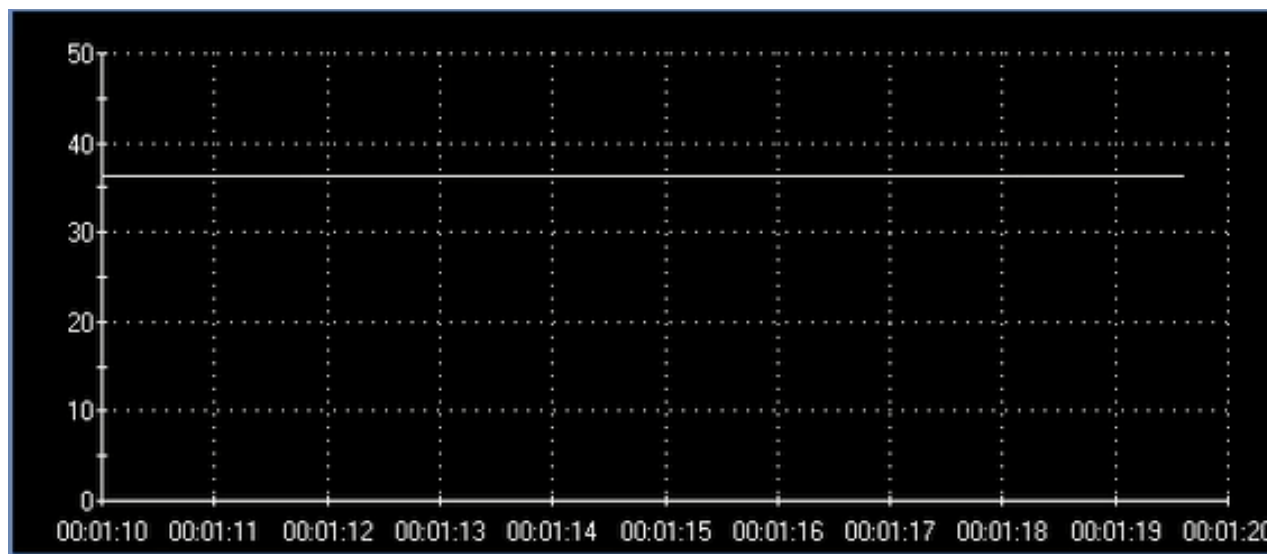


Ilustración 84: Gráfica de temperatura sujeto de prueba 1.

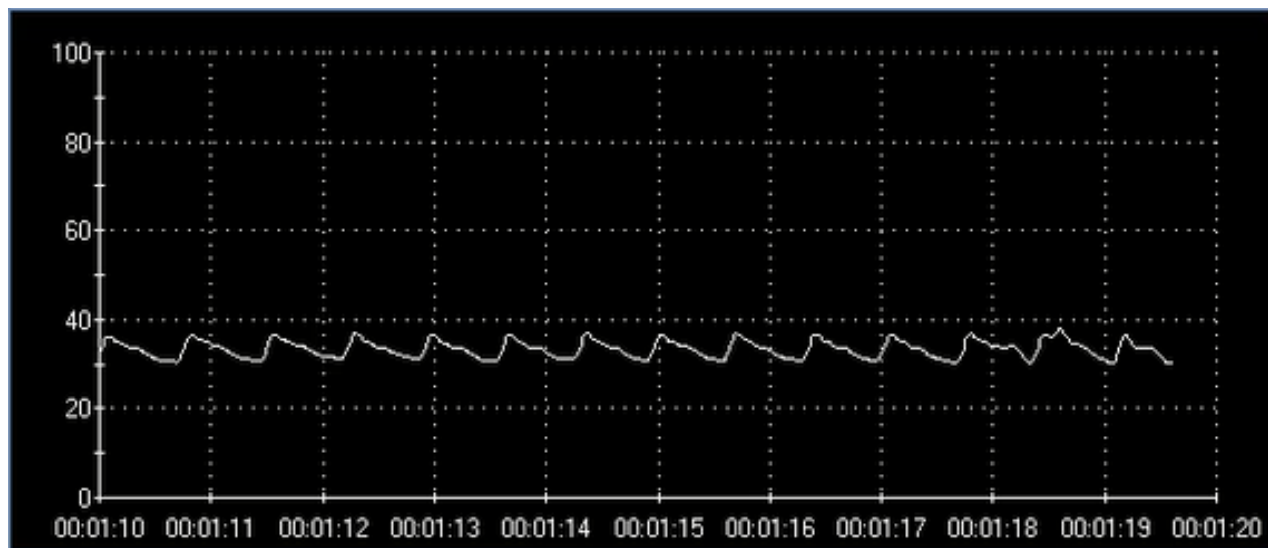


Ilustración 85: Gráfica de pulso cardíaco sujeto de prueba 1.

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI del sujeto de pruebas 2

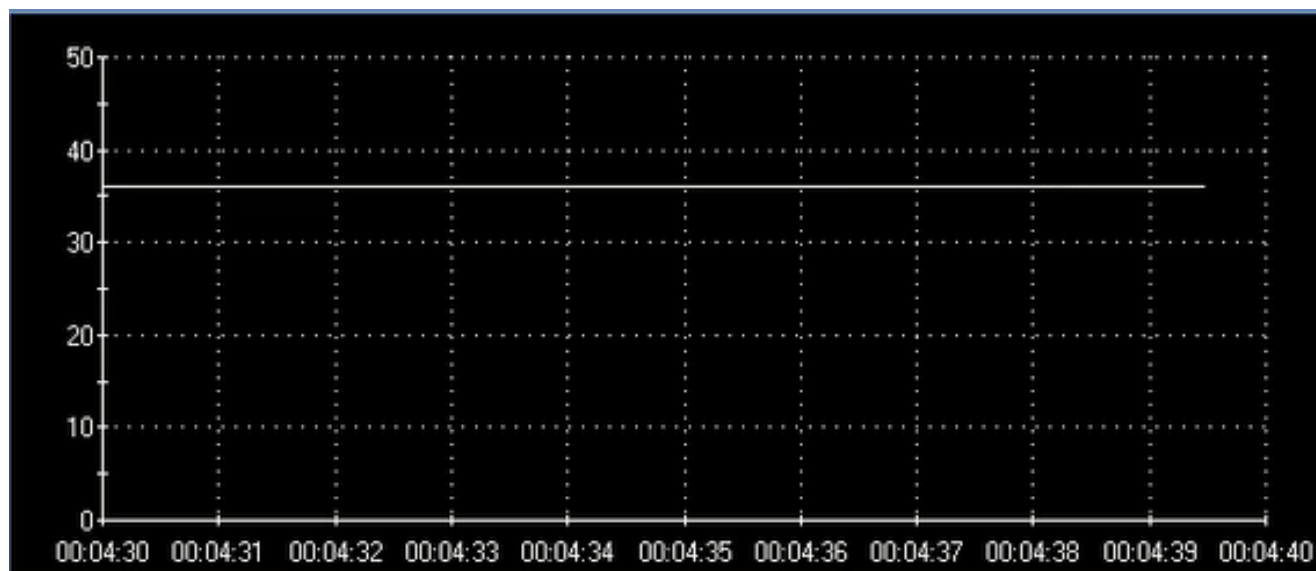


Ilustración 86: Gráfica de temperatura sujeto de prueba 2.

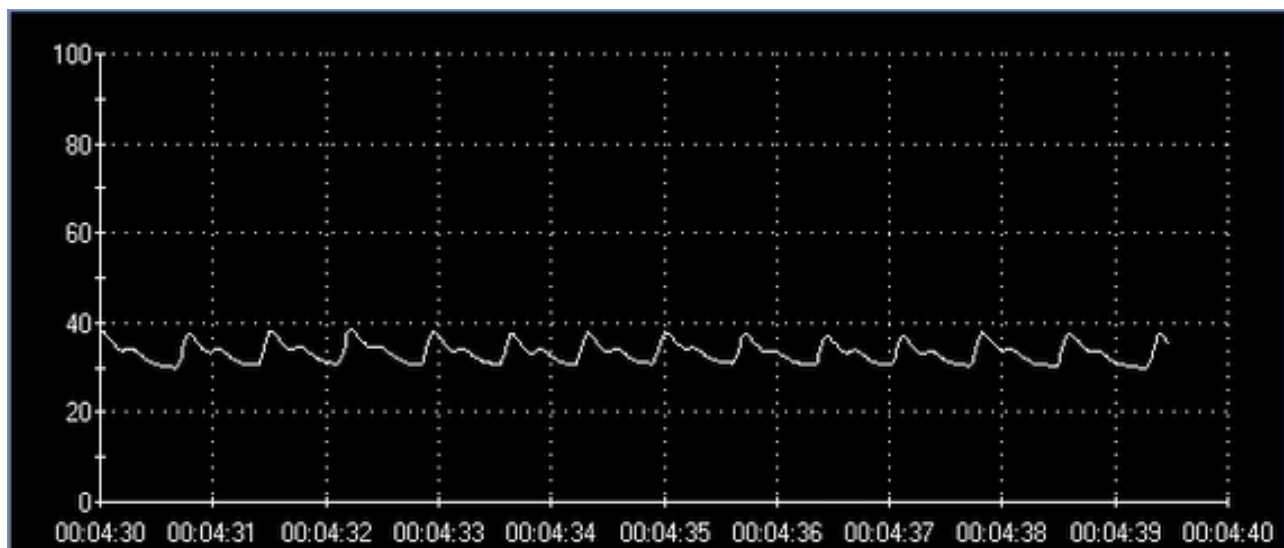


Ilustración 87: Gráfica de pulso cardíaco sujeto de prueba 2.

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI del sujeto de pruebas 3

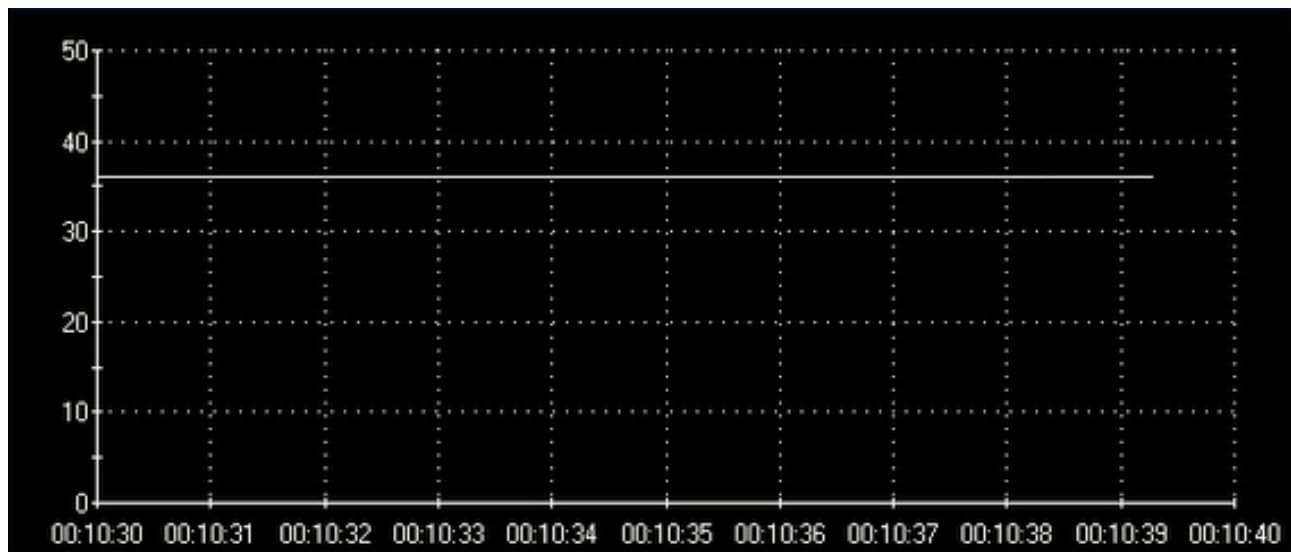


Ilustración 88: Gráfica de temperatura sujeto de prueba 3.

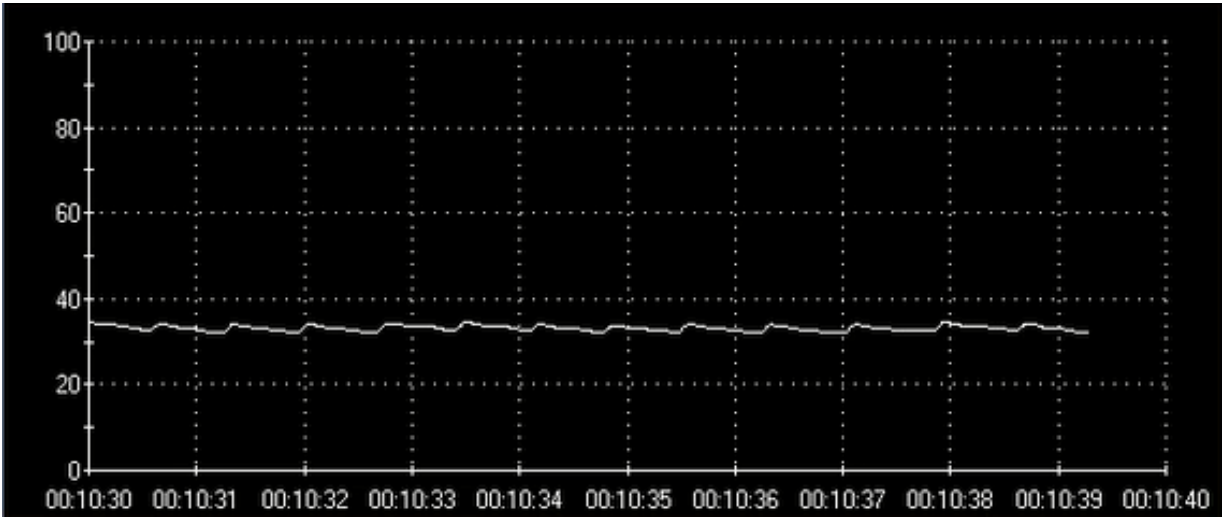


Ilustración 89: Gráfica de pulso cardíaco sujeto de prueba 3.

