



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un dispositivo
interactivo para la
supervisión de mascotas
domésticas**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

Campos Pérez Eber Daniel

Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

DIRECTOR DE TESIS

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Diseño de un dispositivo interactivo para la supervisión de mascotas domésticas

Campos Pérez Eber Daniel
Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Octubre 2018



Agradecimientos de Eber Daniel Campos Pérez

Quiero agradecer a mis padres por el gran apoyo que me han dado, a pesar de no ser un gran estudiante, nunca dudaron de mis capacidades, y aun teniendo 3 hijos más estudiando, me dieron lo necesario para que pudiera concluir mis estudios, así como también la gran educación que me impartieron con la cual me pude ir desarrollando como un universitario.

Agradezco a la UNAM por ser mi segundo hogar, por dar la gran calidad de estudios que me llevó a la formación de ingeniero y a los grandes profesores de esta universidad.

Agradezco a mi amigo Bruno por la hospitalidad que me brindó durante la realización de este proyecto y por su buen ejemplo en la dedicación de un trabajo, que me ayudó a mejorar como estudiante.

Agradecimientos de Bruno Alejandro Orsatti Sánchez

Quiero agradecer y dedicar este trabajo a mis abuelos, Virginia y Raúl (Q.E.P.D.), quienes fueron los que me apoyaron y acompañaron en mi transición de estudios en México y creyeron que sería una gran oportunidad para seguir creciendo y tener nuevas experiencias al abrirme su casa y dedicarme tiempo y cariño para poder realizarme tanto personal como académicamente.

A mis padres Hilda y Álvaro, quienes siempre creyeron y me apoyaron en todo lo que soñé hacer y que me acompañaron en muchas madrugadas desde la irremovible distancia para concluir el desarrollo de este trabajo. Son las dos personas que más admiro y quienes siempre me han marcado el ejemplo a seguir hasta el día de hoy, además de haberme brindado cariño y un gran apoyo aún cuando no hemos podido estar juntos por mucho tiempo.

A Lorena Garza, la persona que me ayudó a levantarme y me apoyó a seguir luchando, quien me escuchaba y me ayudó con lo único que tenía con el fin de lograr mi objetivo. Le agradezco con todo mi corazón todo el cariño y apoyo que me ha dado en estos últimos años de la carrera. Por toda la diversión, risas, aventuras y muy lindos recuerdos que hemos tenido desde el día que la conocí, gracias por acompañarme en esta etapa universitaria.

A mi tía y a mis primos, quienes son como mis hermanos y siempre me dieron muy buenos momentos y me apoyaron con su palabra y consejo cuando lo necesitaba. En especial a mi primo Hugo, quien siempre me ha acompañado con muchas risas y buenos recuerdos, estando presente en cada locura, apoyándome y al hacerme sentir en casa durante mi intercambio.

A Kevin, quien, con su amistad en estos 19 años de conocernos, siempre me ha ayudado a despejarme la cabeza con sus largas pláticas y locuras que cada vez que estamos juntos hacemos. Uno de mis verdaderos amigos y quien también me ha dado consejo y apoyo en varias decisiones de mi vida y que aun en la distancia, me acompañó en el desarrollo de este trabajo.

A todos mis compañeros que, gracias al tiempo invertido en la facultad, llegué a conocer y nos dimos el tiempo de apoyarnos al trabajar juntos en diferentes proyectos, pero sobre todo haber compartido una buena amistad y pasar tiempos de preocupación, alegrías y risas. A todos ellos: Alan, Arenkhar, Arturo, Carlos, Chepe, Diego Alan, Diego, Erick, Geovani, Héctor, Kazu, Laura, Mauricio, Omar, Oscar, Pablo, René, Rodrigo, Said y Víctor.

A mis profesores y a la UNAM, por todos los conocimientos, experiencias y oportunidades brindadas, al llevarme un grato recuerdo de mi vida universitaria.

A mi amigo y compañero de trabajo Eber, quien creyó en mí y en el trabajo, más aquellos momentos que pasamos juntos jugando y platicando; y a su familia por brindarme la oportunidad de trabajar en su casa. Gracias por su apoyo, esfuerzo y confianza.

Y finalmente a mi profesor, tutor y amigo Yair Bautista quien, con su apoyo, confianza, interés, consejos y dedicación por el trabajo, me motivó a seguir con su realización, Agradezco todo el tiempo invertido en mí y en el proyecto, y por sus palabras cuando más lo necesite. Muchas gracias, ya que fue un pilar para la realización del trabajo y es alguien a quien admiro.

Índice

	Página
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Capítulo I. Antecedentes	4
I.1 El perro doméstico y su rol en la sociedad.....	4
I.1.A Los perros domésticos en México	8
I.1.B El mercado enfocado a mascotas	13
I.2 Ansiedad por separación	21
I.2.A Auxiliares para reducir la ansiedad por separación	27
I.2.A.a Rutinas	28
I.2.A.b Interacción social.....	28
I.2.A.c Gastar energía física	29
I.2.A.d Terapia de modificación de la conducta.....	30
I.2.A.e Medicación	31
I.2.A.f Sonido y Audiolibros.....	32
I.2.A.g Otras recomendaciones.....	33
I.3 Aprendizaje en animales.....	35
I.3.A Aprendizaje por habituación.....	36
I.3.B Aprendizaje por asociación	37
1.3.B.a Condicionamiento clásico.....	37
1.3.B.b Condicionamiento operante.....	38
I.3.C Impronta	43
I.3.D Aprendizaje social.....	44

I.4 Premios	45
I.4.A Tamaños y formas	46
I.4.B Dosificación	47
I.5 Los sentidos del perro.....	50
I.5.A Visión.....	51
I.5.B Olfato	52
I.5.C Audición.....	53
I.5.D Tacto	54
I.5.E Gusto	55
I.6 Estado de la técnica.....	55
Capítulo II. Diseño conceptual.....	74
II.1 Identificación del problema	74
II.2 Identificación de necesidades	75
II.3 Generación de especificaciones	76
II.4 Sistematización.....	79
II.4.A Diagrama de caja negra	80
II.4.B Subsistemas funcionales	80
II.5 Búsqueda de soluciones.....	86
II.5.A. Soluciones previas al concepto.....	90
II.6 Generación de conceptos	94
II.7 Análisis de conceptos	96
II.8 Concepto seleccionado.....	105
Capítulo III. Diseño de detalle	108
III.1 Subsistema de control y subsistema de almacenamiento.....	108
III.2 Subsistema de video	110
III.3 Subsistema de audio.....	112

III.4 Subsistema de detección	115
III.4.A Uso y adquisición de la señal RSSI de los <i>Beacons</i>	115
III.4.B Visión artificial	122
III.4.C Detección y evasión de objetos	153
III.5 Subsistema de dosificación	157
III.6 Subsistema de iluminación	165
III.7 Subsistema de movimiento	168
III.8 Subsistema de comunicación	177
III.9 Subsistema de distribución de energía	193
Capítulo IV. Manufactura y ensamble	199
Capítulo V. Pruebas de funcionamiento y resultados	216
V.1 Pruebas en condiciones controladas	245
V.2 Pruebas en condiciones reales	256
Capítulo VI. Trabajo a futuro	281
Capítulo VII. Conclusiones	283
Apéndice I. Premios comerciales	286
Apéndice II. Valores de RSSI	289
Apéndice III. Códigos	293
Apéndice IV. Diagrama de conexiones	294
Apéndice V. Planos	295
Referencias	306

Introducción

La ansiedad por separación es un problema de conducta que se presenta en perros -animal de compañía con mayor presencia en los hogares- debido al apego excesivo que pueden generar con sus dueños, el cual provoca el desarrollo de conductas indeseadas para las personas, y puede llegar a desenlazarse en maltrato, confinamiento e incluso abandono si no es tratada de forma correcta. Por lo tanto, en este trabajo se planteará el desarrollo del diseño de un modelo funcional capaz de interactuar con una mascota canina y supervisarla mientras el dueño se encuentra separado de ella.

La metodología que se utilizará a lo largo del trabajo es aquella planteada por los autores Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger en su libro *Diseño y desarrollo de productos*, la cual puede ser adaptada conforme a las necesidades del equipo de trabajo al permitir un avance ordenado y flexible para lograr el objetivo planteado.

Es así como en el primer capítulo se hace una revisión sobre el impacto que tiene la relación entre el ser humano y los perros con la ansiedad por separación, sus síntomas y su tratamiento, como también las características de los perros que se relacionan con los objetivos del trabajo. Asimismo, se presenta una investigación de los modelos representativos en cuanto a la vigilancia de mascotas, así como la comunicación entre el dueño y ellas o que se enfoquen en tratar problemas de conducta.

A continuación, en el capítulo segundo se comienza propiamente con el proceso de diseño, donde se plantean las necesidades de acuerdo con el problema identificado, que son traducidas en especificaciones objetivas a satisfacer, lo cual va a permitir generar conceptos a partir de soluciones planteadas por el equipo de trabajo, con lo que se elegirá al final uno que pueda cumplir con las especificaciones requeridas. Lo anterior se desarrolla por medio de un análisis sistemático que permita determinar los elementos necesarios para poder lograr el objetivo planteado, así como ver su interacción.

Después, a lo largo del capítulo tercero se puede ver el diseño de detalle de cada uno de los subsistemas, para los cuales se desarrolla con mayor profundidad la información con respecto a cada uno de los elementos seleccionados para cada subsistema, como también su correcta implementación para lograr el funcionamiento deseado de acuerdo con el objetivo.

Enseguida, el capítulo cuarto trata sobre el diseño y manufactura del chasis que contendrá de manera ordenada a cada uno de los elementos de los subsistemas tratados en el capítulo anterior, como también de los elementos adicionales que permitirán el funcionamiento integral del proyecto.