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI del sujeto de pruebas 4

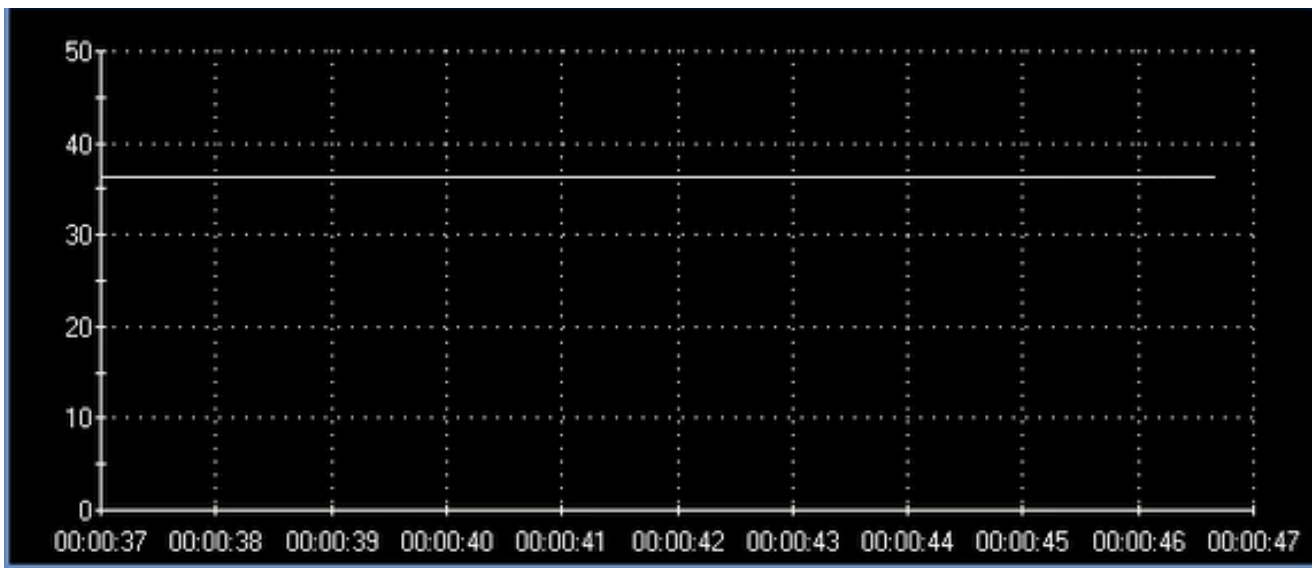


Ilustración 90: Gráfica de temperatura sujeto de prueba 4.

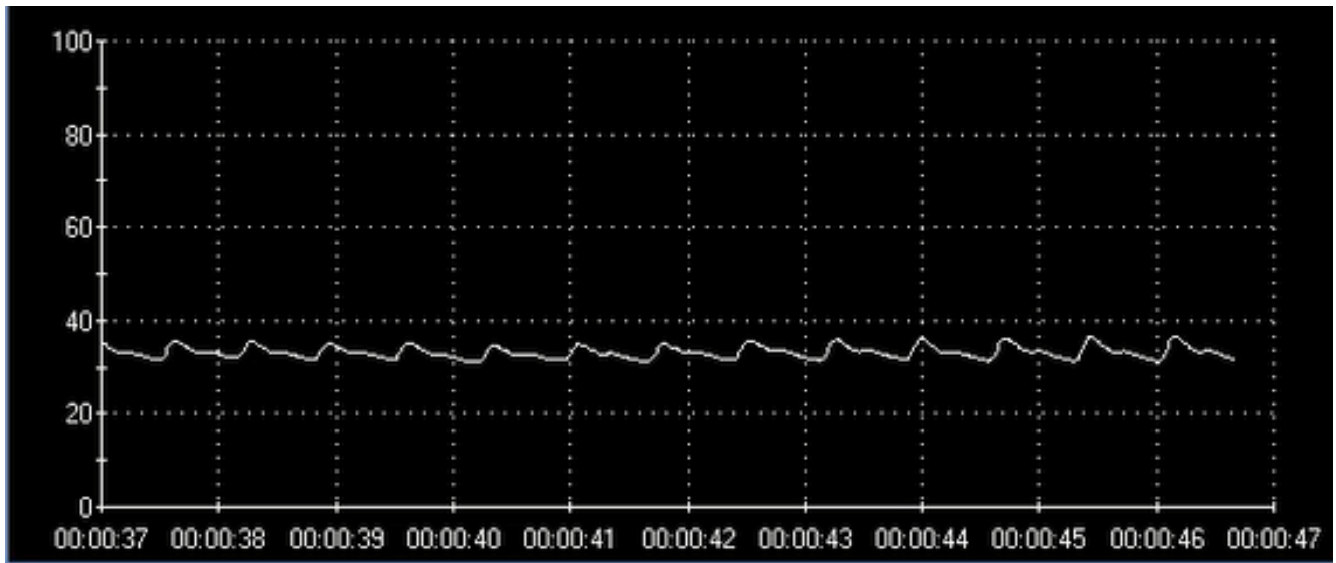


Ilustración 91: Gráfica de pulso cardíaco sujeto de prueba 4.

Resultados con el sistema PROCOM INFINITI del sujeto de pruebas 5

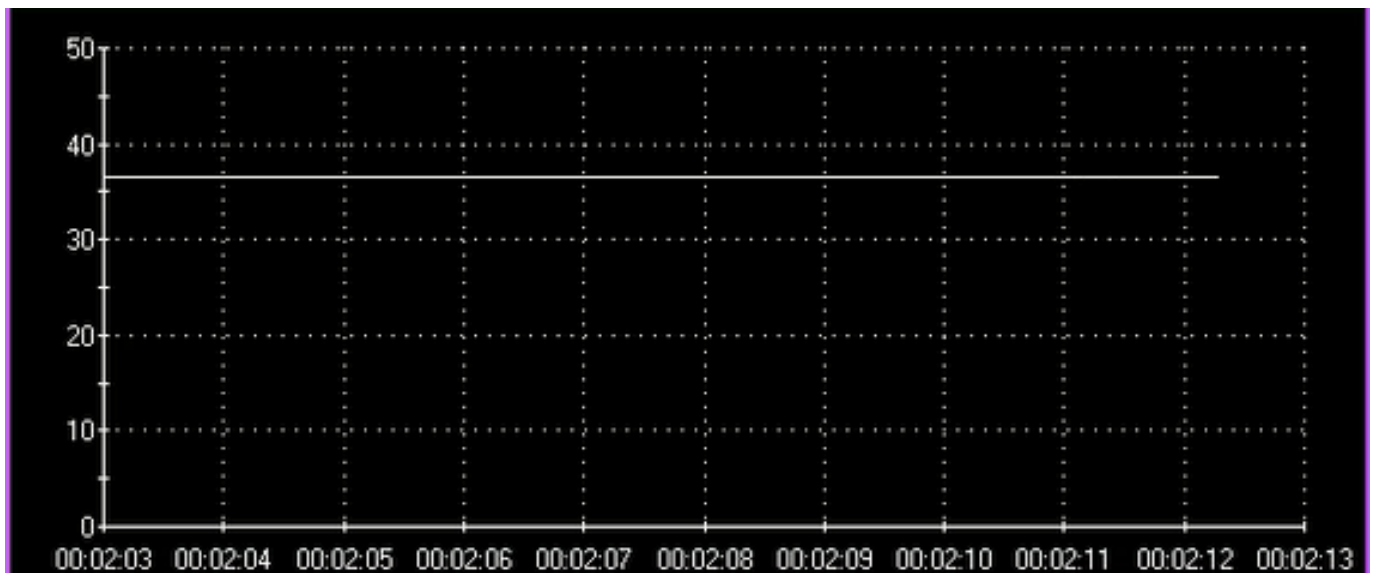


Ilustración 92: Gráfica de temperatura sujeto de prueba 5.

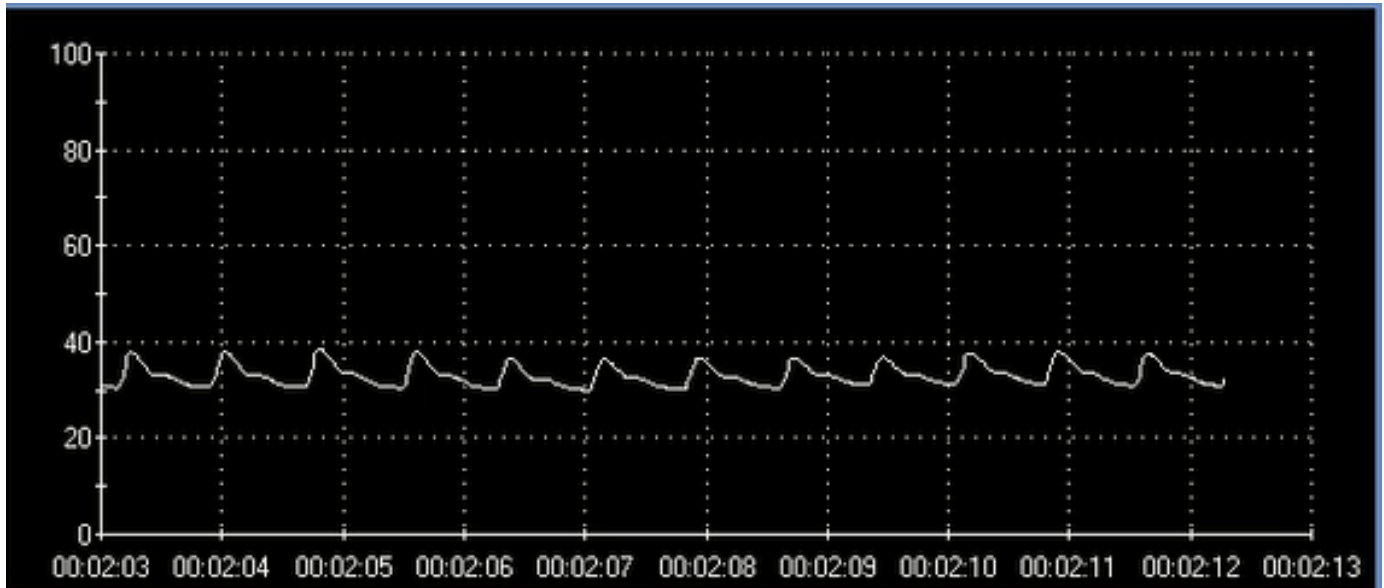


Ilustración 93: Gráfica de pulso cardíaco sujeto de prueba 5.

4.5 Comparación entre los resultados obtenidos

El único dato que se puede comparar cuantitativamente entre estas dos pruebas es la temperatura, es por ello por lo que utilizaremos el valor que obtuvimos en el infinito como valor real y entonces obtendremos el error relativo para visualizar cuanto se han alejado los valores entre sí utilizando la siguiente formula.

$$E = \left(\frac{\text{Valor real} - \text{Valor relativo}}{\text{Valor real}} \right) * 100$$

Sujeto de prueba 1

$$E = \left(\frac{36.22 - 36.63}{36.22} \right) * 100$$

$$E = 1.132\%$$

Sujeto de prueba 2

$$E = \left(\frac{36.18 - 36.03}{36.18} \right) * 100$$

$$E = 0.415\%$$

Sujeto de prueba 3

$$E = \left(\frac{35.98 - 35.49}{35.98} \right) * 100$$

$$E = 1.362\%$$

Sujeto de prueba 4

$$E = \left(\frac{36.18 - 35.49}{36.18} \right) * 100$$

$$E = 1.907\%$$

Sujeto de prueba 5

$$E = \left(\frac{36.48 - 37.5}{36.48} \right) * 100$$

$$E = 2.796\%$$

Vemos que el mayor error se encuentra por debajo de 3% por lo que podemos decir que nuestro sistema proporciona información dentro de un rango aceptable.

4.6 Pruebas, protocolo y resultados con usuarios perros

Después de haber realizado pruebas del sistema con humanos, hombres y mujeres, y haber comprobado que dicho sistema es capaz de realizar una medición aceptable de las variables fisiológicas, frecuencia cardiaca, oxigenación en sangre y temperatura, se debe realizar las pruebas en animales, caninos para esta tesis, para determinar si el sistema puede llevar a cabo la medición de variables fisiológicas en las razas seleccionadas (raza pequeña y raza mediana). Para llevar a cabo estas mediciones se propuso una muestra de 6 caninos, tres hembras y tres machos, las características de dichos animales se muestran en el protocolo elaborado para esta tesis, ver Anexo.

En la siguiente tabla se muestran las características de los sujetos de pruebas

Nombre	Alaska	Laika	Tesla	Botas	Shown	Bungalo
Edad [Años]	7	5	5	5	6	5
Altura [Cm]	50	28	44.6	42.5	49.7	30
Pelaje	Corto	Corto	Corto	Grueso	Corto	Corto, Rizado
Raza	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sexo	Hembra	Hembra	Hembra	Macho	Macho	Macho

Tabla 29: Características de los sujetos de prueba.

Para llevar a cabo las pruebas, se propuso colocar el sensor de temperatura en las axilas del animal y el sensor de frecuencia en el pecho, así como sujetar el sistema mediante vendas tal como se muestra en las siguientes figuras.

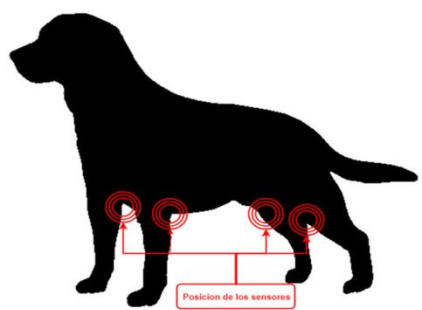


Ilustración 94: Posición sensores de temperatura.



Ilustración 95: Sujeción del dispositivo.

Prueba 1: Alaska

Primera prueba realizada para observar que el sistema puede realizar mediciones en una especie diferente. Alaska cumple con las características solicitadas en el protocolo, así como las condiciones de espacio y tiempo.

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó si axila derecha
- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho

Del protocolo se siguieron los pasos:

1. Informar al dueño del procedimiento y pedir su autorización para realizar las pruebas.
2. Se mostró al dispositivo al animal para familiarizarlo con él y así reducir su estrés ante este.
3. Una vez familiarizado se colocaron los sensores y el dispositivo se sujetó con ayuda de una venda, teniendo cuidado de no maltratar al canino.
4. Se llevó a cabo una rutina, la cual consistía en mantener al animal en estado de reposo para posteriormente caminar un tiempo determinado y finalmente volver a un estado de reposo.
5. Retirar los sensores y el dispositivo, teniendo cuidado de no molestar al animal.
6. Otorgar una recompensa al canino por su cooperación.

El lugar donde se realizaron las pruebas tenía las siguientes características:

- El lugar es uno familiar para el canino.
- Presentaba un espacio amplio para el libre movimiento del animal
- La temperatura ambiental no eral mayor a 28°C



Ilustración 97: Alaska.