Posteriormente, se encuentra el capítulo quinto, en donde se comentarán las pruebas de funcionamiento, las cuales serán hechas en dos diferentes modalidades: en condicionales controladas y después en condiciones reales. Es aquí donde se obtiene los resultados que

permitirán corroborar más adelante si el proyecto cumple con el objetivo, como también las necesidades planteadas en el capítulo segundo con base en su desempeño en las pruebas.

Luego, de acuerdo con los resultados obtenidos se presenta en el capítulo sexto el trabajo a futuro, donde se planteará las posibles mejoras a los subsistemas que lo necesiten para afinar el modelo funcional.

Por último, en el capítulo séptimo se desarrollan las conclusiones hechas por el equipo de trabajo a lo largo de la investigación hecha, así como en todo el proceso del diseño del proyecto, donde se corroborará si se ha cumplido con el objetivo planteado.



Objetivos

Objetivo general

Diseño y elaboración del modelo funcional de un dispositivo que permita la interacción con una mascota, así como su supervisión cuando se encuentre separada de su dueño.

Con el fin de lograr el objetivo general, es necesario dividirlo en objetivos específicos para direccionar esfuerzos al correcto desarrollo de cada una de las partes que integran al mismo a lo largo del proceso de diseño.

Objetivos específicos

- 🐾 Realizar un análisis exhaustivo de la bibliografía relacionada con el comportamiento y psicología canina para poder encontrar elementos claves para detectar y evitar la ansiedad por separación y mal comportamiento, como también de productos ya desarrollados para atacar dicho problema.
- 🐾 Determinar subsistemas y sus posibles soluciones para cubrir las necesidades de diseño del proyecto, con el fin de establecer un concepto del sistema.
- 🐾 Generar un modelo funcional a partir del concepto generado del sistema, capaz de supervisar una mascota canina e interactuar con ella.
- 🐾 Desarrollar interfaz gráfica sencilla para la comunicación y manipulación del sistema con el usuario.
- 🐾 Realizar pruebas de funcionamiento del modelo funcional con un perro en un entorno con condiciones controladas y reales, con un posterior análisis de resultados.



Capítulo I. Antecedentes

I.1 El perro doméstico y su rol en la sociedad

Los perros han sido compañeros de los seres humanos desde hace 10,000 a 40,000 años atrás, al ser descendientes del lobo del sudeste asiático, con su nombre científico *canis lupus* [1-3, 4, 5]. Es así como posiblemente los primeros domesticadores de perros estuvieron en Asia central entre Nepal y Mongolia. Se cree que la causa que produjo la domesticación de estos animales salvajes fue principalmente la interacción de éstos con los seres humanos durante la cacería de animales de gran tamaño [2, 3-7, 8], entre ellos mamíferos como el alce. Posteriormente, debido a los cambios climáticos, que desembocó en una disminución de presas, y el aumento de cazadores humanos, los lobos se vieron obligados a convertirse en carroñeros para sobrevivir, lo que provocó un impulso a acercarse aún más a los campamentos humanos para sobrevivir [7]. Existen otras teorías que indican el origen del lazo con los humanos como resultado de la interacción con niños y mujeres que permanecían más tiempo en el hogar, posiblemente cuando se llegó a cuidar a un cachorro, que sería de ayuda al crecer en la caza [5, 8].

Sin embargo, aún existe la duda de hace cuantos años precisamente se presentó la domesticación, más aún cuando fue que se dio la migración de los perros del sudeste asiático y si fue con o sin humanos. Un estudio realizado por el Real Instituto de Tecnología en Estocolmo en el año 2013, el cual consideró por primera vez el uso del ADN (ácido desoxirribonucleico) de los lobos del sudeste asiático, apunta que los perros tuvieron su domesticación al sur del río Yangtze en el sudeste asiático, al separarse de los lobos hace 33,000 años, y por la gran migración fuera de esta área que se dio hace 15,000 años, lo cual pudo llegar a suceder posiblemente sin la presencia de humanos debido a factores ambientales, como fue el retroceso de los glaciares hace 19,000 años. Además, se señala que, en caso de haber sido la migración dada sin la ayuda de seres humanos, los perros debieron seguir en cualquier caso los asentamientos humanos y vivir alrededor de las personas y ser carroñeros [6-11].

Así mismo, se cree que los perros domésticos llegaron a Europa, África y Oriente Medio hace 10,000 años. Se cree que los perros que llegaron a América, muy posiblemente por el estrecho de Bering, provienen de un remezcla de los primeros linajes que migraron con los existentes al norte de China, cuando los primeros migraron de regreso [7,10].



Figura 1.1 Del lobo al perro doméstico [7].

Otros artículos en la materia señalan que el origen de la domesticación de los perros se desarrolló en el Medio Oriente [12]. Sin embargo, posterior a la migración de los perros de Asia a otros continentes es cuando se presenta una mayor inclusión de éstos en los grupos de humanos previo a la agricultura, lo cual provocó grandes cambios en la domesticación de los perros, y les permitió participar más adelante en más actividades humanas como pastor en la ganadería. El perro fue el primer y único animal domesticado antes de la agricultura, por lo que se considera “la primera intervención consciente del hombre en el proceso evolutivo de otras especies” [6].

Actualmente existe una gran cantidad de razas de perros domésticos debido principalmente a las cruces realizadas por el ser humano, lo que da como resultado una gran diversidad de perros con distintas características físicas, cuya sobrevivencia de algunos no sería posible al estar en libertad [1]. Esta gran cantidad de cruces de perros es uno de los principales obstáculos para definir con seguridad la fecha y lugar de origen de los perros domésticos, junto con la carencia de muestras antiguas y escasos ejemplares de sus posibles antepasados [7]. Sin embargo, hay que ver a la domesticación como un suceso que se ha dado a partir de la evolución y adaptación a través de los años, el cual tiene diferencias con el lobo debido a la selección natural y artificial (domesticación) [5, 6].

Aún en estos días los perros mantienen patrones de conducta de sus antepasados, como es la marca de territorio por medio de la orina, el enterrar huesos o juguetes de su posesión para guardarlos, entre otros tales como su comunicación por medio de su postura corporal, movimiento de cola y orejas, su mirada y una cacofonía de sonidos como ladridos, gruñidos, aullidos, gimoteos y suspiros [1, 5, 13-14]. Una investigación realizada por la Universidad de Portsmouth en los Estados Unidos reveló que los perros son capaces de realizar expresiones

faciales para solamente comunicarse con los seres humanos y no como manifestaciones de emociones [14].

No obstante, también se heredaron conductas indeseables para el ser humano, aunque normales para los lobos como la “agresividad depredatoria o por dominancia hacia los humanos, las fobias o miedos desmedidos, ansiedad por separación de la manada, la utilización de las excretas (heces y orina) como mecanismos para marcar territorio o jerarquía, el exceso de ladrido como medio de comunicación, las aberraciones del apetito (coprofagia, pica), etc.” [5].

A su vez, los perros poseen una estructuración social en forma de manada o grupo, la cual ha sido heredada de los lobos [5, 15], y han desarrollado papeles de dominancia y subordinación heredados de sus antepasados. Por lo anterior, los perros domésticos son seres vivos sociables que se insertan en una lógica de jerarquía de dominancia, lo cual depende de factores como tamaño, sexo y predisposición a la dominancia o sumisión. En esta estructura, los perros se sincronizan en actividades como son el sueño, el horario de comida o aprende e imita conductas, conocidas como conductas alelomiméticas, además de presentar actividades agonistas como la agresión [5, 13].

Sin embargo, lo que posibilitó que existiera una convivencia entre los perros y los humanos fue que ambos son seres predominantemente sociales [16], de manera que para los perros el vivir con una familia es ser parte de una manada y formar parte de la jerarquía familiar [5, 17]. La socialización la vamos a entender como el “proceso de aprendizaje por el cual un individuo aprende a aceptar la proximidad de un “*conespecífico*” (de su propia especie) o la proximidad de otras especies [18]. Fue esta capacidad de adaptación fácil que favoreció también al proceso de domesticación del perro.

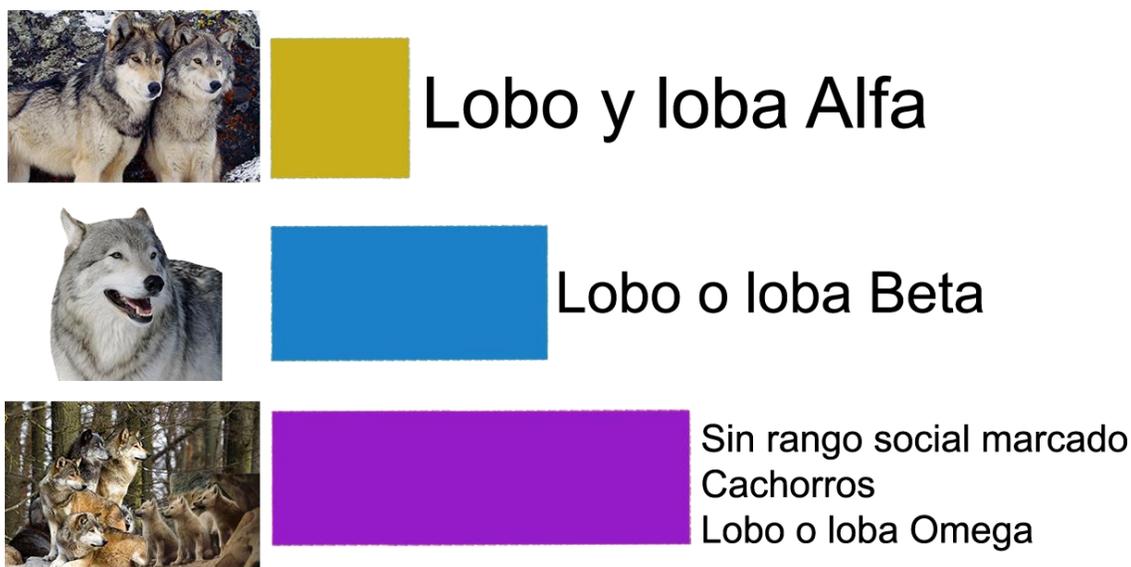


Figura 1.2 Organización social de los lobos [13,19-22].

Con base en la figura 1.2 en donde se representa como es la organización social de los lobos, el cual permite explicar la organización social de los perros [13, 17]., en una familia se recomienda que los perros ocupen el lugar del perro o perra omega, y compartir el nivel junto con otros perros en caso de ser más de uno y los niños de la familia. A su vez, los dueños representarían al perro o perra Alfa, y finalmente beta es ocupado por cualquier otro miembro de la familia [13].

Adicionalmente, algunos perros domésticos interactúan todavía con los humanos hoy en día y desarrollan tareas en actividades de caza, cuidado de rebaños, protección y seguridad, donde tienen un rol en los equipos policiales y militares, bioindicadores, búsqueda de personas y rescate en catástrofes, y asisten personas que presentan ceguera al guiarlos, sordera, epilepsia, autismo o discapacidad motriz, así como también ayudan a personas con problemas de ansiedad, trastornos emocionales y mentales para calmarse y ofrecer estabilidad emocional y amor incondicional [1, 8, 17, 23-25]. Los perros se encuentran introducidos en las actividades y en la sociedad actual, y son para algunas familias más que un animal de compañía, un miembro de la familia muy querido.

Lo anterior se puede observar en los dueños cuando la mascota fallece, ya que el duelo que se presenta puede llegar a ser muy largo y difícil de superar, muy parecido al que se presenta cuando sucede con algún pariente. Principalmente se debe a la presencia de la mascota en la vida cotidiana de las personas y en sus rutinas diarias, para todos los miembros de la familia sin importar su edad [11]. Esto nos indica el nivel de socialización que tienen los perros y los humanos y cómo a través de los años, han logrado sobrevivir al convivir, lo que se reproduce actualmente.



Figura 1.3 Algunas razas de perros actuales [26].

Los perros domésticos han evolucionado desde que comenzaron a interactuar con los seres humanos, lo que los llevo a comprender comandos y elogios de sus dueños, reconocer a las personas con las que conviven e interpretar sus expresiones faciales y corporales (lenguaje corporal), interpretar tonos de voz y responder a ellos [5, 8, 11, 27-28], por lo que esta correspondencia entre especies es única [27], lo cual llevo a crear lazos sociales [4]. Este entendimiento es recíproco, ya que los dueños de los perros pueden identificar ciertas conductas de sus mascotas, como cuando quieren hacer del baño, tienen hambre, quieren jugar o como se sienten, si están felices, tristes, enfermos, cansados, etcétera [13-14].

Es por este lazo de afecto y lealtad entre el ser humano y los perros, lo que conlleva a crearse el famoso dicho que “el perro es el mejor amigo del hombre” [27-31].



Figura 1.4 Los perros y su participación en la sociedad [32-36].

Un beneficio indirecto que tienen los dueños de mascotas es que, al interactuar con estos animales se produce un sentimiento de relajación, lo que reduce el estrés y presenta mejoras para las personas con síntomas de nerviosismo, migrañas, insomnio, falta de apetito, hipertensión, enfermedades coronarias, hasta llegar a ser más longevos [8] entre otros. Adicionalmente, al jugar con las mascotas se estimulan los músculos, tendones, y se fortalece el cuerpo de las personas como también de las mascotas [28, 37-38].

I.1.A Los perros domésticos en México

En la actualidad es común encontrar en los hogares animales de compañía como los perros, gatos, aves, reptiles e incluso en los últimos años cerdos miniatura o mejor conocidos como *mini pig*. Sin embargo, los perros domésticos cuya especie es la *Canis lupus familiaris*, es el tipo de

mascota preferida entre los mexicanos, en donde alrededor del 80% de las personas con mascotas posee un perro en sus hogares según el Consejo Nacional de Población (CONAPO) [39].

Una encuesta realizada a más de 27 mil personas mayores de 15 años en 22 países en el año 2016 por la compañía de investigación de mercados mundial GfK, reveló que Argentina, México y Brasil son los países con más porcentaje con dueños de mascotas a nivel mundial, y coloca al perro como la mascota más popular en los tres países mencionados, con un porcentaje de 66%, 64% y 58%, respectivamente [40].



Figura 1.5 Principales países con mayor porcentaje en propietarios de mascotas [41].

Propietarios de mascotas en México

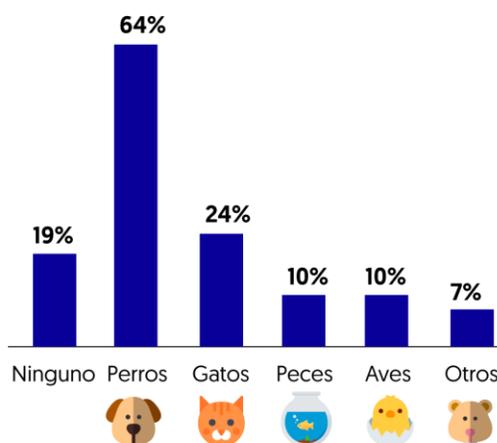


Figura 1.6 Porcentaje de mascotas en México [41].

En México fueron aproximadamente 1029 quienes respondieron a la encuesta mencionada. Por lo que se puede traducir que aproximadamente 7 de cada 10 hogares prefieren tener una mascota canina en México [12,26]. Adicionalmente, la CONAPO menciona que hubo un aumento del 20% entre el año 2000 y 2010 de perros domésticos [39].

Por otro lado, la empresa en México sobre investigación y consultoría en estudios de mercado y de la opinión pública llamada Consulta Mitofsky [42], realizó una encuesta nacional en 1000 viviendas en todo el país llamada “México: Las mascotas en nuestros hogares” en el año 2014, y comparó los resultados con los obtenidos en una encuesta pasada en el año 2011 [43].

El análisis anterior reveló que entre los años de comparación hubo una disminución de viviendas en México en las que habita al menos una mascota, al reducirse del 58% al 55%. Sin embargo, un dato importante es el que la presencia de mascotas en los hogares parece no estar relacionado con el nivel socioeconómico de la familia.

Por otro lado, como se puede apreciar en la figura 1.7, la mascota con mayor presencia en las familias mexicanas fue de nuevo el perro, con una presencia del 87%, cifra que aumentó un 3% desde el 2011. Muy por debajo de los perros se encuentran los gatos, seguidos de las aves y los peces. Es importante destacar que, en este estudio, el porcentaje mostrado toma en cuenta que varias mascotas pueden coexistir en un mismo hogar, lo que equivale al 17% del 54.9% de los hogares que sí tienen mascotas donde conviven perros y gatos.

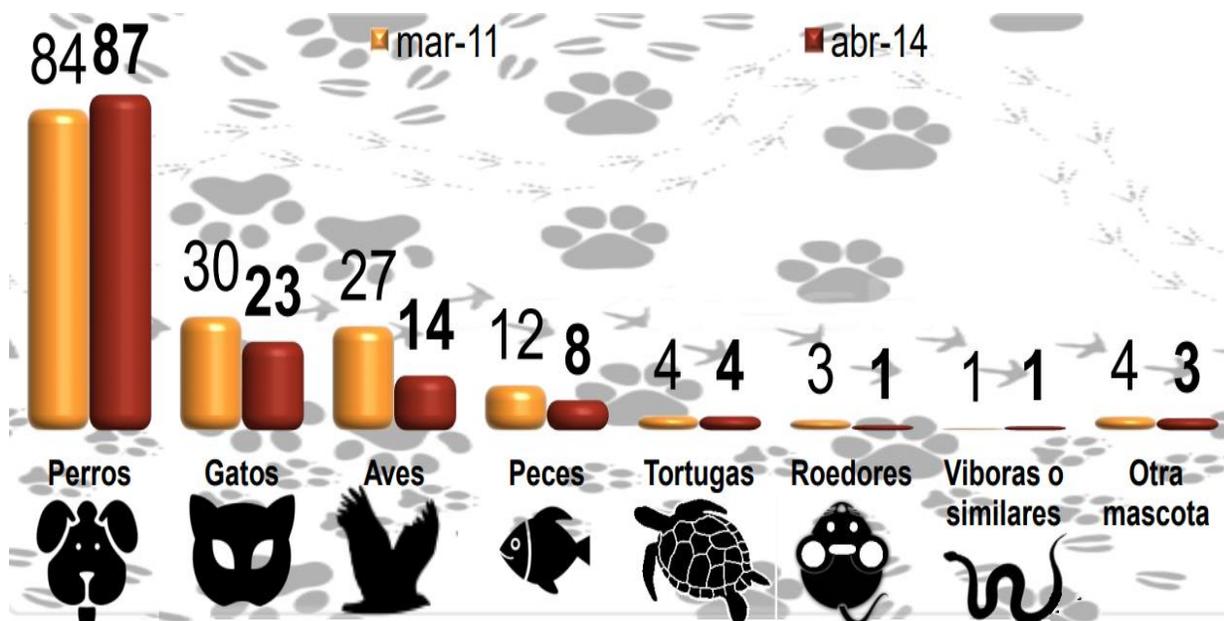


Figura 1.7 Porcentaje de mascotas en los hogares de México [43].