Ilustración 96: Alaska

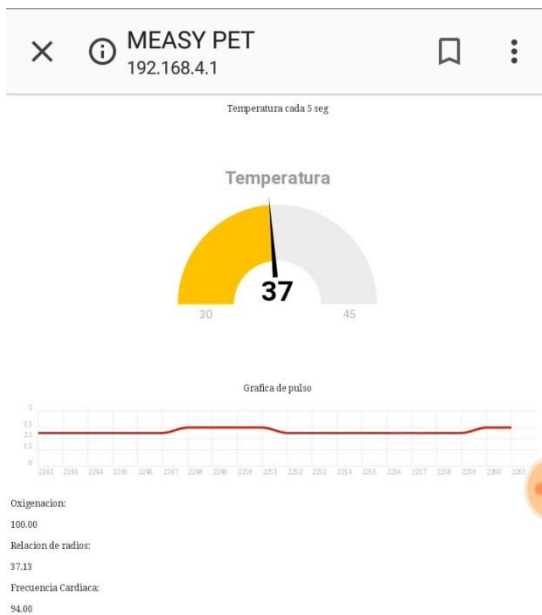


Ilustración 99: Resultados prueba 1.

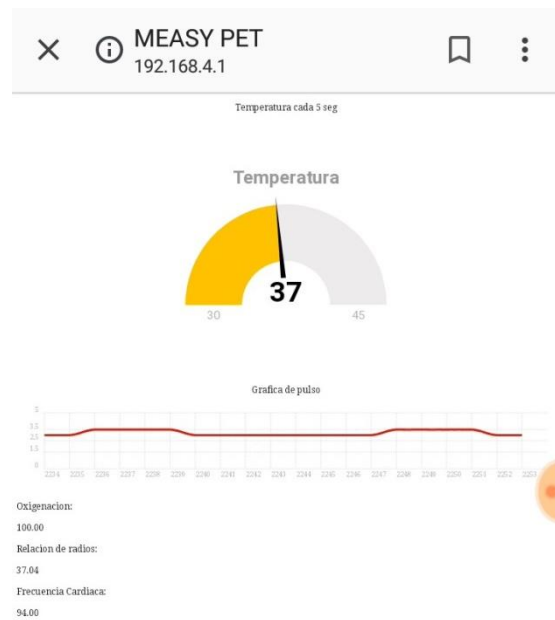


Ilustración 98: Resultados prueba 1.

Prueba 2: Laika

Esta prueba se realizó en un canino en el mismo lugar que Alaska.

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó si axila derecha
- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho



Ilustración 101: Laika.



Ilustración 100: Laika.

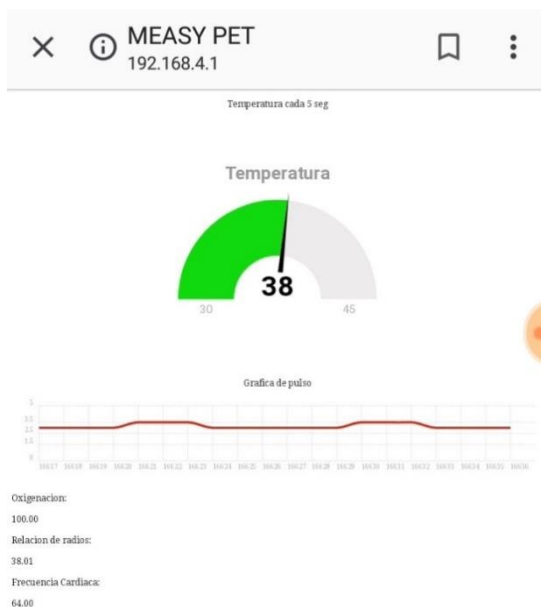


Ilustración 103: Resultados prueba 2.

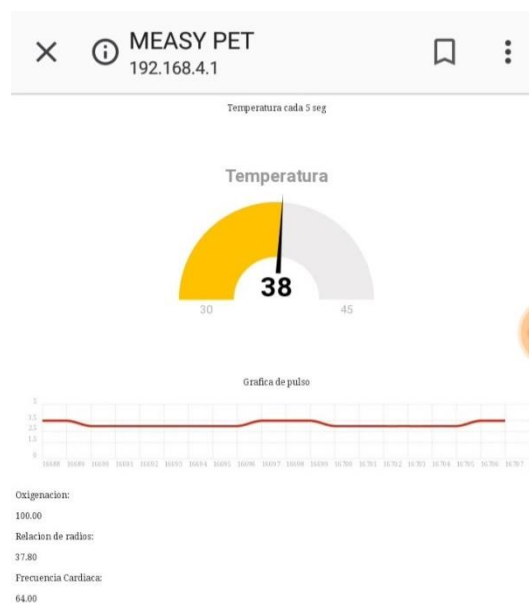


Ilustración 102: Resultados prueba 2.

Prueba 3: Tesla

Para esta prueba, el equipo tuvo que cambiar de ubicación dado que los caninos pertenecen a otra persona.

Al igual que en la primera prueba, se siguió el protocolo para poder interactuar con el dueño y el sujeto de pruebas.

El lugar donde se realizaron las pruebas tenía las siguientes características:

- El lugar es uno familiar para el canino.
- Presentaba un espacio amplio para el libre movimiento del animal
- La temperatura ambiental no era mayor a 28°C

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó en la axila izquierda
- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho

Dada la incomodidad mostrada por los animales, en las primeras pruebas se pensó en primer instante en no vendar al animal y realizar las pruebas en reposo como se observa en la figura 104. Posteriormente, al ver su comportamiento dócil, se decidió vendar y realizar pruebas con el dispositivo sujetado al canino, figura 105.

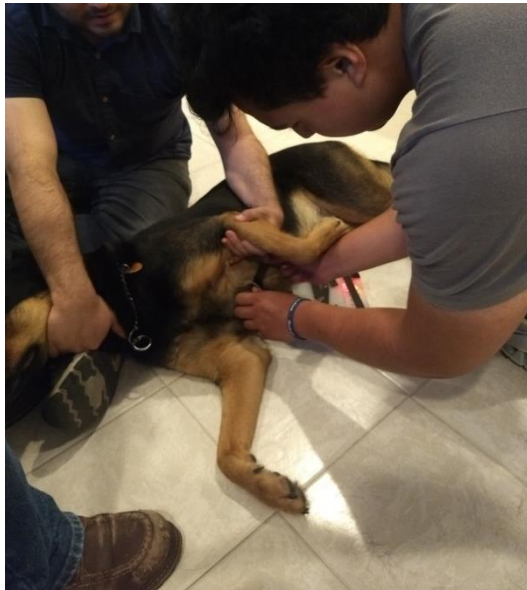


Ilustración 105: Tesla.



Ilustración 104: Tesla.

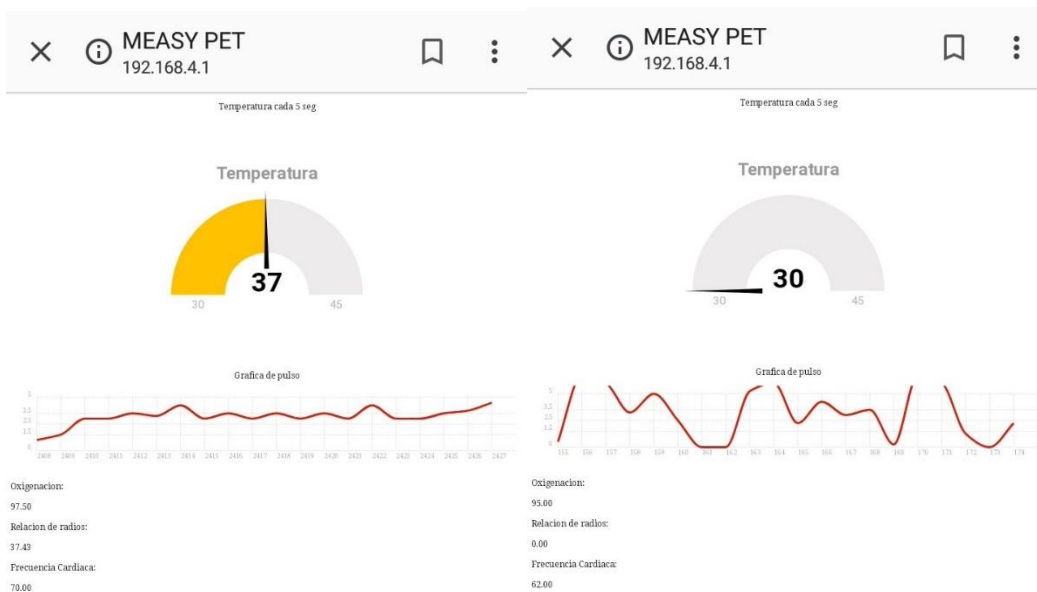


Ilustración 107: Variables fisiológicas de Tesla en reposo.

Ilustración 106: Variables fisiológicas de Tesla caminando.

Prueba 4: Botas

Botas comparte dueño con Tesla, por lo que las características y acciones de protocolo se describen en la prueba 3. Cabe destacar una de las características de este sujeto de pruebas fue el hecho de que poseía un pelaje grueso, las anteriores pruebas fueron hechas con animales de pelo corto y por esta razón se decidió realizar una prueba en él.

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó si axila izquierda
- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho

Botas, al igual que Testal presento un carácter pacífico al momento de realizar las pruebas, ver Figura, e igualmente se pudo observar esto durante la medición en reposo. Dado su comportamiento también fue posible realizar pruebas caminando.



Ilustración 109: Botas.



Ilustración 108: Botas.

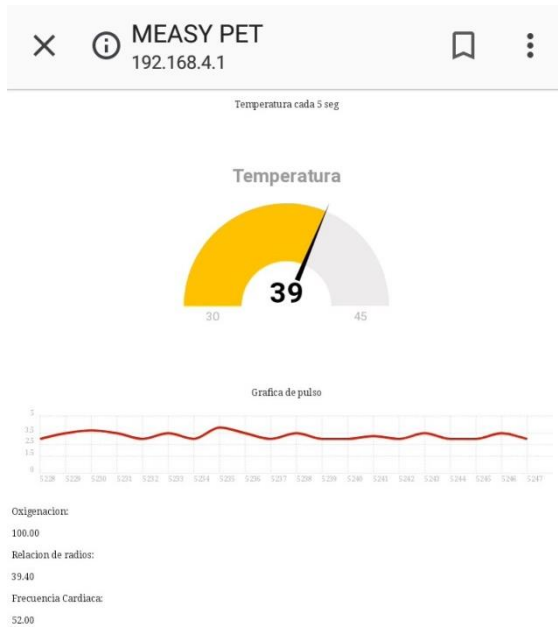


Ilustración 110: Variables fisiológicas de Botas en reposo.

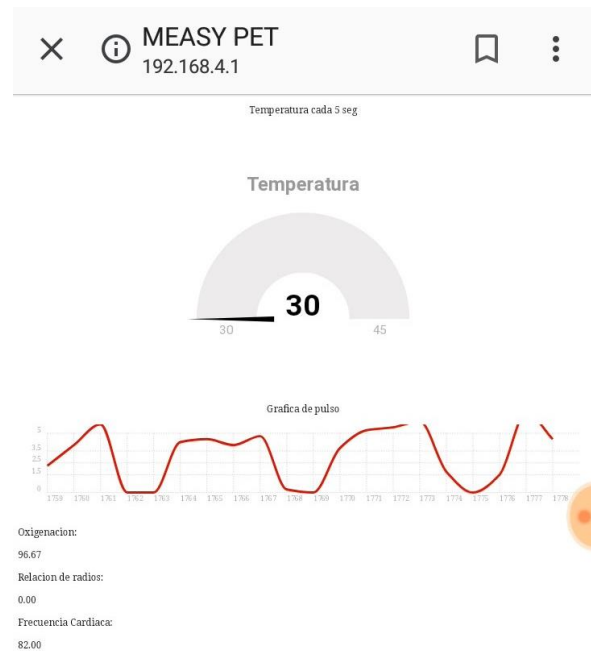


Ilustración 111: Variables fisiológicas de Botas caminando.

Prueba 5: Shaun

Para las últimas pruebas, se tuvo que cambiar de locación puesto que Shaun y Bungalo pertenecen a otra persona. Se siguió el protocolo para la interacción con el animal, así como para informar al dueño del procedimiento.

Para el desarrollo de esta prueba se incorporó el guardado de un vector para la temperatura y la frecuencia cardiaca y así poder observar el comportamiento de estas,

El lugar donde se realizaron las pruebas tenía las siguientes características:

- El lugar es uno familiar para el canino.
- Presentaba un espacio amplio para el libre movimiento del animal
- La temperatura ambiental no era mayor a 28°C

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó si axila izquierda
- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho

Como se aprecia en la Figura, el sujeto de pruebas tenía un tamaño y una fuerza considerable, además de bastante activo por lo que no permitió ser vendado ni mucho menos llevar a cabo la prueba en movimiento.



Ilustración 114: Shaun.



Ilustración 113: Shaun.

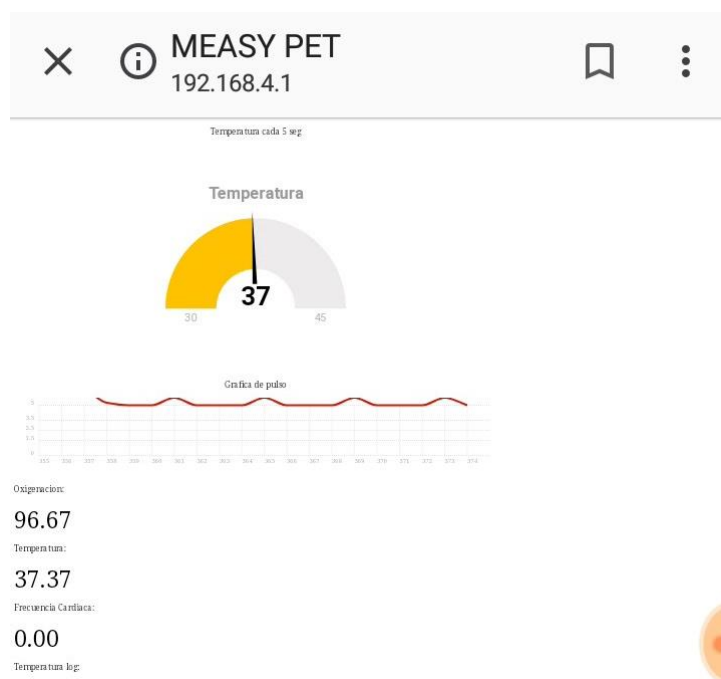


Ilustración 112: Signos vitales de shaun.

Prueba 6: Bungalo

Bungalo se encontraba en el mismo lugar que Shown, por lo cual cumplía las características de espacio y características requeridas en el protocolo.

Los sensores se colocaron de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura se colocó si axila izquierda

- El sensor de frecuencia se colocó en el pecho



Ilustración 116: Bungalo.

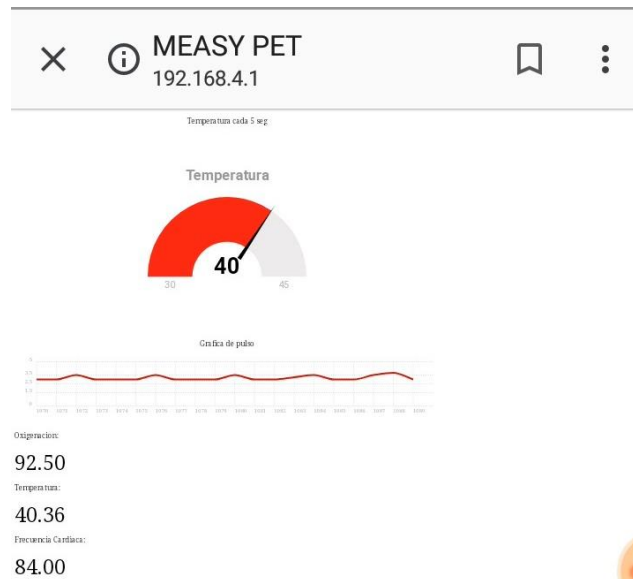


Ilustración 115: Signos vitales de bungalo.

Se puede observar que no se realizan pruebas para comparar con otro sistema, sistema comercial, esto es debido a la falta de equipos médicos para animales. Como alternativa se podría ocupar algún otro sistema para humanos, pero con la desventaja de que dichos dispositivos son costosos y difíciles de adquirir, por lo cual se descarta esa idea.

Resultados

Resultados de la prueba 1

Como resultado de esta prueba se puede observar en la figura 99 que el sistema reacciona ante otra especie, un canino, puesto que llevo a cabo la medición de las variables fisiológicas, antes mencionadas. También se comprobó que debido a las dimensiones del dispositivo y a la personalidad del animal, solo se pudieron realizar pruebas en reposo ya que Alaska no dejó que se le colocara el dispositivo figura 97.

Resultados de la prueba 2

Al igual que en la prueba anterior, se observa que el sistema puede monitorear las variables fisiológicas, ver figura 102, pero también se observa que el dispositivo grande, comparado con el canino, por lo que resulta excesivamente molesto. Aunque el canino dejó vendarse y cargar el dispositivo, se negó a caminar con él, como se aprecia en la figura 101.

Resultados de la prueba 3

Como se puede observar en la figura 107, el sistema es capaz de detectar los signos vitales del canino, como ya se había visto anteriormente. De la figura 106 se puede observar que a pesar de que el canino está en movimiento el sistema sigue siendo capaz de detectar los signos vitales, aunque cabe destacar que no se tiene certeza de si realmente es el pulso cardíaco de Tesla o es ruido debido al movimiento que se genera al caminar. También se puede visualizar que el sensor de temperatura no llevó a cabo su trabajo durante la etapa de movimiento.

Resultados prueba 4

Al igual que en pruebas anteriores, es posible visualizar las variables fisiológicas del sujeto de pruebas, ver figura 110. Al igual que en las pruebas anteriores se pudo observar que el prototipo es grande y molesto para los animales, y a pesar de que estos estén entrenados se pudo ver que siempre existe ese deseo de querer quitárselo. En la figura 111, se presenta una duda similar al experimento pasado, puesto que a pesar de que se sigue monitoreando las variables fisiológicas, no se tiene plena certeza de que el pulso sea puro y no se vea afectado por el movimiento de la caminata.

Resultados de prueba 5

Debido al comportamiento de Shown y a que constantemente trataba de quitarse los sensores se complicó la obtención de la frecuencia cardíaca, como se observa en figura 113.

Como se puede observar en la figura 117, grafica de las pulsaciones por minuto de Shown, se aprecian pulsaciones constantes, dichos valores se encuentran en un rango de entre 4 y 2.5 volts, salvo por unas pequeñas variaciones en su mayoría tienen la misma magnitud. Por otro lado, en la Figura, se presenta el grafico de temperatura el cual se mantiene, aproximadamente en los 38°C, solo al principio de la adquisición se puede observar una temperatura menor, pero eso es debido a la temperatura del mismo sensor.

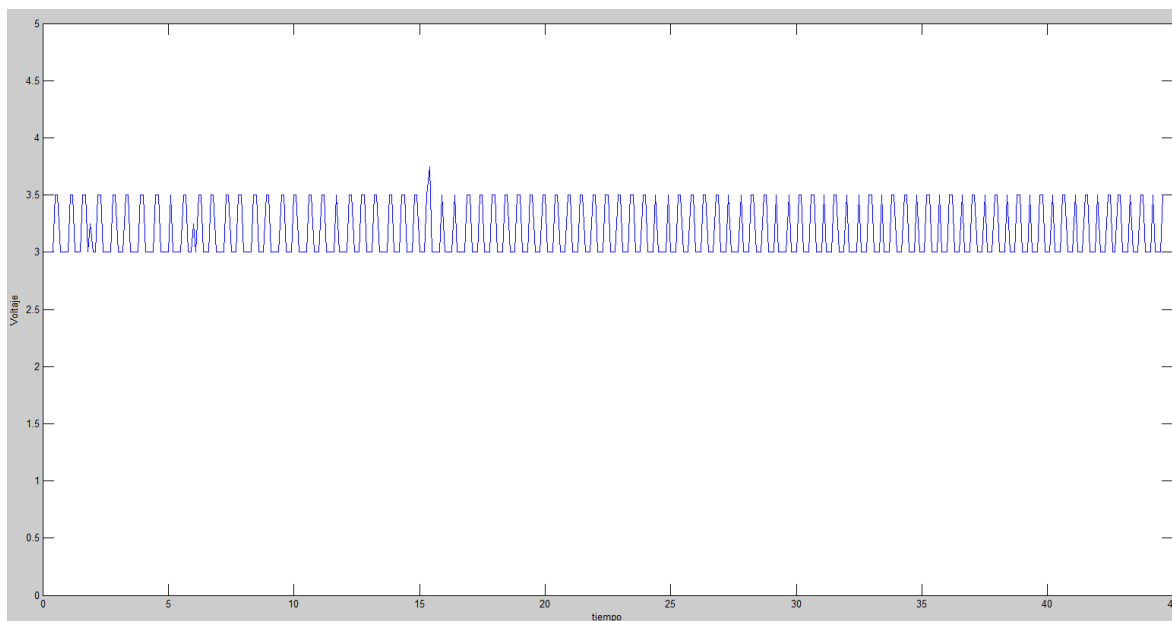


Ilustración 117: Grafica tiempo-voltaje de la prueba 5.

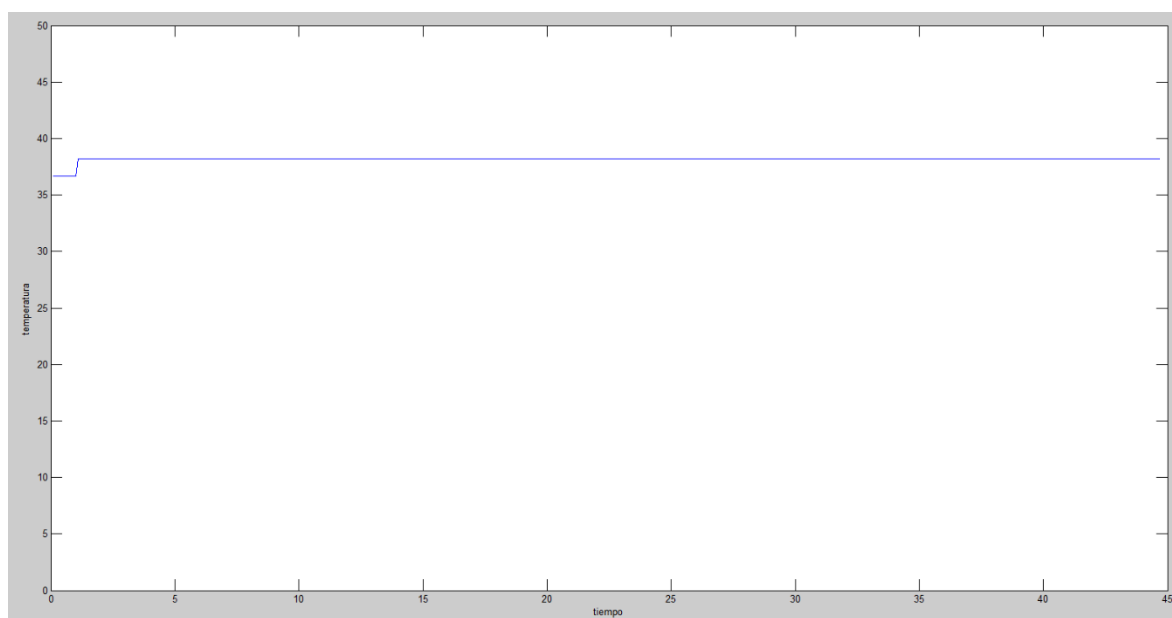


Ilustración 118: Grafica tiempo-Temperatura de la prueba 5.

Resultados de prueba 6

A diferencia de Shown, Bungalo presento un carácter más tranquilo, aunque no por ello

permitió las vendas y con ello las pruebas en movimiento. En esta prueba se obtuvieron las siguiente graficas:

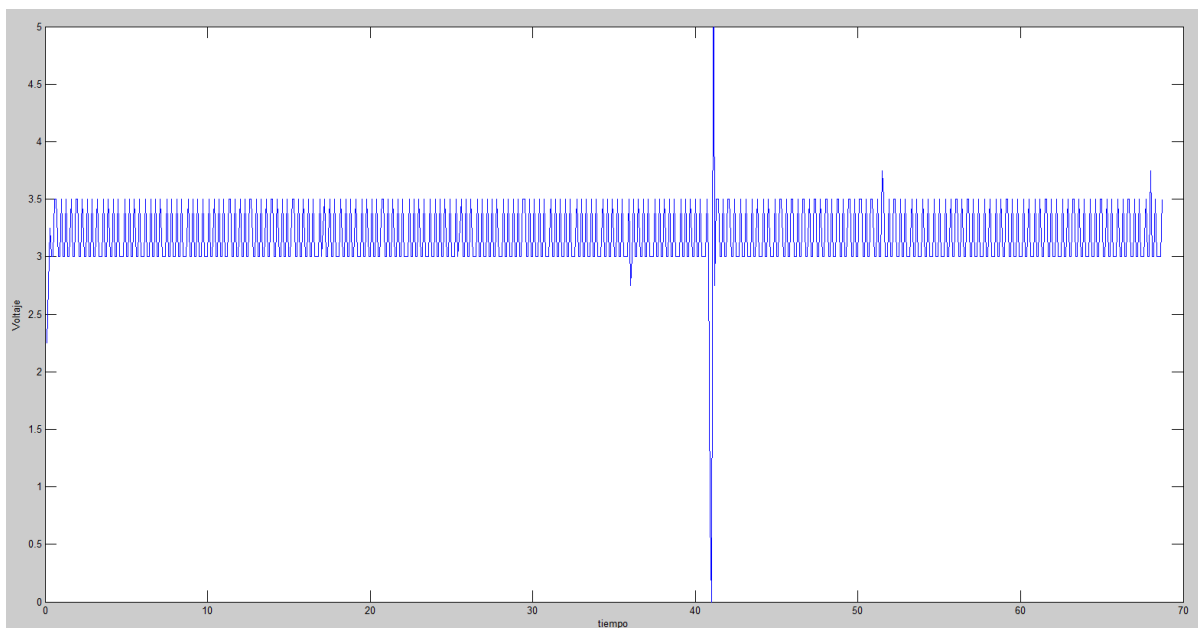


Ilustración 120: Grafica tiempo-Voltaje de la prueba 6.

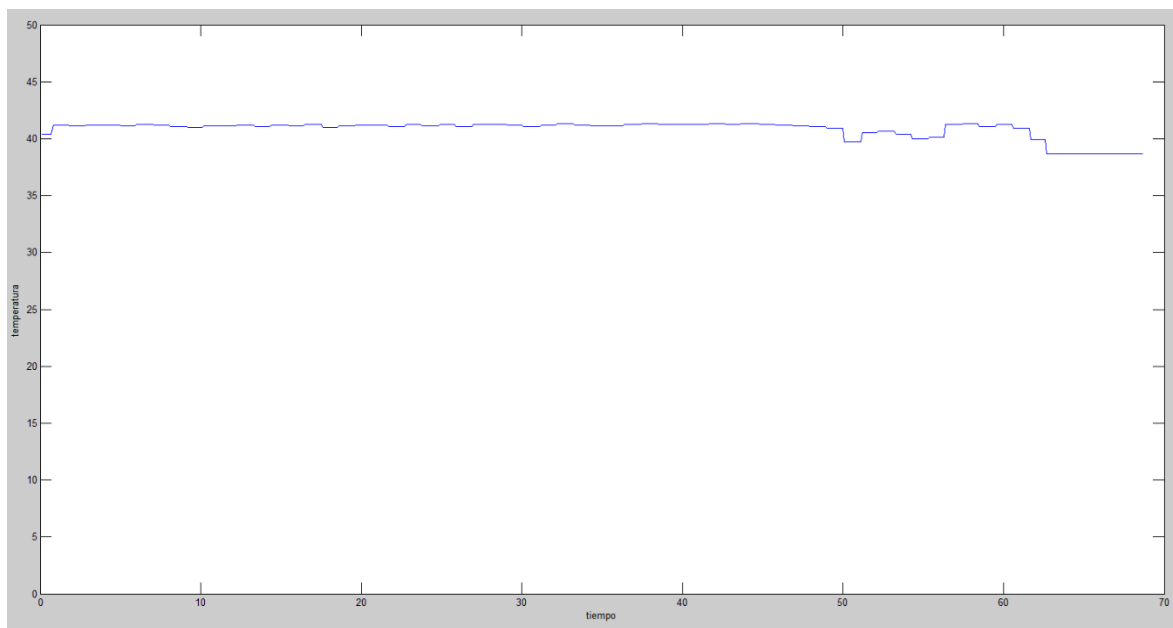


Ilustración 119: Grafica tiempo-Temperatura de la prueba 6.