En la figura 1.8 se exponen el porcentaje de mascotas en hogares que poseen mascotas en las 5 diferentes regiones del país. Es notorio que la región que destaca en tenencia de perros es el noroeste, seguido de occidente y centro, mientras que para los gatos se tiene una mayor tenencia al suroeste del país.

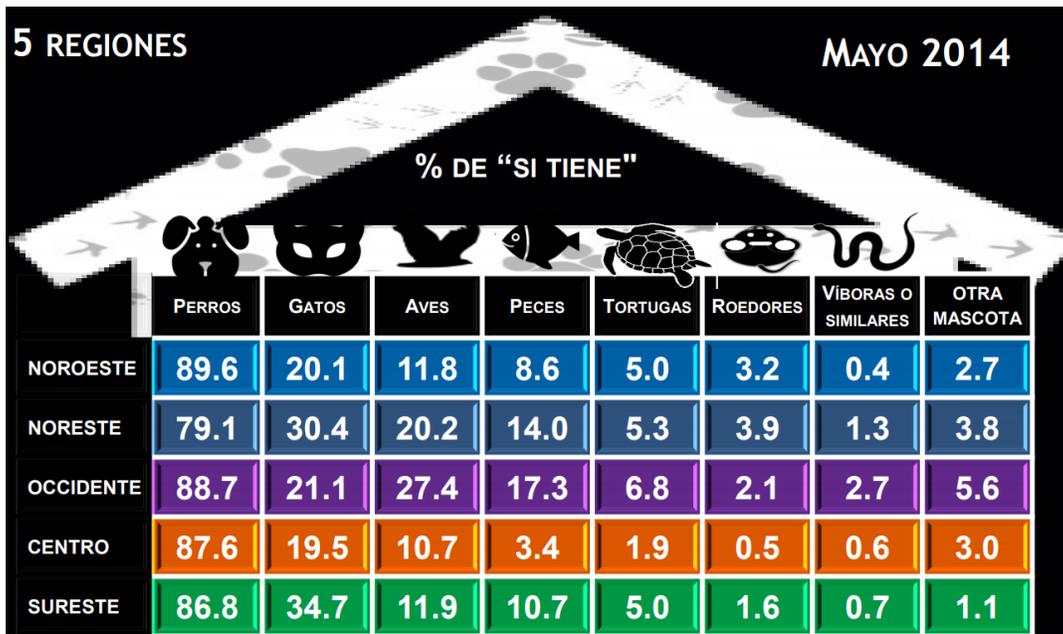


Figura 1.8 Porcentaje de mascotas en los hogares en 5 regiones de México [43].

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en su encuesta de Bienestar Subjetivo en México del 2014, revelaron que, de un total de 80,703,160 adultos mexicanos, aproximadamente 45,879,959 de ellos poseen una mascota en casa, es decir, un 57%. Así, de la población adulta con mascota en hogar, 39,717,173 poseen un perro, esto es, un 87% [44].



34,823,201 adultos no tienen mascota



45,879,959 adultos sí tienen mascota

De las cuales:

87%



15%



12%



Figura 1.9 Porcentaje de adultos de México con mascota en casa INEGI [44-52].

Así mismo, México se encuentra en primer lugar en América Latina, como el país con mayor número de perros en su territorio. Lo anterior se reflejó en el censo del 2016 realizado por el

INEGI, en donde se cuenta con un aproximado de 19.5 millones de perros en todo el país [39], donde se incluyen tanto domésticos como callejeros, mismo número que reportó la Asociación de Productores de Alimentos para Perros y Gatos (AMASCOTA) [53]. Sin embargo, no existe un número exacto de perros en México. Por un lado, la Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Pequeñas Especies (AMMVEPE) presenta una estimación de 28 millones de perros en el país [54], mientras que la Secretaría de Salud presentó para el 2012 un estimado de 22 millones [55].

Por lo tanto, de la cifra total presentada por el INEGI sólo 5.4 millones de perros tienen hogar [39], lo que es solo un 27.7% los perros en México, mientras que por la cifra ofrecida de la AMMVEPE 8.4 millones de perros tienen hogar. De acuerdo con los datos anteriores, es claro que existe una gran cifra de perros callejeros, cifra que crece cada vez más debido a la cruce de perros callejeros entre sí –ya que no se encuentra la mayoría esterilizados- como por el abandono, ocasionado por diferentes factores, entre ellos, el gasto económico que implican [39] y que son adquiridos impulsivamente en épocas festivas al verlos como juguetes, no cumplir con las expectativas idealizadas por los humanos de una mascota, como también por la conducta de los animales, los cuales terminan por ser indeseables para ciertas personas ya que “se portan mal” y la gente no tiene el tiempo o el hábito de educarlos [40-41].

Por lo tanto, es muy importante que el dueño que adquiere a un perro como mascota se responsabilice de él [39] y se recomienda que previamente se haga una investigación de las necesidades de la mascota durante su periodo de vida, como los gastos que implican los cuidados básicos como son alimento, atención médica y accidentes, transporte, entretenimiento, y los generados por los productos adicionales para “consentirlos” [8]. Además de todo lo anterior, es importante esterilizar [55]. para detener el aumento de población de perros callejeros, cuya cifra va en aumento un 20% anual según la AMMVEPE [54].

Así mismo, la presencia de un gran número de perros callejeros conlleva un aumento en problemas de salud para el país, como también de maltrato animal. Aproximadamente, a nivel nacional se recogen 696 toneladas de excremento al día. Tras secarse las heces fecales, se pulverizan y viajan por el aire, lo que provoca enfermedades en los seres humanos al ser inhaladas o consumidas en la comida. Algunas de las enfermedades producidas son la conjuntivitis, salmonelosis o presencia de parásitos estomacales. Según un diagnóstico virológico del departamento de Microbiología e Inmunología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zoología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), existen más de 140 enfermedades que pueden los humanos contraer a través del contacto con perros, de las cuales las más comunes son por medio de perros callejeros, como la sarna y la rabia [55].

Por otro lado, con el abandono también existe sufrimiento por parte de las mascotas no solo de manera emocional por la abrupta separación de su familia, sino también físicamente por el maltrato que llegan a sufrir tanto por las personas al tratar de sobrevivir en la calle al buscar comida y agua, ya que pueden recibir golpes, como también por accidentes vehiculares principalmente. Así mismo, la Norma Federal de Prevención y Control de Enfermedades permite el sacrificio de tanto perros como gatos, sin importar si estos se encuentran completamente

sanos o con alguna enfermedad, lesión, también en caso de no ser reclamados o por una orden judicial escrita [54]. Lo anterior resulta en un control por medio de un “sacrificio sin crueldad” pero directamente se atenta contra la vida de un ser vivo, sea o no por el beneficio de la sociedad. Esta propuesta no acaba con el problema, pues no ataca las causas de abandono y los animales son tratados como desechables.

Una solución más humana y responsable con los seres vivos es la adopción de estos perros callejeros. Existen grupos y campañas que promueven la adopción y la tenencia responsable para la reducción de perros en la calle como también del maltrato que supone vivir fuera de un hogar. Además, el acto de adoptar permite que niños en una familia aprendan a convivir y respetar a otros seres vivos. Algunos de estos grupos son Adopt Arte, Mundo Patitas, Fundación Tomy, Rescate Animal y el Hospital UNAM-Banfield de Mascotas [54-56].

Es importante que existan estas campañas de orientación a futuros propietarios de mascotas para garantizar que la relación entre el dueño y la mascota dure la vida misma del animal. Se debe asesorar a los futuros adoptantes sobre el tipo y raza más apropiada para la familia según características como el tipo de vivienda, el rol que desempeñará en la familia (de vigilancia, compañía, caza, etc.), número de integrantes en la familia, el estilo de vida, las edades y los gastos necesarios para suplir las necesidades básicas de la mascota [24]. El tener a un perro como mascota conlleva una gran responsabilidad como la que se tiene con un hijo, no va solo de ofrecerle comida y techo, sino va más allá, es ofrecerle amor, cuidados y protección en todo momento [55].

Finalmente, el problema también radica en los dueños actuales de mascotas, dado que es importante evitar que realicen el abandono de los perros por algunas de las causas más comunes, fuera del ámbito económico, como son la falta de tiempo (estar largas horas en el trabajo o en otras ocupaciones, como la escuela o la práctica de algún deporte) y de entrenamiento, carecer de espacio, problemas de conducta, ya sea por factores emocionales y/o de mala educación, que es la número uno en México [56-61, 63]. Aun cuando una solución posible a los problemas mencionados es el dejar a la mascota encerradas o amarradas [56, 61-62] durante mucho tiempo, no es lo mejor ni lo más recomendable, ya que se genera estrés crónico, por lo tanto, es necesario continuar con el planteamiento de mejores alternativas para que la mascota pueda desarrollarse y coexistir en armonía en los hogares, especialmente en edificios, dado que no se cuenta con mucho espacio para la mascota.

I.1.B El mercado enfocado a mascotas

En los últimos años se ha presentado un fenómeno conocido comúnmente como “perrhijo”, el cual surge cuando una persona o una pareja joven posterga o rechaza el tener hijos, principalmente por metas personales, ya que prefieren tener perros en lugar de reproducirse o como una especie de preparación previa a la paternidad [64-66]; otra razón por la cual sucede este fenómeno es que los hijos se independicen y los padres presenten el síndrome del “nido

vacío” en el cual los buscan reemplazar con mascotas [67]. Esto se debe a que los perros no conllevan la misma responsabilidad y dedicación como la que necesitan los bebés, en el caso de las parejas que los toman como un entrenamiento para la paternidad o como sustitución de los niños [64, 66]. Este fenómeno se ve relacionado con el hecho de que los perros en las familias, en este caso parejas, pasan de ser más que una mascota de compañía, un miembro de la familia [65].