De la figura 119 se puede observar que el rango del pulso se mantiene entre 4 y 2.5 volts, salvo por algunos saltos debido al ruido o movimiento del mismo animal. También se puede observar que las pulsaciones por minuto incrementaron, esto debido a que durante la prueba Bungalo estaba nervioso por el sistema y también por las acciones que se estaban llevando a cabo. Este incremento demuestra que el sistema capta es capaz de medir las variables fisiológicas en los caninos incluso si ellos se encuentran en una situación estresante. Por el otro lado en la figura 120, se puede observar que la temperatura se muestra constante en 41°C, exceptuando la parte final puesto que el Bungalo se movió y el sensor dejó de tocar la piel del animal.

CONCLUSIONES

Los perros o caninos son seres que poco a poco han adquirido mayor relevancia en la vida del humano, dichos animales ya no sólo son asignados a trabajos de resguardo o caza, ahora se les asignan otras tareas como guías, detección e incluso llegar a tener un gran lazo fraternal con sus dueños. Esta relevancia hace importante la necesidad de desarrollar mejores formas de medir variables fisiológicas en ellos, de una manera no invasiva y fiable que sea capaz de dar información para poder detectar enfermedades que afectan su calidad de vida y/o desempeño en sus actividades y trabajo, ya que se también se puede perder el dinero invertido en el entrenamiento tuvieron que realizar estos animales.

El gran motivador para realizar esta tesis es debido a la falta de instrumentos de medición de este tipo, la falta de instrumentos de medición no invasivos y que muestren los resultados de manera sencilla.

El proyecto logró el objetivo de diseñar un sistema capaz de medir las variables fisiológicas de un canino, como producto de la aplicación de conceptos aprendidas durante las materias. Esto debido a que durante la realización de las pruebas se pueden ver que las variables a medir se encuentran dentro del intervalo indicado en las especificaciones, ello mostrado en las gráficas de temperatura y frecuencia cardiaca.

El sistema es el fruto de seguir una técnica de diseño, que aún está a medio camino, la cual permite conocer las necesidades de las personas. La metodología también expone el proyecto ante una constante realimentación, lo que permite una mejora en el sistema. Además de que permite explorar diferentes configuraciones para el mismo.

El sistema requiere de ser probado en más sujetos de pruebas, así como ser comparado con algún sistema comercial para poder visualizar y analizar los resultados arrojados por ambos sistemas.

Con respecto al subsistema de energía, este sistema puede mejorarse con algún otro regulador de voltaje debido a que los usado en esta tesis requieren den al menos 1.5 volts sobre el voltaje regulado para un buen funcionamiento, de lo contrario el sistema se comporta de manera diferente, esto es que el sistema muestra señales diferentes a las usuales o simplemente los sistemas dejan de funcionar.

Con respecto al subsistema de fotoplethysmografía, durante la realización de pruebas se encontró que este sistema se trabaja dentro de los rangos establecidos, tanto para humanos como para animales, pero puede mejorarse al de las siguiente formas; primero una frecuencia de corte ligeramente mayor, esto sería 7 Hz como frecuencia de corte, para evitar la atenuación en frecuencias de interés, lo que evitar ampliaciones extras después del filtrado, segundo el uso de amplificadores operacionales con un voltaje de alimentación menor al usado en esta tesis, debido a que estos requieren de un voltaje simétrico y mínimo de 5 volts. Al realizar la reducción de tensión de alimentación se puede optar por una fuente de menor tamaño.

Con respecto al subsistema de oxigenación y offset, se observó que este sistema funciona dentro del rango de trabajo especificado, esto es que sus valores oscilan entre 90 y 100%, Pero dicho subsistema podría mejorarse incrementando el número de leds usados, así como la disposición de estos, pues habría una mayor emisión de luz, lo que incrementa las posibilidades de que dicha emisión sea reflejada y captada por el sensor. En cuando al offset, se pudo observar que cumple con su trabajo al introducir un desplazamiento, positivo, de la señal lo que nos permite monitorear la oxigenación.

Con respecto al subsistema de temperatura, se observó que el sistema de temperatura cumplió con su trabajo y permitió medir la temperatura tanto de humanos como animales, pero dicha medición solo pudo ser realizada en reposo debido al sensor ocupado, por lo que durante las pruebas en movimiento el sistema se vio poco útil, ya que el sensor puede perder contacto con la piel y con ello pérdida de la medición.

Con respecto al subsistema de transmisión, se pudo observar que el sistema es capaz de transmitir la información, así como procesar los datos de los demás subsistemas, ello se muestra en la visualización de los datos en un Smartphone, pero también cabe destacar que la plataforma usada presenta cierta inestabilidad a nivel de librerías, debido a su recién aparición, ello genera ciertos problemas al momento de programar o de buscar información sobre solución de problemas.

De las pruebas realizadas a humanos se pudo observar que el sistema trabaja dentro de las especificaciones para humanos, en temperatura, oxigenación, frecuencia cardiaca, todo ello confirmado por sistemas especializados en ello y con un error no mayor a 5%. Por otra parte, tenemos las pruebas realizadas a los animales en los cuales se obtuvieron resultados, pero no se sabe con exactitud el porcentaje de error presente en estas pruebas debido a la falta de instrumentos de medición para ello. Las pruebas en animales resultan más complejas debido al movimiento que estos tienen y en muchos casos al hecho de que estos se retiran los sensores.

En cuanto al sistema ya integrado y como unidad, se puede decir que requiere de otra forma de sujeción puesto que la usada en esta tesis, no resulta ser la más conveniente, debido a que los animales, al verse incomodados, se quitan el dispositivo, además de que el tamaño del sistema tampoco ayuda, al ser voluminoso, puesto que representa un peso extra que el animal no está dispuesto a cargar y por ello fácilmente se lo quita de encima. Un sistema de menores dimensiones ayudaría a reducir ese problema.

Del trabajo con animales y humanos se puede decir que resulta interesante el trabajo con animales, puesto que estos no hablan para decir si algo les duele o les resulta incómodo, por el contrario ellos actúan ante tales situaciones, mordiendo, gruñendo, o por la mirada que presentan puesto que se puede observar el miedo ante objetos externos y desconocidos, y no solo objetos sino también personas, por ello se requiere de un tiempo para presentar el dispositivo y también para presentarse, puesto que al ser personas extrañas nos suelen ver como posibles objetos de peligro para ellos y para aquellos que resguardan. Ello muestra otro lado de los animales que se debe de ver, puesto que no tiene la capacidad de un humano para entender lo que pasa a su alrededor debido a ello se debe procurar cuidado.

TABAJO A FUTURO

De la primera iteración se pueden obtener las siguientes mejoras:

A nivel general

- Integración en una sola placa
- Uso de componentes de montaje superficial (SMD)
- Trabajar con electrónica flexible para hacer al sistema más ergonómico para el usuario
- Integrar el sistema a un arnés

Subsistema de energía

- Reguladores que puedan trabajar cerca del voltaje a regular.
- Mejor protección para los reguladores y batería

Subsistema de fotoplethysmografía

- Uso de amplificadores operacionales con un voltaje de alimentación menor a 5 volts
- Incremento de la frecuencia de corte de 2 a 7 Hz para evitar la atenuación de frecuencias importantes

Subsistema de oxigenación

- Mejorar arreglo de leds rojos e infrarrojos

Subsistema de temperatura

- Cambiar el sensor actual por algún sensor óptico, para evitar problemas de contacto con la piel.

Subsistema de transmisión

- Mejorar la programación, para hacerlo más eficiente y que requiera de menos recursos
- Hacer uso de un servidor externo para quitar carga de trabajo al procesador
- Buscar alguna alternativa al ESP32

REFERENCIAS

1. Eroski Consumer. (S.F.). El perro en la sociedad. 01/10/2018, de Consumer es Sitio web:
http://mascotas.consumer.es/sociedad_perro_en_la_sociedad_introduccion1_1.php
2. González, O. (2013). Mascotas negocio millonario. [online] El Universal.
3. EFE, WeDogs!, nueva aplicación mexicana para mascotas ante un mercado prometedor. (marzo 2018)[online] recuperado de:
<https://www.efe.com/efe/america/tecnologia/wedogs-nueva-aplicacion-mexicana-para-mascotas-ante-un-mercado-prometedor/20000036-3548865>
4. RIVAZ, R. (2014). Mascotas en México: un negocio de 2,000 mdd. [online] Eleconomista.com.mx.
5. Estado actual y perspectivas del sector mascotas. (2016). [online] recuperado de:
<https://www.affinity-petcare.com/vetsandclinics/estado-actual-perspectivas-del-sector-mascotas>
6. Pedro L. Flores Chávez* Oscar Infante Vázquez* Gustavo Sánchez Torres** Raúl Martínez Memije* Genaro Rodríguez Rossini*. (2002). Detección de signos vitales en ratas mediante métodos no invasivos. 23-11-2018, de Veterinaria México Sitio web: <http://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2002/vm022i.pdf>
7. Sin Autor. (2014). Presenta UNAM innovadora tecnología para deportistas. 03-10-2017, de El Innovador Sitio web: <http://www.elinnovador.mx/noticia.php?w=1509>
8. in Autor. (2012). Diseñan un chaleco que monitorea el pulso cardíaco y envía SMS en caso de emergencia. 28-06-2017, de DCYT Sitio web:
<http://www.dicyt.com/noticias/disenan-un-chaleco-que-monitorea-el-pulso-cardiaco-y-envia-sms-en-caso-de-emergencia>
9. Rupert Palme. (2012). Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals. 13-07-2018, de ResearchGate Sitio web:
https://www.researchgate.net/publication/262851068_Monitoring_stress_hormone_metabolites_as_a_useful_non-invasive_tool_for_welfare_assessment_in_farm_animals
10. Sin Autor. (Sin Fecha). Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring. 20-06-2018, de IEEE Sitio web:
<http://ieeexplore.ieee.org/pbidi.unam.mx:8080/document/7286734/>
11. Sin Autor. (2011). Diseñan auto que registrará el ritmo cardíaco. 13-07-2017, de Vital Sitio web: <http://vital.rpp.pe/salud/disenan-auto-que-registrara-el-ritmo-cardiaco-noticia-369244>
12. INUPATHY. (Sin Fecha). INUPATHY. 20-06-2017, de INUPATHY Sitio web:
<http://inupathy.com/>
13. Petpace. (Sin fecha). Sin titulo. 11-05-2018, de Petpace Sitio web:
<http://petpace.com>
14. Sin Autor. (2018). Cómo medir la temperatura a un perro. 09-03-2018, de Mis animales Sitio web: <https://misanimales.com/medir-la-temperatura-perro/>

15. Eldredge, D., et al., 2007. Dog owners' home veterinary handbook. Wiley Publishing Inc.
16. Alvarez J. (2005). Canis Lupus Linnaeus. 2018, de Conabio Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/fichaexoticas/Canislupus00.pdf>
17. Equipo Editorial Paradais Sphynx. (2014). Taxonomía del perro doméstico. 2018, de Paradais Sphynx Sitio web: <https://perros.paradais-sphynx.com/informacion/taxonomia.htm>
18. Fariña J. (2011). Origen del Perro "el mejor amigo del hombre". 2018, de Magazine Canino Sitio web: http://www.magazinecanino.com/sgc/fotos/d2014-09-08_c638.pdf
19. Maniero E. (2011). Historia del perro. 2018, de FCI Sitio web: <http://www.fci.be/symposium2011/medias/pdf/emaniero.pdf>
20. Agudelo C. (2017). ¿Cuántas razas de perros hay en el mundo? 2018, de Orbicanes Sitio web: <https://www.orbicanes.com/articulos/articulos-sobre-razas/643-cuantas-razas-de-perros-hay-en-el-mundo>
21. Equipo editorial PetyZoo . (2017). Razas de Perros. 2018, de Petyzoo Sitio web: <https://petyzoo.com/razas-de-perros/>
22. Equipo editorial PetyZoo . (2017). Razas de Perros. 2018, de Petyzoo Sitio web: <https://petyzoo.com/razas-de-perros/>
23. Fundación Grupo Eroski, (s.f.), [El perro en la sociedad], Descargado de: http://mascotas.consumer.es/sociedad_perro_en_la_sociedad_introduccion1_1.php
24. Recpetfood, 31 de mayo, 2016, [Documento explicando funciones y cualidades de un perro policía], Descargado de: <http://www.rexpetfood.com/blog/perros-policia-caracteristicas-funciones/>
25. [Perros guardianes características y razas], (s.f.), descargado de: <http://www.quieroamiperro.com/articulos/perros-guardianes-caracteristicas-y-razas.html>
26. James S Welsh, et al, (2004, 25 de Noviembre), Olfactory detection of human bladder cancer by dogs: Another cancer detected by “pet scan”, Recuperado de: <http://www.bmj.com/content/329/7477/1286.3>
27. Gilberto Crespo, (22 de octubre, 2015), [Los perros ayudan a controlar el estrés y depresión], Descargado de: <http://ntrzacatecas.com/2015/10/22/los-perros-ayudan-a-controlar-el-estres-y-la-depresion/>
28. [Perros detectores de epilepsia], (s.f.), descargado de: <https://misanimales.com/perros-epilepsia/>
29. Jesús Gutiérrez, (s.f.), Perros de búsqueda y salvamento (Catástrofes), Descargado de: <http://www.adiestradorcanino.com/webdelperro/perros-de-busqueda-y-salvamento-catastrofes/146>