Figura 1.10 Trato de bebés a los perros domésticos [68-71].

Al ser las mascotas un miembro más de la familia, se puede observar una tendencia a humanizarlas, es decir, el querer darle los mismos privilegios, comodidades o esperar que se comporten de una manera como lo hacen las personas [67]. Por lo tanto, este fenómeno de los perrhijos es una consecuencia de su antropomorfización, por lo que los “padres” de estos “niños” desembolsan su dinero para consentir y mimar a su mascota [8].

El antropomorfismo viene del griego *άνθρωπος* (hombre) y *μορφή* (forma), que sería, que tiene forma humana o parecida al hombre. Por lo tanto, se puede definir “como la atribución de características exclusivamente humanas a cosas u otros entes”. Este concepto es mejor conocido como humanización [72].

Los seres humanos poseen cierta tendencia de sobreprotección hacia sus seres queridos, lo cual es más común hoy en día con las mascotas, especialmente en las mascotas de pequeña talla o miniatura, ya que son considerados “frágiles y susceptibles, que pareciera que nuestros brazos son su único sitio seguro” [73].

Un estudio de la agencia de consultoría Gale, reveló que el 44% de los jóvenes encuestados, en un rango de edad de los 20 a los 36 años, ven a las mascotas como práctica previa a la llegada

de los hijos, y el 21% de ellos lo ven como la principal razón para tener una mascota [66]. Otro estudio que obtuvo resultados similares fue el realizado por la empresa de investigación *Packaged Facts* presentado en el periódico estadounidense *New York Post*, el cual concluyó que los encuestados relacionan el deseo de tener una mascota a una preparación para convertirse en futuros padres, y es una práctica realizada por 7 de cada 10 jóvenes [66-74].

Aunque las personas tengan una mascota, no significa que lo tratan como un perrhijo. Para considerarlo de esa manera existen ciertas características [64, 75-76] como son:

- ✓ Le compra una cantidad considerable de ropa para cierta temporada, accesorios y juguetes.
- ✓ Los perros son sobrealimentados o poseen planes de alimentación minuciosos para su mascota; adquieren alimentos con base en lo anterior, compran alimento *gourmet*, bajo en grasas, orgánico o sin gluten.
- ✓ Hacen convivir a la mascota con más personas que con los de su misma especie, al asistir a eventos familiares, fiestas y convivios, casi siempre en los brazos de sus dueños.
- ✓ Se le lleva a sesiones de fotos, spa, de belleza, guarderías, deportes y otras actividades que antes eran realizadas exclusivamente por humanos, hasta llegar a realizarle fiestas de cumpleaños con regalos e invitados tanto humanos como caninos.
- ✓ Se le permite dormir muy cerca de sus dueños o inclusive dentro de las sábanas, como también estar sobre el sillón y “ver” televisión, entrar al baño y a otros espacios de la casa.
- ✓ Se le llama ya no solo por su nombre, sino por apodos con una carga emocional muy grande y con voz de ternura como “bebé”, “hermoso(a)”, “mi niño(a)”, etc.
- ✓ Es el tema principal de conversación, como también la principal preocupación de su dueño al no estar cerca de él.

Así mismo, el interpretar las emociones de los perros con características antropomórficas, es un signo de su humanización y de tratarlos como perrhijos. Aunque las mascotas también tengan emociones no significa necesariamente que sean igual a las nuestras, de igual forma, aunque el perro es capaz de entender comandos y gestos (lenguaje no verbal) no significa que sean capaces de comprender completamente frases complejas y descifrar lo que las personas les tratan de comunicar [4, 76].

Quizá, una explicación de la humanización se puede dar a través del perfil psicológico de los dueños, los cuales pueden ser personas inmaduras que se quedaron anclados en ciertos aspectos en su vida infantil y buscan su satisfacción por medio de sus mascotas; también pueden ser individuos con carencias afectivas que son proyectadas en sus mascotas, así como personas que sufren de un exceso de soledad o que presentan problemas al socializar [72, 75-76].

De acuerdo con César Millán, conocido entrenador de perros mexicano, el humanizar a los perros provoca un cambio de identidad en las mascotas y restringe su comportamiento natural [73], les genera frustración lo cual les provoca ansiedad, agresividad, miedo e inseguridad. Lo

anterior es debido a que no se satisfacen las necesidades de la mascota sino las del humano, al sustituir con un perro la presencia de un hijo y enfocarse en metas personales, sobre todo profesionales. Además, César Millán considera que el realizar alguna de las actividades que realizan los dueños de los perrhijos, podría ser visto como maltrato animal, aun cuando para las personas no lo sea [77-78].

Otra forma del trato incorrecto que se le ha llegado a dar a las mascotas es su cosificación, es decir, cuando se les ve como un complemento o una moda. No sólo se puede antropomorfizar a un animal, sino también verlo como un objeto; el que haya una tipología de razas es reflejo de la domesticación y de cómo el ser humano manipula a su antojo a otros seres vivos de acuerdo con sus deseos [76].

Por otra parte, debido a la tendencia de ver a los perros como hijos, el interés y gusto de comprar accesorios y ropa para las mascotas ha crecido, y demanda cada vez más productos y servicios, lo que impulsa el mercado, y existen el día de hoy tiendas especializadas en productos para mascotas. [65, 79-80].

Con base en los datos expuestos de Consulta Mitofsky, el hecho de que exista la presencia de una mascota en el hogar no se correlaciona con el nivel socioeconómico de la vivienda [43, 81]. A su vez, esto se refleja en el mercado de las mascotas, pues en palabras del CEO (*Chief Executive Officer*) adjunto de INVivo, empresa dedicada a este mercado, “si eres una persona sin dinero, en Polonia o en Francia no vas a gastar dinero en tu perro, pero en México sí” [79]. A su vez, según el *Pew Research Center*, la generación millennial prefiere invertir más tiempo y dinero en una mascota que otras generaciones, a pesar de ser una generación con más dificultades económicas que las anteriores [82].

En el 2013, con base en la investigación realizada por la agencia especializada en consumo Euromonitor International, el mercado de productos y servicios para las mascotas en México creció en un 10% anualmente desde el 2008, y cerró el consumo en el 2013 con una cantidad de 2,222.8 millones de dólares estadounidenses. En esta investigación se incluyeron la venta de alimentos, ropa, juguetes, servicios veterinarios, estéticas, salones de fiesta, restaurantes, hoteles, servicios fúnebres, spa, entre otros, donde la categoría que concentra la mayor cantidad de consumo es la de alimentos [80]. Un estudio más reciente por parte de la misma empresa aporta datos en el mismo sentido: el negocio de las mascotas en México creció del 76.4% de 2011 a 2017 y se pronostica su aumento en un 38.1% para el 2021 [83].

De acuerdo con el INEGI, se registraron ventas de hasta \$11,652 millones de pesos mexicanos en el 2016 en la producción de alimento para perros, lo que significa el triple de ventas con respecto al 2007 que fueron de \$3,861 [84].

El mercado del alimento para mascotas es el principal, de acuerdo con Nicolás Torino, presidente del grupo Amascota y miembro del Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la nutrición Animal (CONAFAB), las cifras indican que para finales de 2016 el consumo de alimento para mascotas fue de 953,900 toneladas y se esperaba que rebase el

millón para el 2017 [84-85]. Lo anterior se traduce a un incremento en la oferta, a causa de la demanda.

De acuerdo con el estudio de Euromonitor, el promedio del gasto en una mascota en México está entre 3,000 pesos mexicanos mensuales [65, 86-87]. Por otro lado, el estudio realizado por la Universidad del Valle de México (UVM) [88] menciona que se puede llegar a un gasto aproximado de 1,400 pesos mexicanos al mes, donde la comida y la salud son los aspectos de mayor gasto. Sin embargo, este gasto se puede elevar ya que la gente puede llegar a gastar hasta más de 1,000 pesos simplemente en un aspecto como es la comida, atención veterinaria, juguetes, limpieza, entre otros.

De igual forma, el mercado de productos y servicios de mascotas se ha diversificado y va en aumento, al ir desde lo más simple con los locales denominados *petfriendly* [65, 89] que van desde restaurantes, comercios, hoteles, cines, taxis hasta en oficinas, lo cual resulta ser muy atractivo para los dueños, ya que pueden llevarlos a todos lados sin tener que dejarlo en casa o fuera de la tienda, y así permanecer más tiempo en sus instalaciones. Además, existe el beneficio para los establecimientos ya que funciona como incentivo para nuevos clientes o para reforzar el hábito de consumo por parte de los clientes constantes.

Por otra parte, el mercado para mascotas, ya no se enfoca exclusivamente en ámbitos como el alimento o medicina veterinaria, incluso juguetes; ahora se ha expandido y podemos encontrar una gama de servicios y productos para mascotas que antes solo eran enfocados a las personas [79-80, 86, 90], tales como:

-  Accesorios
-  Disfraces y ropa de moda
-  Ejercicio (Karate, pilates, *water fitness*)
-  Entretenimiento (sesión de fotos)
-  Funerarias
-  Guarderías
-  Hoteles y pensiones
-  Restaurantes, bares, heladerías, cafés para perros
-  Salones de fiesta
-  Seguros para mascotas
-  Servicios móviles y a domicilio de estética
-  Spa y *grooming*

Lo anterior es en cuanto al mercado enfocado a las necesidades de los dueños, que se concentran en actividades humanas.