30. Alvarez J. (2005). *Cannis Lupus Linnaeus*. 2018, de Conabio Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/fichaexoticas/Canislupus00.pdf>
31. Ramos D. (2015). *El Perro*. 2018, de Mi perrito mio Sitio web: <http://miperritomio.blogspot.com/2015/08/el-perro.html>
32. Fariña J., Smith E. (2011). *Anatomía*. 2018, de Magazine Canino Sitio web: <http://www.magazinecanino.com/sgc/fotos/Anatom%C3%ADa%20Canina.pdf>
33. Micheau A. (2018). *Anatomía del Perro, Atlas ilustrado*. 2018, de IMAIOS Sitio web: <https://www.imaios.com/es/vet-Anatomy/Perro/Perro-Anatomia-general-ilustraciones>
34. Longsdale T. (2001). *Sistema circulatorio del perro*. 2018, de Sistema Circulatorio Sitio web: <http://sistemacirculatorio.net/sistema-circulatorio-del-perro>
35. Muñoz S. (2017). *Piel y pelaje de nuestros perros*. 2018, de Dog Run Sitio web: <http://dogrun.com.ar/piel-pelaje-nuestros-perros/>
36. Lasheras A. (2017). *Regulación de la temperatura corporal del perro*. 2018, de Todo Perros Sitio web: <https://www.todoperros.com/regulacion-de-la-temperatura-corporal-del-perro/>
37. Guerrero-zuñiga, Selene. *Plestimografía corporal: recomendaciones y procedimiento*. (2016) [online] recuperado de www.medigraphic.org.mx
38. Marinel-Lo Roura, J. & Samsó, J. J., *Diagnóstico hemodinámico en angiología y cirugía vascular (Vol. I)*, Glosa, 2003.
39. Sin Autor. (2008). *Temperatura Corporal*. 08-10-2018, de SlideShare Sitio web: <https://es.slideshare.net/anama.krpio/temperatura-corporal-presentation>
40. TEXAS INSTRUMENT (s.f) *Miniaturized Pulse Oximeter Reference Design [PDF]*. Recuperado de <http://www.ti.com/tool/TIDA-00311>
41. Sin Autor. (2008). *Temperatura Corporal*. 08-10-2018, de SlideShare Sitio web: <https://es.slideshare.net/anama.krpio/temperatura-corporal-presentation>
42. Laín Entralgo, P. (1961). *La historia clínica*. 2ª ed. Barcelona, Salvat
43. Verónica Pérez. (2016). *Definición de Termómetro Óptico*. 09-10-2018, de ONsalus Sitio web: <https://www.onsalus.com/definicion-de-termometro-optico-18668.html>
44. Sin Autor. (s.f.). *Signos Vitales*. 25-10-2018, de IBt Sitio web: www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/docs/hinspeccion/Signosvital.es.doc
45. Sin Autor. (2017). *Prevención, diagnóstico y tratamiento DE LA PREECLAMPSIA en segundo y tercer nivel de atención*. 25/10/2018, de IMSS Sitio web: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/020GRR.pdf>
46. Sin Autor. (s.f.). *La temperatura corporal normal*. 25/10/2018, de Secretaría de Salud Sitio web: <https://www.gob.mx/salud/articulos/la-temperatura-corporal-normal-oscila-entre-36-5-c-y-37-c>
47. Sadiku N. Matthew, et al (2006) *Fundamentos de circuitos eléctricos*. 3ra Ed. México: McGraw Hill
48. Williams B. Arthur (1990) *Amplificadores operacionales: Teoría y sus aplicaciones*

- México: McGraw Hill
49. Williams B. Arthur (1990) Amplificadores operacionales: Teoría y sus aplicaciones
México: McGraw Hill
 50. Pertenece J. Antonio (2000) Amplificadores operaciones y filtros activos: Teoría,
proyectos y aplicaciones prácticas. 1ra Ed. Madrid: McGraw Hill
 51. Williams B. Arthur (1990) Amplificadores operacionales: Teoría y sus aplicaciones
México: McGraw Hill
 52. Sadiku N. Matthew, et al (2006) Fundamentos de circuitos eléctricos. 3ra Ed.
México: McGraw Hill
 53. Caldwell J. (2014) 1MHz Single supply, photodiode amplifier reference design.
Texas Instruments
 54. Caldwell J. (2014) 1MHz Single supply, photodiode amplifier reference design.
Texas Instruments
 55. Caldwell J. (2014) 1MHz Single supply, photodiode amplifier reference design.
Texas Instruments
 56. RAKO, P. (2004) Photodiode Amplifiers: Changing Light to Electricity [PDF].
Recuperado de <http://edge.rit.edu/edge/P09051/public/photodiodeamplifiers.pdf>
 57. RAKO, P. (2004) Photodiode Amplifiers: Changing Light to Electricity [PDF].
Recuperado de <http://edge.rit.edu/edge/P09051/public/photodiodeamplifiers.pdf>
 58. Williams B. Arthur (1990) Amplificadores operacionales: Teoría y sus aplicaciones
México: McGraw Hill
 59. FLOYD, T. (2008) Dispositivos Electrónicos. (8ed). México: Pearson Educación.
 60. FLOYD, T. (2008) Dispositivos Electrónicos. (8ed). México: Pearson Educación.
 61. Sadiku N. Matthew, et al (2006) Fundamentos de circuitos eléctricos. 3ra Ed.
México: McGraw Hill
 62. VAN, S (2001). Programming Microcontrollers in C (2ed). United States of
America: Technology Publishing
 63. COOKLEV, T (2004) Wireless Communication Standards: A study of IEEE
802.11, 802.15 and 802.16. New York: IEEE
 64. COOKLEV, T (2004) Wireless Communication Standards: A study of IEEE
802.11, 802.15 and 802.16. New York: IEEE
 65. KURZAWA, T. (s.f) Wireless LAN 802.11 [PDF] Recuperado de
https://cse.yeditepe.edu.tr/~sbaydere/courses_new/cse402/files/IEEE_802_11.pdf
 66. Ulrich T. Karl, 2009, Diseño y desarrollo de productos 4ª edición, McGrall Hill
México.

ANEXOS

APÉNDICE A. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL PERRO

Nombre Científico ¹⁷	Canis lupus, 1758
Nombre Común	Perro Doméstico
Superreino	Eukaryota
Reino	Animalia
Subreino	Eumetazoa
Superfilo	Deuterostomia
Filo	Chordata
Subfilo	Vertebrata
Infrafilo	Gnathostomata
Superclase	Tetrapoda
Clase	Mammalia
Subclase	Theria
Infraclasse	Placentalia
Orden	Carnivora
Suborden	Caniformia
Familia	Canidae
Género	Canis
Especie	C. lupus
Subespecie	C. l. familiaris

Tabla 30: Razas de perros.

Dominio: Eucarya (Eukaryota). Organismos celulares con núcleos verdaderos.

Reino: Animalia; Capacidad de locomoción, consumen oxígeno, nutrición por ingestión, reproducción sexual y desarrollo embrionario.

Subreino: Eumetazoa. Presentan tejidos, órganos, masa corporal.

Filo: Chordata. Existencia de cuerda dorsal.

Subfilo: Vertebrata. Animales con columna vertebral.

Clase: Mammalia. Mamíferos que se caracterizan por tener glándulas mamareas, pelo y mandíbulas.

Subclase: Theria. El embrión se forma en el útero materno.

Infraclasse: Placentalia. Las crías permanecen en el útero materno durante largo tiempo.

Orden: Carnívora. Los molares están adaptados para el consumo de carne.

Suborden: Caniformia. En este grupo se incluyen mamíferos con forma de perro.

Familia: Canidae. Cánidos: lobos, coyotes, zorros, chacales y otras especies afines.

Subfamilia: Caninae. Única subfamilia con especies supervivientes.

Género: Canis. Lobos, chacales y coyotes.

Especie: *Canis lupus*, Lobos y perros (subespecie).

Subespecie: *Canis lupus familiaris*. Linnaeus, 1758.

APÉNDICE B. HUESOS

Los huesos son tubos huecos formados por un entramado duro y calcificado relleno de médula ósea. Son alimentados por los vasos sanguíneos que se abren paso hacia su interior a través de unos minúsculos orificios. Existen diversos tipos que se pueden clasificar según su forma función:

- Huesos largos: Sirven en general de sostén, algunos de ellos son el fémur, húmero, tibia, peroné, metacarpos entre otros.
- Huesos cortos: Su principal función es amortiguar los choques y se unen siempre entre sí para formar zonas en las que es necesario un movimiento pequeño. Son los huesos del carpo, tarso y vértebras.
- Huesos planos: Sirven para resguardar zonas delicadas: huesos de la cabeza, cadera, escápula y costillas.

Cuando el hueso se parte, en su superficie se forman nuevas células destinadas a rellenar la hendidura. Durante el desarrollo, los largos huesos de las extremidades crecen por su extremo en un proceso controlado en gran medida por las hormonas, es cual se detiene una vez alcanzada la madurez sexual.

A diferencia de los humanos, los perros carecen de clavícula; las patas delanteras se unen al tronco únicamente por medio de los músculos, lo cual proporciona al perro una enorme libertad de movimientos.

Maxilar

Dentadura: 42 piezas dentarias, colocadas 20 en su parte superior y 22 en la inferior. Los incisivos les sirven para cortar, los caninos para despedazar y desgarrar y los molares para quebrantar y triturar. Los perros poseen también unos dientes carnívoros, que les permite mascar hasta los materiales más duros.

El tipo de mordida, o forma en que encajan los dientes superiores con los inferiores, viene determinada por la longitud de la mandíbula inferior.

Existen cuatro tipos de mordida:

- Tijera: Los dientes superiores encajan perfectamente en los inferiores)
- Prognatismo: Los dientes inferiores quedan adelantados con respecto a los superiores, al ser la mandíbula más larga que el maxilar.
- Enognatismo: Los dientes inferiores quedan detrás de los superiores, al ser la mandíbula inferior más corta que el maxilar.
- Pinza: Los dientes superiores e inferiores quedan alineados al mismo nivel.

Todas estas configuraciones del maxilar son correctas siempre que coincidan con la morfología de cada raza.

Orejas

Colocadas en las caras laterales o superior de la cabeza, preparadas para captar ondas sonoras, son móviles y se clasifican por porte, forma, tamaño, textura, dirección e inserción.

Ojos

Se clasifican según su tamaño, forma, colocación, posición y color.

Los párpados deben ser finos, retráctiles, de bordes apretados y bien pigmentados.

Mejillas

Redondeadas, abultadas o chatas

Columna Vertebral

Formada por vértebras:

- Cervicales: Son 7 y forman la base ósea del cuello, que va desde la articulación atlanto-occipital hasta la séptima cervical.
- Torácicas: Son 13 vértebras que forman la base ósea del dorso. La *cruzⁱ* es una referencia ósea que varía de posición en los diferentes ejemplares.
- Lumbares: Son 7 y forman la base ósea del lomo, se encuentran entre las torácicas las sacras.
- Sacras: Son 3, soldadas forman la base ósea de la parte superior y posterior del coxal y el inicio de la cola.
- Coccígeas: Varían entre 20 y 23 vértebras que forman la base de la cola.
 - Los diferentes tipos de colas se clasifican según su implantación, largo (amputadas o naturales), porte, rectas, con curva o enroscadas y peludas.

Miembro Anterior

Formado por la escápula, húmero, radio, cúbito, carpo, metacarpo y falanges.

Miembro Posterior

Formado por coxal, fémur, tibia, peroné, tarso, metatarso y falanges.

Costillas

El perro tiene 13 pares de costillas, el ancho del pecho se determina por el mayor o menor arqueado de estas, pueden ser: costillas de buen arqueado, de barril, planas y en quilla.

Esternón

Consta de 8 esternebrias, es largo y comprimido lateralmente.

Cuerpo

El cuerpo del perro está formado por:

- Línea Superior: cuello, cruz, dorso, lomo y grupa
- Línea Dorsal: dorso, lomo y grupa
- Línea Inferior: Pecho, vientre e ijar
- Plano anterior o antepecho: parte inferior del cuello, hombros, y manubrio del esternón.
- Plano posterior: ano, vulva en caso de la hembra, y parte posterior de los miembros
- Planos laterales: miembro anterior y posterior, costillas e ijar (flanco). Este nos permite medir el largo del cuerpo y profundidad del tórax.

Mediciones

- Altura: se mide del piso a la cruz, estando el ejemplar correctamente aplomado con sus miembros, anteriores perpendiculares al suelo.
- Largo: se mide desde el hombro hasta la tuberosidad isquiática, otras desde la cruz hasta la cola.
- Largo de tórax: desde el manubrio del esternón hasta la última costilla.
- Largo del lomo: desde la última costilla hasta el muslo.
- Profundidad del tóraxⁱⁱ: desde la cruz al esternón.
- Circunferencia del tórax: perímetro torácico.
- Luz o altura de los miembros: desde el esternón al piso.

Podemos ver un esquema ilustrando el esqueleto de un perro para ubicar lo antes mencionado.

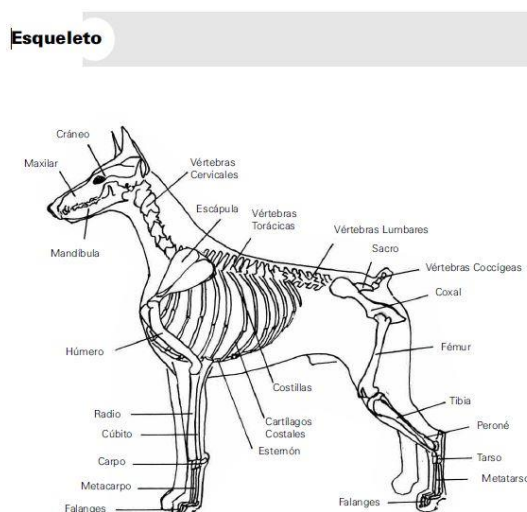


Ilustración 121: Sistema óseo de un perro^{3b}.

APÉNDICE C. GUÍA DE PREGUNTAS PARA LAS ENTREVISTAS REALIZADAS

Guía de preguntas

Trabajos del cliente

- ¿Qué tan importante es para ti el cuidado de tu mascota?
- ¿Qué es lo que buscas de un veterinario, para que este atienda a tu mascota?
- ¿Te gustaría distinguirse de las personas de alguna forma?
- ¿Cómo te gustaría sentirte y que necesitas para lograrlo?
- ¿Tienes algún proyecto, en el cual trabajes actualmente?

Dolores del cliente

- ¿Qué sería para ti un producto o servicio costoso? ¿Entre que rangos?
- ¿Qué es lo que más te molesta?
- ¿Cuáles son las desventajas que encuentras en llevar al veterinario tus mascotas?
- ¿Cómo afrontas esas dificultades?
- Actualmente ¿Qué es lo que más te preocupa de tus mascotas?
- ¿Cuál sería la principal el principal motivo por el cual no usarías otro medio de monitoreo?

Ganancias del cliente

- ¿Cuánto tiempo te toma llevar a tu mascota a una revisión con el veterinario?
- ¿Crees que podrías mejorar ese proceso de alguna forma? ¿Conoces alguna?
- ¿Qué te agrada de las alternativas que conoces?
- ¿Qué otras características te gustaría que tuvieran?
- ¿Cuál sería para ti un dispositivo ideal?
- ¿Qué es lo que te llama más la atención?

¿Cómo sabes que tus mascotas están siendo bien atendidas?

¿Crees que el trato a los animales es la mejor?

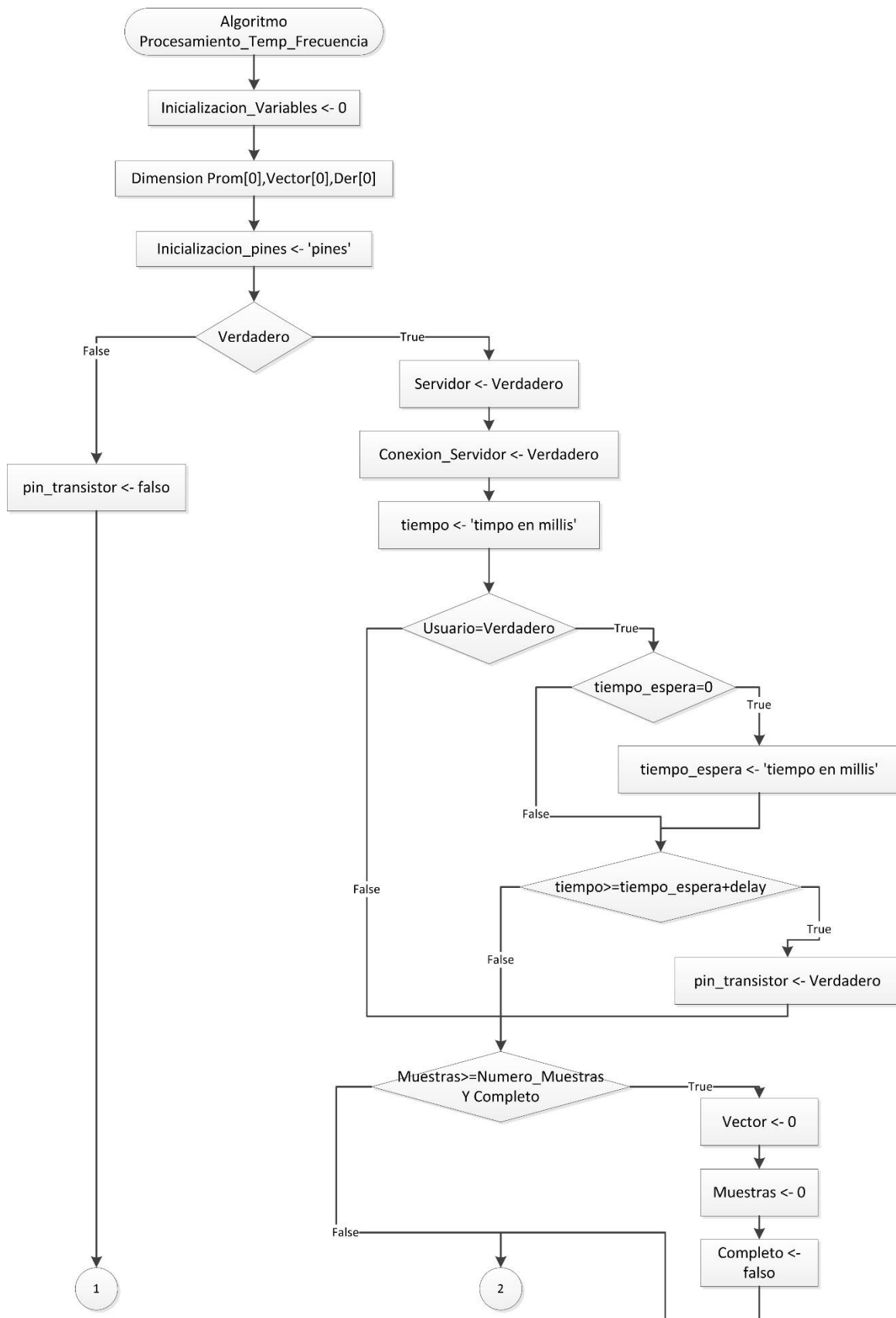
Prioridades

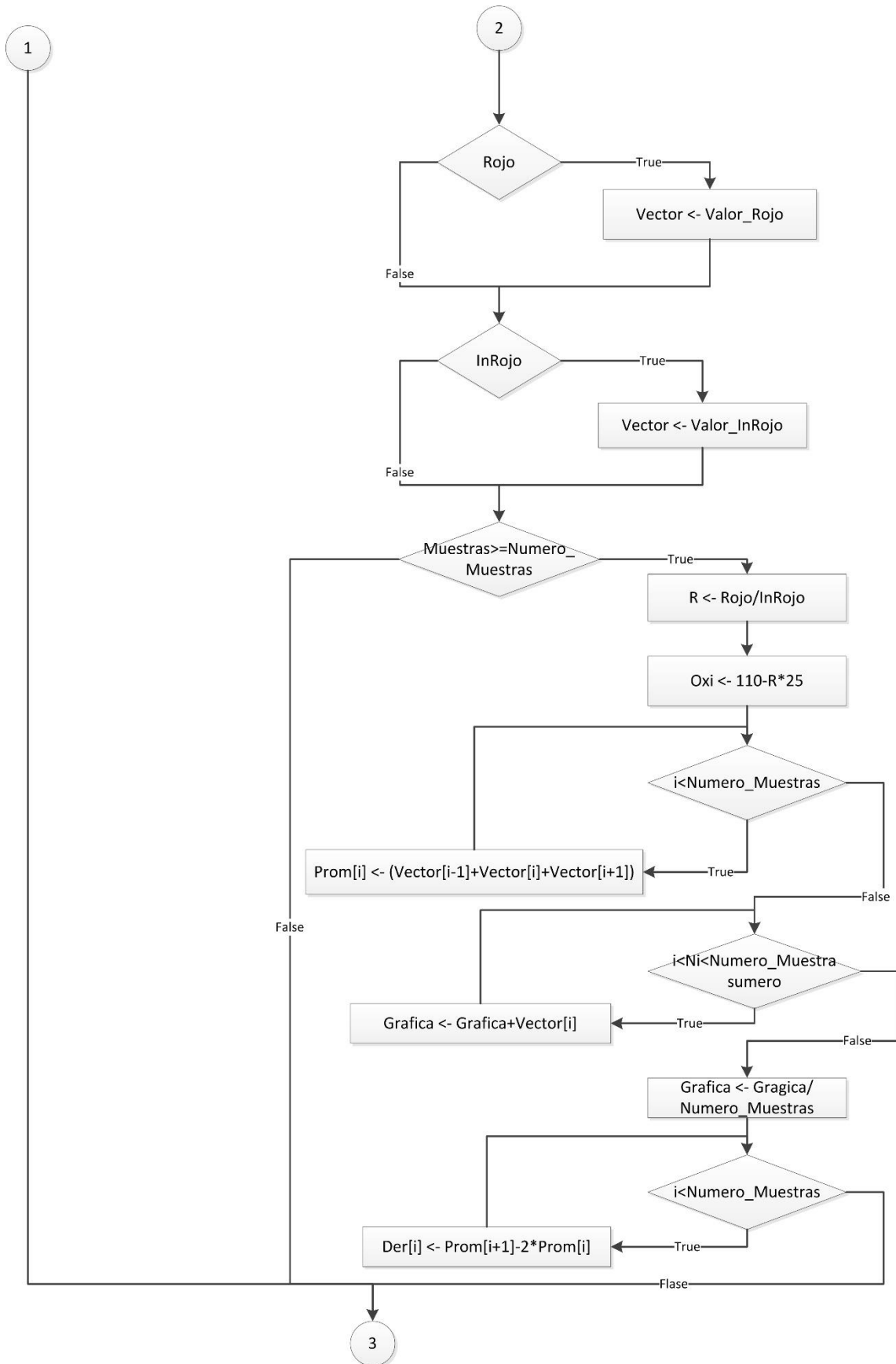
Sentimientos

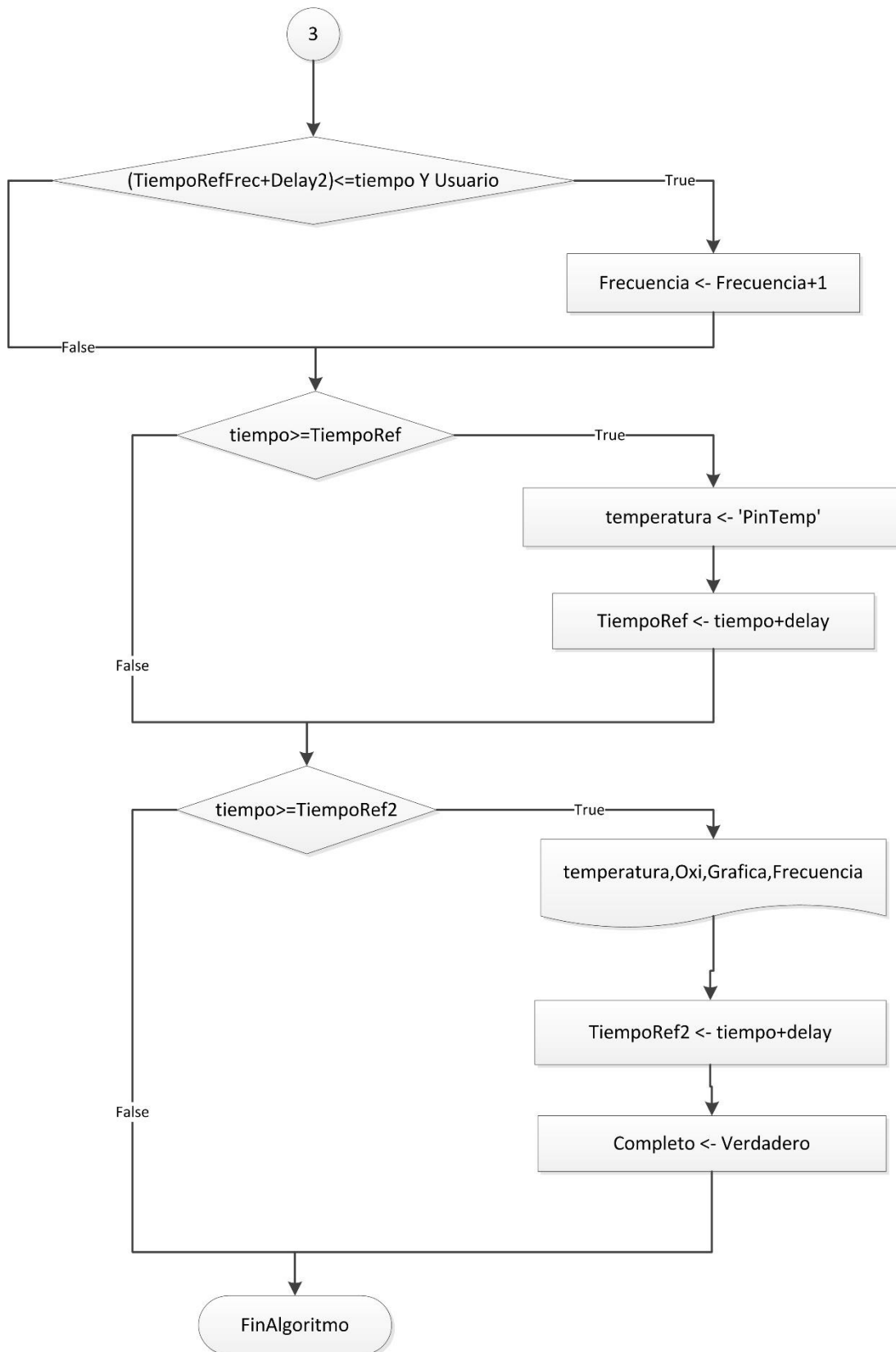
Preguntas adicionales

¿Por qué no lo lleva más seguido?

APÉNDICE D. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA RECIBIR, PROCESAR Y ENVIAR DATOS







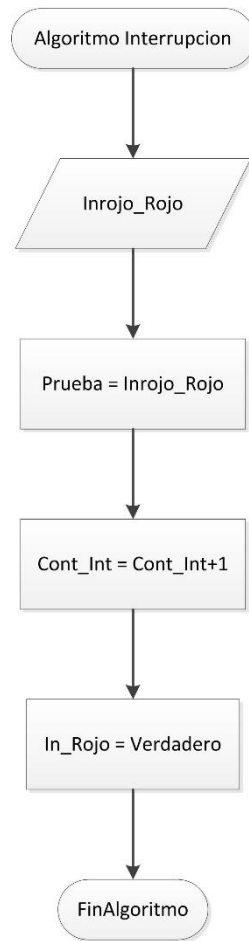


Ilustración 122: Diagrama de flujo para el programa de la plataforma ESP32.