Por otro lado, el mercado de las necesidades de los perros incluye la alimentación y su salud con el fin de satisfacer sus necesidades básicas, para mejorar su calidad de vida y prolongarla. Inclusive los juguetes entrarían en este mercado, cuando ayudan a mantener la dentadura de los

perros en buen estado, al asemejar el papel que harían los huesos; otro ejemplo serían las pelotas y las cuerdas, ya que a los perros les gusta ejercitarse al perseguirlas -en el caso de la cuerda al morderla- y es una manera de convivir sanamente al pasar tiempo de calidad con la mascota. El instinto de jugar de las mascotas es un signo de interacción con su medio, además de ser el primer vínculo de interacción entre la mascota y su dueño [91-93].



Figura 1.11 Humanización de las mascotas [70, 94-96].

En el campo de la salud de las mascotas, encontramos incluso una profesión, la medicina veterinaria. Esta área del conocimiento, así como muchas otras, tiene sus orígenes hace ya bastante tiempo, desde las primeras civilizaciones, de las cuales se tienen registros de representaciones sobre la domesticación de los animales. Como consecuencia de la domesticación nació la preocupación sobre la salud de los animales que eran en esos tiempos utilizados como fuerza de trabajo, por lo tanto, se empezó a estudiarlos para poder aumentar su esperanza de vida o para curarlos de enfermedades o accidentes, así como solucionar sus problemas de reproducción y alimentación [97-99].

Al evolucionar los humanos junto con los perros, creció con el tiempo el lazo que los une y como se ha dicho anteriormente, ahora los perros no son solamente vistos como una “herramienta de trabajo”, sino son considerados miembros de una familia y por consiguiente se les cuida, por cariño y afecto, no solo por la preservación de su fuerza de trabajo [99].

La Medicina Veterinaria es ahora definida como la “profesión responsable de, entre otras actividades, promover y mantener la producción y la salud animal, evitar la transmisión de enfermedades de los animales al hombre, garantizar la producción de alimentos de dicho origen, sanos y de calidad; asegurar la sustentabilidad de los sistemas de producción animal, sin el deterioro de los recursos naturales renovables y no renovables, participar en la generación de investigación biomédica y en lo relativo a la producción animal.” [100].

De acuerdo con la definición anterior se puede desprender que al cuidar de los animales se ve por los humanos y su salud, es decir, con las vacunas se trata de evitar contagios en las personas. Por otro lado, se benefician los animales de compañía, ya que se busca la preservación de su vida y que se encuentren en un buen estado de salud.

Por lo anterior, ha existido una gran inversión en la medicina veterinaria que se puede observar con la incorporación de equipo [101], técnicas y nuevas tecnologías que antes se pensaba solamente para el beneficio de los humanos, los cuales también han tenido buenos resultados en los animales. Sin embargo, también hay inversión dirigida exclusivamente para los animales por medio de la investigación contra las enfermedades y padecimientos de los animales, como las vacunas para prevenirlas o la aplicación de fármacos para contrarrestar los efectos de las enfermedades [102].

En este campo podemos mencionar como ejemplo de tecnologías que antes eran exclusivas para la medicina de seres humano a los ultrasonidos [103], transfusiones sanguíneas [104], ozonoterapia [105], endoscopia diagnóstica y terapéutica [106], terapia con células madre [107] y utilización de aparatos de Rayos X [108] entre otros [109], que ahora también se aplican a los perros y otros animales.

Un ejemplo del resultado directo de la constante investigación en la medicina veterinaria es el aumento de la esperanza de vida de los perros hasta los 20 años, que depende claramente de su raza, tamaño, su ambiente y el cuidado de sus dueños. Así como las vacunas son medicina preventiva para los humanos en los animales es lo mismo; gracias a ellas se han podido controlar enfermedades y evitar que se den tanto en humanos como en animales para salvar vidas [88].

En cuanto al impulso de la tecnología junto con la medicina, se encuentra el desarrollo de prótesis para rehabilitación de los miembros de las mascotas, las cuales también sufren discriminación, maltrato y abandono por no poder realizar correctamente sus actividades y la alta responsabilidad que conllevan. Algunas prótesis son comercializadas por empresas especializadas, principalmente extranjeras, mientras que otras son desarrolladas por universidades, donde la impresión tridimensional o 3D es el proceso de manufactura actualmente más utilizado [110-117]. Otro ejemplo son los marcapasos, que han sido introducidos a los perros con enfermedades cardíacas, al registrar excelentes resultados debido al procedimiento menos invasivo, a comparación de como era antes [118-121].

Un servicio que ha surgido en los últimos años es el de los paseadores de perros, trabajo reconocido en la Ciudad de México por la Secretaría de Trabajo y Fomento al Empleo, los cuales asisten a los dueños que se encuentran con un horario y estilo de vida marcado por muchas horas de trabajo y poco tiempo libre. Sin embargo, este tipo de servicio es benéfico en la salud de los animales, ya que pueden ejercitarse por más tiempo diariamente, además de ser de una de las actividades que más disfrutaban los perros, y que no es un capricho, sino que los dueños son conscientes de que como ser vivo necesita de esta atención [122-126].

Las escuelas de adiestramiento ofrecen el servicio de auxiliar en la educación de las mascotas para que éstas puedan convivir y comportarse al interactuar o estar rodeadas de personas o perros, factor que genera un estado de estrés [127] en las mascotas si no tuvo una correcta etapa de socialización en sus primeros meses de vida [5, 128]. Estas escuelas son excelentes para aquellos dueños que carecen de tiempo o que no tienen la idea de cómo hacerlo. Además, existen escuelas para el adiestramiento especializado para ayudar a personas con discapacidades [125, 129-130].

Finalmente, otro sector importante a destacar es de la revisión del estado físico de la mascota -el cual ya es posible hacerlo desde la comodidad del hogar- y el control sobre ella, es decir, la localización, supervisión de su actividad y obtención de información básica de la misma, por parte del dueño y en caso de ser requerida por autoridades. Entre los productos existentes que tratan los puntos anteriormente mencionados se encuentra el microchip, un pequeño dispositivo electrónico dentro de una “cápsula de vidrio biocompatible del tamaño de un grano” [131] el cual es colocado de manera subcutánea y posee información general sobre el perro, registro de vacunas e información sobre el dueño y de contacto. Este dispositivo ha resultado ser muy útil cuando las mascotas se escapan o se pierden en las ciudades. Actualmente en la Ciudad de México, con el fin de reducir el abandono de mascotas, la Asamblea Legislativa del Distrito Federal aprobó en el año 2015 la aplicación obligatoria de los microchips en perros y gatos y su debido registro en el programa del Registro Único de Animales de Compañía de la Ciudad de México [132-135]. Esta incorporación también está presente en otros países y es requerida en sus normas sanitarias [131].

Existen además collares [136-141] que cuentan con funciones para obtener información con respecto a la frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura, tiempo de sueño, actividad y de juego, niveles de estrés, calorías quemadas, distancia recorrida, entre otros, como también poseen *GPS* (Sistema de posicionamiento global) para la asistencia cuando el perro está de paseo o cuando se haya escapado. Por otro lado, existen también dispositivos que permiten supervisar y comunicarse con la mascota, cuando se encuentra el dueño a distancia, con el fin de observar la actividad al encontrarse sola.

Lo anterior se relaciona con el hecho de que nuestras mascotas no hablan, por lo que es complicado obtener información de ellos de manera directa, mientras que, con los productos mencionados, es más fácil para su dueño comprender el estado de la mascota y su bienestar, y en caso de existir un problema acudir con el veterinario.

El problema de considerar a los perros como hijos es que se convierte una patología, debido a una dependencia o simbiosis excesiva que altera la vida cotidiana de los dueños al preocuparse de sobremanera por satisfacer las necesidades de sus mascotas [64, 75], mismas que son creadas por los mismos dueños al humanizarlos y complejizar su estilo de vida, es decir, se piensa que el perro pueda necesitar ir a un spa y estar estresado, cuando en realidad solo necesitaría ejercitarse un poco al correr tras una pelota. A partir de lo anterior, con solo cubrir sus necesidades básicas, como los son su alimentación, buena salud, un lugar de resguardo y

espacio para poder moverse y realizar actividades propias de su especie, se satisface correctamente el estado de bienestar que una mascota necesita, sin caer así en los excesos [67].

Existen productos y servicios que han permitido mejorar claramente la vida de las mascotas en general, desde la aplicación de la medicina veterinaria y la tecnología para curar enfermedades, lesiones, prótesis de rehabilitación y ofrecerles una calidad de vida mejor, como también alimentos que permitan satisfacer sus necesidades nutrimentales para poder desarrollarse en todas las etapas de su vida. Así mismo, un perro podría vivir bien sin un disfraz de moda, sin ir al spa y sin tener una fiesta de cumpleaños con piñata, pastel e invitados; es decir, la humanización de las mascotas solamente ha creado gastos innecesarios en actividades o productos que hasta podrían incomodar a la mascota [75] o hacerla entrar en conflicto con su identidad [78], pues ya no se le piensa como perro y, en consecuencia, no es tratado tal.



Figura 1.12 Avances en la medicina veterinaria [142-145].

Esas necesidades creadas que llevan a gastos elevados en las mascotas son también “artimañas comerciales” [75], las cuales solo ven un beneficio económico al disfrazarlo de un bienestar para los perros, ya que terminan por generar un daño al exigirles comportamientos que nos son propios de su especie [67].

1.2 Ansiedad por separación

La ansiedad en los perros es “la condición de experimentar conmoción, intranquilidad, nerviosismo o preocupación. Más que ser una situación aislada es un conjunto de signos que se

manifiestan de diferentes maneras tanto en el comportamiento, como en señales físicas y fisiológicas del animal” [146]. Este sentimiento implica “inquietud o aprehensión, que depende de la habilidad para predecir un riesgo futuro, basado en estímulos recientes y en experiencias previas” [62, 147]. La ansiedad forma parte de las principales causas de alteración de la conducta junto con el estrés y el miedo [73].

Los perros son una especie social que invierte mucho tiempo en proximidad de otros individuos, “en el caso de los perros, del 43 al 85% de su tiempo permanecen a menos de 50 pulgadas uno del otro” [18]. Por lo tanto, cuando se inserta en una familia, el perro la ve como una manada [15, 148], pero su conducta de permanecer en contacto bastante tiempo con la familia se ve imposibilitada, ya que las personas tienen actividades como el trabajo, la escuela, etcétera, que no permiten pasar el tiempo que espera el perro juntos. Así mismo, cuando son aislados del contacto humano en transportadoras, patios y jardines, se produce sufrimiento al ser algo antinatural para ellos [8].

Como ya se había mencionado anteriormente, los perros son animales sociales y han heredado de los lobos la convivencia en grupo, lo cual les brinda seguridad. Sin embargo, cuando un perro se encuentra con una familia puede presentarse que la relación entre el dueño y su perro sea equivalente a la padre-hijo –que en los lobos no se presenta- y que genera la presencia de conductas inmaduras en animales adultos (neotenia), lo que los hace dependientes de sus dueños [5, 15].

Así, cuando los perros se quedan solos en casa por varias horas se pueden angustiar con esta separación, ya que cree que fue abandonado, lo que desencadenara una serie de comportamiento como el llanto, ladrido durante todo el periodo en que este solo, lo cual puede aumentar a algo más grave como defecar u orinar dentro del hogar o destruir cosas a su alcance que no son de él [149]. Cuando los perros viven en departamentos hay mayor probabilidad de que padezcan ansiedad por separación [150].

Por lo tanto, la ansiedad por separación es una conducta derivada del hiperapego o apego excesivo [150-152], que se da cuando la mascota no entra en contacto con la figura de apego [15, 150, 153], es decir, su(s) dueño(s), ya sea porque se haya ido a trabajar o cuando, el dueño se encuentra dentro de la propiedad, y la mascota no puede estar junto a él lo que le provoca miedo y angustia [5, 73, 147]. Este padecimiento se encuentra entre el 20% y el 40% de las consultas en etología canina con respecto a otros problemas de comportamiento, el cual se presenta cuando existe una relación muy cercana entre el dueño y el perro, ya que este último no ha aprendido a estar solo [15, 73, 154].

No hay que confundir la ansiedad por separación con el apego, ya que el segundo es normal y necesario para la sobrevivencia de un animal, ya que es una consecuencia de la domesticación [150]. En cuanto al hiperapego, éste es una exacerbación de esta conducta, la cual conduce a una dependencia exagerada por parte del animal con su dueño [151]. Esta conducta está relacionada al antropomorfización ya que, el dueño tiende a atribuirle “características, intenciones y emociones equiparables solamente al humano” [147].

Las edades más frecuentes en las que se presenta este problema son en perros jóvenes y ancianos, pues en los primeros puede ser a causa del hiperapego y en los segundos se debe a que gradualmente se pierden las capacidades sensitivas y generan mayor dependencia al dueño, ya que necesitan más atención [15, 148]. Los perros pueden tener una predisposición genética para desarrollar esta condición, ya que han sido criados para ser socialmente dependientes e infantiles [152].

Por otra parte, los gatos también pueden presentar ansiedad por separación, aunque no por los mismos factores que los perros, ya que su evolución ha sido diferente [15, 148, 155]. La relación de un gato con una persona es distinta, el gato ve a su dueño como alguien que le provee de comida y con quien no tiene que competir por ella, en consecuencia, crea una dependencia [15, 155].

Sin embargo, existe aún discusión sobre si los gatos sufren o no ansiedad por separación, ya que presentan conductas que indican un nivel de apego menor al de un perro, hasta llegar a serle indiferente si su dueño está presente o no [15, 155]. No obstante, existen estudios sobre el comportamiento felino en donde los resultados indican que presentan comportamientos similares a los de los perros que sufren ansiedad por separación [151]. El hiperapego en los gatos es producido porque sus dueños atienden de manera excesiva el comportamiento de búsqueda de atención que presenta sus gatos [151].

La ansiedad puede aumentar cuando el perro consigue algo sin ningún esfuerzo [73].

La ansiedad es un signo que indica estrés, el cual se produce cuando el perro no se adapta a la ausencia del dueño. Los siguientes comportamientos que indican el padecimiento de ansiedad por separación se presentan exclusivamente cuando el dueño está ausente en el hogar [5, 15, 73, 147-148, 150-152, 156]:

-  Marcada disminución de la actividad o depresión, acompañada de anorexia (falta de apetito)
-  Aumento de la actividad, especialmente de la conducta exploratoria. A menudo se convierte en conducta destructiva dirigida hacia las pertenencias del propietario o hacia la casa (puertas, ventanas o paredes)
-  Aumento de vocalizaciones (ladridos, gemidos y aullidos)
-  Eliminación en lugares no deseados (ya sea orina o heces)
-  Autolesiones
-  Intentar escaparse
-  Temblores

Los comportamientos relacionados con la ansiedad por separación en perros suelen presentarse en los primeros 20-30 minutos después de que el dueño haya dejado sola a la mascota, incluso hasta la primera hora [15, 147-148, 150, 157]. Sin embargo, cuando a los perros se les puede dejar más de una hora es seguro dejarlos por más tiempo [156].

Así mismo, la ansiedad provoca que los perros sean inestables, mordedores, temerosos y poco sociables [146]. Adicionalmente, si el perro tiene una baja actividad física y mental junto con una vida sedentaria y monótona, provocará aburrimiento, estrés y ansiedad, lo que potenciará las conductas anteriormente señaladas [37].



Figura 1.13 Algunos signos de ansiedad por separación [158-161].

Por otro lado, un saludo efusivo hacia el dueño cuando éste regresa al hogar es un comportamiento claro de que un perro presenta ansiedad por separación, así como permanecer al lado de su dueño por mucho tiempo y justo antes de que éste se marche [147, 150, 152], junto con la aparición de comportamientos como jadeo, “congelamiento”, moverse constantemente e incluso en círculos (inquieto), esconderse, depresión y chillidos [15, 148, 150, 152]. La evidencia de que alguno de los comportamientos mencionados anteriormente cuando el dueño no se encuentra presente junto con la presentación de aquellos realizados en presencia de él son signos de ansiedad por separación [15, 150, 152].

Algunas de las señales de estrés que presenta un perro son [73]:

- 🐾 Jadear
- 🐾 Lamer obsesivamente
- 🐾 Bostezar

Aunque son síntomas de estrés, también se presentan al experimentar ansiedad, ya que un perro no jadea solamente cuando tiene calor ni cuando haya realizado una actividad; por otra parte, el bostezo es consecuencia del jadeo pues no se oxigena de manera correcta. Además, lamerse

obsesivamente se presenta sobre los labios, alguna parte del cuerpo o puede parecer que lame el aire [73].

En cuanto a los gatos, esta especie puede presentar también comportamientos como [15, 151]:

-  Permanecer en un mismo lugar sin hacer nada por periodos prolongados
-  Orinar y defecar en otro sitio que no sea su caja de arena
-  Comer poco
-  Destrucción de mobiliario o cosas dispersas
-  Vómito y salivación
-  Maullidos y chillidos

Al ser estos signos menos evidentes que los del perro el dueño puede llegar a pasar desapercibido que el gato sufre ansiedad [151, 162], debido a que éstos se “congelan” y permanecen inmóviles en el sitio en que se quedaron cuando su dueño abandonó el hogar, y parece que la mascota en realidad se encontraba “dormida” [151]. Algunos signos de este comportamiento son los siguientes, además de ser indicadores de depresión:

-  Permanece en el mismo lugar cuando el dueño se va y regresa del hogar.
-  No hay muestras de que haya comido o bebido.
-  No ha orinado ni defecado

Sin embargo, hay problemas ocasionados debido a las conductas señaladas como la pérdida de peso, pelaje en malas condiciones, reducción en la ingesta de alimentos, lesiones autoinflingidas y comportamiento obsesivo-compulsivo [15, 151]. Debido a que los gatos pueden dejar de comer bien, esto puede provocar enfermedades de tipo metabólico, las cuales pueden no ser manifiestas inmediatamente, aunque sí más pronto en comparación con los perros [15].

Como ya se mencionó previamente, los problemas de conducta que han afectado la relación entre la mascota y su dueño son la causa número uno de abandono o eutanasia [63, 150-152, 163].

Los cambios repentinos en las rutinas de la mascota son factores detonadores de estrés, ansiedad, alteraciones de su comportamiento, e incluso automutilación o problemas obsesivos compulsivos: también se pueden llegar a presentar enfermedades -como hipertensión, gastritis, colitis y úlceras estomacales- ya que el organismo se inmunodeprime [164].

Estos cambios en la rutina se pueden presentar debido a modificaciones en la rutina, vacaciones [149], remodelaciones o cambio de casa, la llegada o partida de un nuevo miembro de la familia- así como de un perro, [150, 164], divorcio, cambios en los horarios de trabajo, incremento en los viajes del dueño sin el perro, un perro nuevo, confinamiento accidental [152] o cualquier situación que rompa con el esquema establecido. Entre más ambiguo sea el ambiente en el que se encuentre, como también las señales que reciben del ambiente y de los dueños, más ansiedad se generará [4, 146].