APÉNDICE E. PSEUDO CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA RECIBIR, PROCESAR Y ENVIAR DATOS

```

Algoritmo Procesamiento_Temp_Frecuencia
  Inicializacion_Variables <- 0
  Dimension Prom(0),Vector(0),Der(0)
  Inicializacion_pines <- 'pines'
  Si verdadero Entonces
    Servidor <- verdadero
    Conexion_Servidor <- verdadero
    tiempo <- 'tiempo en millis'
    Si usuario=verdadero Entonces
      Si tiempo_espera=0 Entonces
        tiempo_espera <- 'tiempo en millis'
      FinSi
      Si tiempo>=tiempo_espera+delay Entonces
        pin_transistor <- verdadero
      FinSi
    FinSi
    Si Muestras>=Numero_Muestras Y Completo Entonces
      Vector <- 0
      Muestras <- 0
      Completo <- falso
    FinSi
    Si Rojo Entonces
      Vector = Valor_Rojo
    FinSi
    Si InRojo Entonces
      Vector = Valor_InRojo
    FinSi
    Si Muestras>=Numero_Muestras Entonces
      R = Rojo/InRojo
      Oxi = 110-R*25
      Mientras i<Numero_Muestras Hacer
        Prom[i] = (Vector[i-1]+Vector[i]+Vector[i+1])
      FinMientras
      Mientras i<Numero_Muestras Hacer
        Grafica = Grafica + Vector[i]
      FinMientras
      Grafica = Grafica/Numero_Muestras
      Mientras i<Numero_Muestras Hacer
        Der[i] = Prom[i+1]-2*Prom[i]
      FinMientras
    FinSi
  SiNo
    pin_transistor <- falso
  FinSi
  Si (TiempoRefFrec+Delay2)<=tiempo Y Usuario Entonces
    Frecuencia=Frecuencia+1
  FinSi
  Si tiempo>=TiempoRef Entonces
    temperatura = "PinTemp"
    TiempoRef = tiempo+delay
  FinSi
  Si tiempo>=TiempoRef2 Entonces
    Escribir temperatura, Oxi, Grafica,Frecuencia

```

```
TiempoRef2 = tiempo+delay
Completo = Verdadero
FinSi
FinAlgoritmo
```

```
Algoritmo Interrupcion
Leer Inrojo_Rojo
Prueba = Inrojo_Rojo
Cont_Int = Cont_Int+1
In_Rojo = Verdadero
FinAlgoritmo
```

APÉNDICE F. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA MOSTRAR DATOS

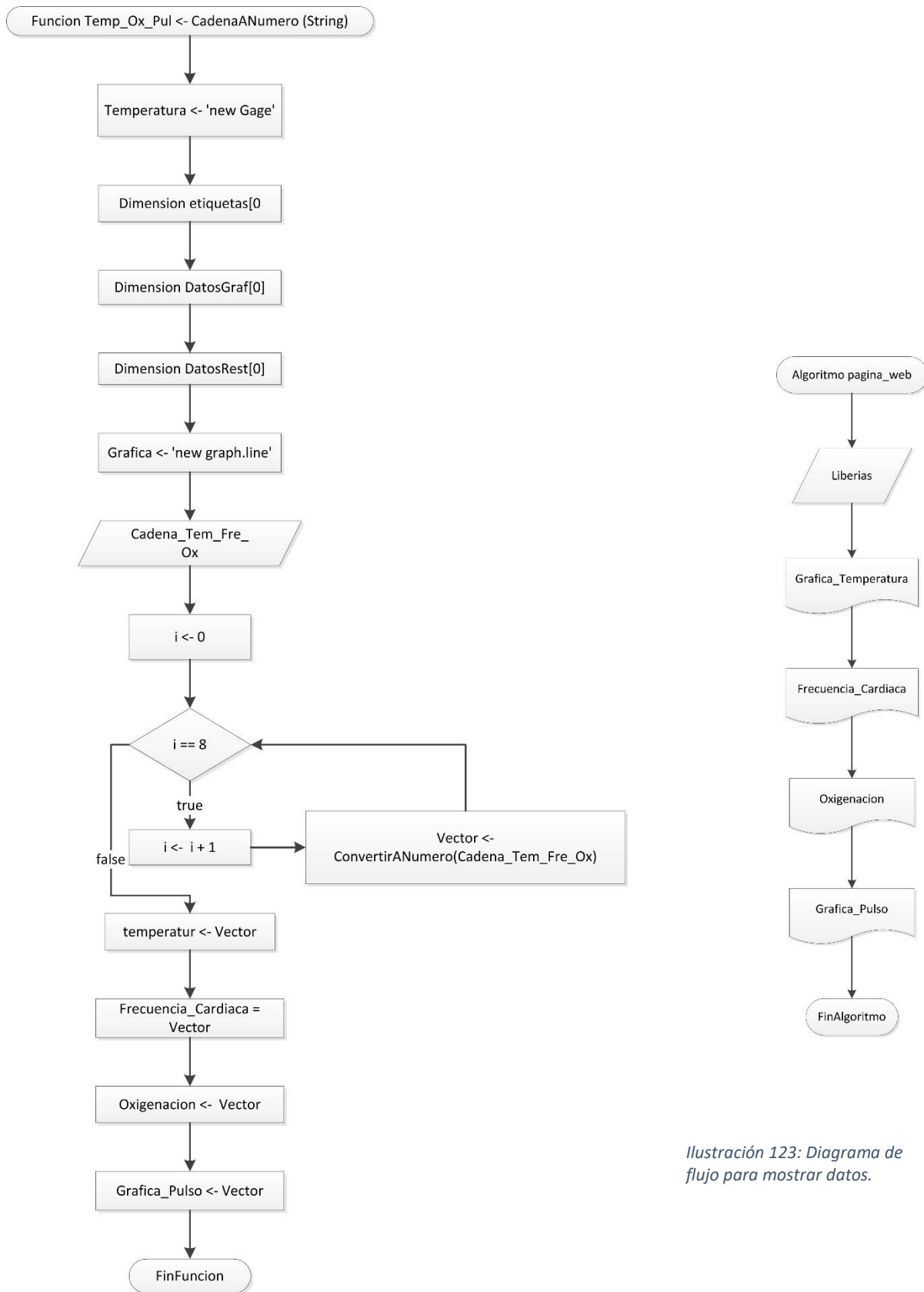


Ilustración 123: Diagrama de flujo para mostrar datos.

APÉNDICE G. PSEUDO CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA MOSTRAR DATOS

```
Funcion Temp_Ox_Pul <- CadenaANumero (String)
  Temperatura <- 'new Gage' // Se genera y definen características del gráfico
  Temp
  // Se inicializan los vectores, necesarios para las graficas
  Dimension etiquetas[0]
  Dimension DatosGraf[0]
  Dimension DatosRest[0]
  Grafica <- 'new graph.line' // Se genera y define las características de la
  grafico frec
  Leer Cadena_Tem_Fre_Ox // Se recibe la cadena del esp
  Para i<-0 Hasta 8 Hacer
    Vector <- ConvertirANumero(Cadena_Tem_Fre_Ox) // La cadena se convierte
    a un vector con valores numericos
  FinPara
  // Se asignan los valores correspondientes del vector
  temperatur = Vector
  Frecuencia_Cardiaca = Vector
  Oxigenacion = Vector
  Grafica_Pulso = Vector
FinFuncion

Algoritmo pagina_web
  Leer Liberias
  Escribir Grafica_Temperatura
  Escribir Frecuencia_Cardiaca
  Escribir Oxigenacion
  Escribir Grafica_Pulso
FinAlgoritmo
```

APÉNDICE H. PROTOCOLO PARA LAS PRUEBAS

1.- Definir el lugar de pruebas

- La temperatura ambiental no debe ser menor a los 10 °C ni mayor a los 28 °C.
- El lugar debe tener un espacio libre de un mínimo de 10 m².
- La prueba debe de ser realizada entre las 12:00 y las 15:00 horas.

2.- Definir al sujeto de pruebas

- El sujeto de pruebas no debe de ser mayor de 7 años ni menor de 5 años
- El sujeto de pruebas debe de ser de una raza mediana (27.9 [cm] - 50.8 [cm] de altura)
imagen

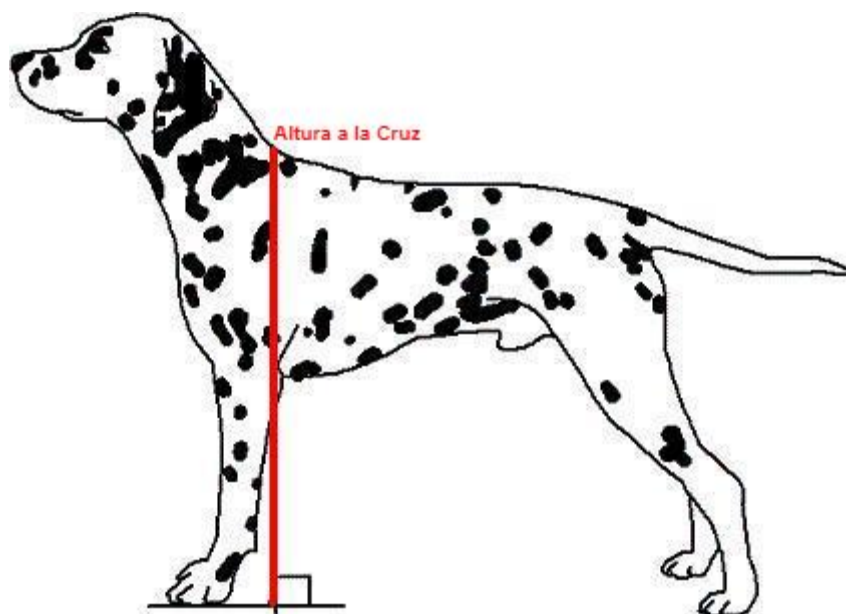


Ilustración 124: Altura del canino medido desde el piso a la cruz.

- El sujeto de pruebas debe estar sano, no presentar alguna enfermedad.
- El tamaño de muestra debe de ser de 6 (3 machos y 3 hembras).

3.- Autorización

- Entregar una carta de carácter informativo al dueño del sujeto de pruebas, en el cual se le hace saber el procedimiento que se llevara a cabo.
- Pedir autorización al dueño para realizar las pruebas

4.- Familiarizar al sujeto de pruebas con el dispositivo

- Mostrar el dispositivo al sujeto de pruebas y al dueño, para que se familiaricen.
- Permitir la interacción entre el sujeto de pruebas y el dispositivo (observar y olfatear) evitando que se dañe, el tiempo estimado para la interacción es de 2 min como máximo.

5.- Instrumentación

- El sensor de temperatura será puesto en la axila derecha del sujeto de pruebas mientras que la imagen pletismógrafo será colocado en el pecho.

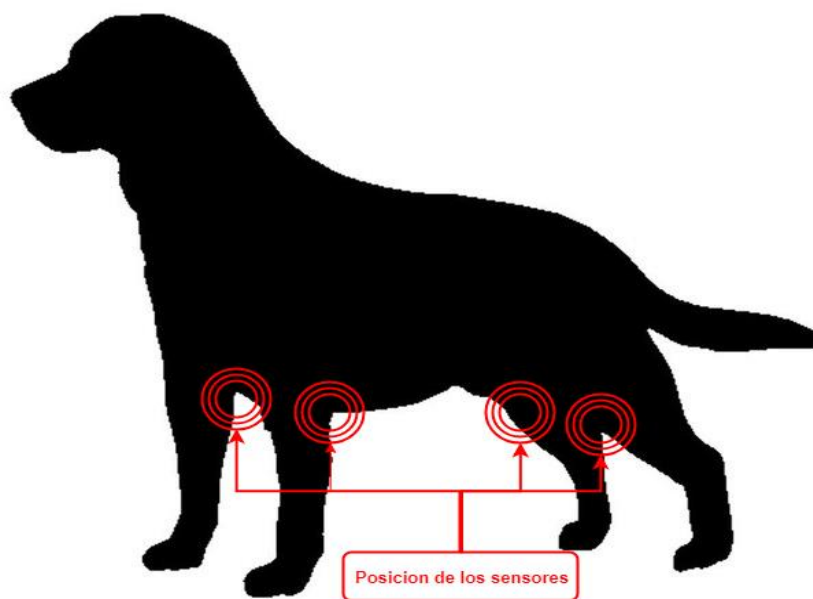


Ilustración 125: Lugares posibles para posicionar el sensor de temperatura.

- Para realizar las pruebas y poder verificar la portabilidad se propone una sujeción mediante vendas, así se puede fijar el dispositivo al sujeto de pruebas y se evita estar con este durante el proceso de monitoreo.



Ilustración 126: Vendaje en el canino para sujeción del dispositivo.

6.- Toma de datos

-Realizar el siguiente ciclo un mínimo de 3 veces

Estado	Acostado	Caminando	Acostado
Duración	< 1 min	1 min	< 1 min

Ilustración 127: Ciclo de pruebas.

Descripción de los estados

Acostado: El sujeto de prueba se encuentra totalmente recostado sobre uno de sus costados, dejando así la caja torácica libre.

Caminando: El sujeto de pruebas se encuentra de pie para posteriormente seguir una trayectoria definida. Se propone una trayectoria rectilínea para todos los sujetos de prueba.

Caminando en la tabla

- En cada estado tomar 3 muestras de las tres señales biológicas, dichas muestras serán tomadas a los 20s, 40s y 55s.
- Tomar video y fotografías en cada ciclo

6.- Infraestructura

- Preferiblemente se requiere la presencia de corriente eléctrica, 120V a 60 Hz.

7.- Equipo o Material

- Masking tape para poder trazar las rutas a seguir.
- Computadora y cargador.
- Vendas (nuevas).
- Dispositivo *MeasyPet*[®] y cargador.
- Un celular con Wi-Fi.
- Hojas de carácter informativo.
- Opcional: Croquetas de recompensa.

APÉNDICE I. CARTA INFORMATIVA A LOS DUEÑOS

Por medio de la presente carta se hace una atenta petición para que su mascota pueda participar como sujeto de pruebas en el desarrollo del dispositivo MEASY-PET, tomando en cuenta los siguientes lineamientos.

Información sobre el dispositivo

MEASY-PET es un dispositivo no invasivo que sirve para obtener información sobre la frecuencia cardiaca, la saturación de oxígeno en la sangre y la temperatura corporal.

Información sobre la prueba

La prueba contará con 5 etapas:

- La primera etapa consiste en colocar el dispositivo al cuerpo del canino mediante un vendaje, el cual le permita hacer movimientos libremente.
- La segunda etapa consiste en tomar los datos del canino mientras el canino se encuentra en reposo, preferentemente recostado. Esta etapa dura menos de un minuto.
- La tercera etapa, consiste en hacer caminar al canino por una ruta previamente establecida, el tiempo del recorrido durará sólo un minuto y los datos se medirán mientras el canino se encuentre caminando.
- La cuarta etapa consiste en colocar nuevamente al canino en reposo y tomar los datos por menos de un minuto.
- La quinta y última etapa consiste en retirar todos los sensores y el vendaje del canino.

Notas importantes

- Al no ser un dispositivo invasivo, su aplicación no causa efectos secundarios.**
- En caso de que el canino se sienta incomodo con los sensores y no quiera seguir con las pruebas, se cancelarán las mediciones para no estresar al canino.**

GLOSARIO

Termogénesis: Mecanismo para aumentar la temperatura interna se puede realizar mediante contracción muscular, Activación del metabolismo energético y la vasoconstricción cutánea.

Termólisis: Mecanismo para la disminución de la temperatura interna.

Homeotermia: Es el proceso mediante el cual los animales mantienen su temperatura corporal dentro de los límites seguros.

Transductor, traductor: Dispositivo que tiene la misión de recibir energía de naturaleza eléctrica, mecánica, acústica o cualquier otra y suministrar otra energía de diferente naturaleza, pero de características dependientes a las que recibió.

Década: Decimos que una frecuencia f_1 varía una década cuando toma un nuevo valor, f_2 , de modo que (Pertenece, 2000):

$$f_2 = 10 * f_1$$

Octava: Decimos que una frecuencia f_1 varía una octava cuando toma un nuevo valor, f_2 , de forma que (Pertenece, 2000):

$$f_2 = 2 * f_1$$