Otra causa de la ansiedad por separación es la mala comunicación entre el perro y su dueño, es decir, el perro no interpreta de la forma que el dueño quiere una respuesta a su conducta aunado a la insistencia y en no dirigirse a ellos de una manera adecuada. Por ejemplo, si el dueño se va de la casa y el perro empieza a ladrar porque ya no lo ve, cuando la respuesta es regresar y hablarle bonito o acariciarlo, esto refuerza esa conducta, pues el perro recibe, desde su perspectiva, una respuesta positiva, aunque el dueño piense que es para calmarlo y poder irse tranquilo [4, 16, 165-166].

En este mismo sentido, así como puede haber una mala interpretación por parte del perro, la puede haber por parte de las personas, por lo que es importante observar y aprender los diferentes sonidos y ladridos que un perro puede hacer y diferenciarlos además de reconocer en qué situación se presentan. También es importante observar su lenguaje corporal ya que por sus posturas podemos identificar y comprender de mejor manera lo que nos quiere comunicar [28].

Otra reacción del dueño es que las acciones realizadas durante su ausencia fueron por venganza, cuando en realidad fue por sufrir ansiedad por separación y sentir miedo al tratar de buscar a su figura de apego [15, 147, 149, 151].

La ansiedad puede presentarse cuando el perro no tuvo una buena socialización, ya sea con otros animales o personas, en una edad temprana. Por lo tanto, el perro será poco sociable y tenderá a ser inseguro, muy dependiente del grupo del que forma parte; el cachorro solitario no sabrá cómo establecer vínculos de manera correcta con nuevos individuos que se presenten, sentirán miedo e inseguridad lo que generará ansiedad, lo que se traduce en comportamientos destructivos para llamar la atención y procesos fisiológicos relacionados con el estrés (eliminación inapropiada) [128, 167].

Aun cuando se ha realizado diversos estudios sobre las causas de la ansiedad por separación, algunos suelen tener resultados contradictorios. Por lo tanto, no pueden establecerse como causas del problema el sexo de los perros, consentir a la mascota como al compartir el mismo espacio de descanso, el número de adultos con el que conviva o si no hay niños presentes, el sexo del dueño [150, 152]. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que la ansiedad por separación se ha presentado en mayor porcentaje en perros machos, aquellos que duermen en camas y sofás, que conviven solamente con un adulto [152], aún más cuando sus dueñas son mujeres [150].

Así mismo, es importante diferenciar a las mascotas que sufren ansiedad por separación, es decir, miedo a estar solo, de aquellos que son hiperactivos y por falta de ejercicio tienden a tener una conducta destructiva (esto ocurre principalmente en cachorros o razas con mucha energía) y de los que tienden a asustarse fácilmente por factores externos como son el ruido, dado que los perros pueden estar en alerta a algo que ellos consideran un peligro potencial; sin embargo, los perros que sufren ansiedad por separación son más propensos a presentar fobia al ruido [15, 150, 152]. Aunque, en cachorros, la ansiedad disminuye poco después de haber sido adoptados [150].

Los perros que pueden presentar mayor tendencia a sufrir ansiedad por separación son aquellos que han sido abandonados y recolocados con nuevos dueños, pues crear un nuevo lazo entre el perro y su dueño nuevo toma tiempo, ya que cuando el dueño se vaya de la casa el perro lo puede interpretar como de nuevo abandono lo que detona el que aparezcan los comportamientos de este problema. Lo anterior se presenta porque los eventos que haya vivido quedan almacenados y pueden ser evocados y causar ansiedad [5, 62, 148, 152]. Estos eventos dejan una marca permanente en el patrón de conducta de la mascota, y se le conoce como *imprinting* [5].

En consecuencia, se puede terminar en el abandono de la mascota de nuevo, por acciones que esta hacía para evitarlo y el dueño nunca comprendió [15]. También, la ansiedad puede presentarse en aquellos perros que provienen de “perreras, protectoras, laboratorios, de la calle”, que hayan sido destetados demasiado pronto [150, 156] o de refugios, así como en un caso particular en donde el perro haya vivido con un dueño que padeciera alguna enfermedad o de edad avanzada, el cual pasaba todo el tiempo con la mascota [15].

Finalmente, este problema se puede evitar con la prevención mediante la creación de rutinas, que el perro aprenda que las integraciones siempre serán a iniciativa de la personas y no del perro, dejar que la mascota tenga un espacio propio en el cual se sienta seguro y que no haya sido castigado, así como dedicarle mucho tiempo en su adaptación, educación y el contacto social (con otros perros, humanos y otras especies) además de la actividad física y mental [15, 152].

I.2.A Auxiliares para reducir la ansiedad por separación

Hay que tener en cuenta que para resolver esos cambios conductuales relacionados con la ansiedad por separación implican un doble esfuerzo al trabajar consistentemente con la mascota para redirigir el comportamiento inapropiado hacia actividades más adecuadas [73]. Adquirir otra mascota, no es una solución [15]. Ante la detección de algún signo de ansiedad por separación de la mascota, es importante siempre consultar a un etólogo, es decir, un especialista en comportamiento animal [5, 37].

Como parte de la rehabilitación de un perro por ansiedad por separación de un perro, el primer paso es la educación del dueño, es decir, recibir información por parte de especialistas sobre su mascota -conducta, causas, correcta interpretación de su comportamiento-, así como los posibles tratamientos y el más adecuado conforme el diagnóstico [148].

A continuación, se mencionan algunos métodos documentados que permiten reducir la ansiedad por separación en los perros domésticos, éstos abarcan el uso de sonidos, prendas, olores, etc.

I.2.A.a Rutinas

El establecimiento de la rutina produce relajación en el perro, esto implica que la mascota tenga claro el orden que se producen las actividades a lo largo de día, como cuando su dueño va al trabajo, cuando es momento de comer, pasear, jugar y descansar. Los perros no saben sobre la existencia de horarios ni calendarios, sin embargo, ellos por medio de patrones asocian las actividades que se desarrollan durante el día. Para un perro no significa nada comer a las 7 de la mañana, por el contrario, la actividad del desayuno lo asocia al momento en que ocurre, el cual normalmente se desarrolla después de que su dueño despierte o después del paseo matutino [15, 164]. Con respecto al ejemplo, investigadores han encontrado una relación entre la presencia de ansiedad por separación y el no establecimiento de una rutina -específicamente con respecto a la comida- como es con aquellos perros que tienen acceso a comida todo el día, en lugar de tener momentos determinados para ello [150].

Esta forma de ver los horarios de la rutina es como se llevan a cabo los acontecimientos, por parte del perro se debe a los comportamientos previos a una acción del dueño [164], es decir, el perro asocia la hora de dormir cuando el dueño se va a la cama en la noche, entiende que tiempo de paseo es cuando el dueño agarra la correa o que la partida del dueño del hogar es cuando agarra las llaves del coche.

De igual forma, el perro asocia la partida del dueño cuando éste agarra las llaves, se pone los zapatos, se pone algún abrigo o mochila, o simplemente abre la puerta, lo que puede causar ansiedad en los perros minutos antes de la partida de su figura de apego [147-148, 152]. Por lo tanto, estas conductas hay que repetirlas aun cuando no se vaya a salir para evitar que lo asocie con la partida del dueño [157].

El perro se sentirá seguro al tener la certeza de qué va a pasar en el día; esto se traduce en que no presentará ansiedad o nerviosismo, se sentirá a salvo y seguro, dispuesto a cooperar [15, 38, 128, 148, 164]. No hay edades para aprender rutinas en los perros, por lo tanto, si se trata de un perro adulto no hay problema en establecer una rutina, no es algo exclusivo para cachorros o perros jóvenes, todo se basa en la constancia y consistencia con que se practique [168].

La importancia de las rutinas en cuanto a la ansiedad por separación es que el perro aprende a identificar cuando el dueño se va de la casa y, lo más importante, que regresa ya que es una situación predecible para la mascota [15].

I.2.A.b Interacción social

Una opción para mejorar la conducta de un perro es que socialice más con otros perros y más personas de todas las edades [162]; con esto él aprenderá a convivir y al no estar sobreprotegido será un perro seguro y sin miedos [169].

En el periodo sensible de los perros (de los 21 días de nacidos hasta la semana 12 o 13 de vida aproximadamente) es clave para determinar la conducta social de la mascota. Es cuando la mascota recibe toda la información social de su entorno, es decir, “el sistema nervioso recibe toda la información que necesita para interactuar con individuos de su misma especie y con otras especies”. Por lo tanto, este periodo se marca por la aparición y desarrollo de una respuesta de miedo controlado frente a todo tipo de estímulos recibidos [5].

Se recomienda que al adquirir un perro y sea cachorro, se lleve a cabo unos procesos de interacción social, que incluyan experiencias con otros animales y con más personas, preferentemente de los 5 a los 10 meses de edad, y si se puede antes mejor; el juego y actividades fuera de su hogar son importante para que sea introducido a una variedad amplia de circunstancias [150].

Es importante mencionar que para la mascota después del periodo sensible, es importante mantener el contacto con otros perros y personas, ya que la socialización no termina en esta etapa y, por el contrario, el aislamiento puede desencadenar un proceso de desocialización [5].

I.2.A.c Gastar energía física

Cualquier actividad que requiera una gran cantidad de energía, tal como el ejercicio, correr, saltar o mediante una serie de juegos comunes como: lanzar una pelota, perseguir o tirar de una cuerda. En otros casos, cuando el dueño no tenga tiempo para ejercitar a la mascota, se puede hacer uso de los juguetes interactivos, los cuales permiten entretener a la mascota por períodos prolongados, más cuando son juguetes que pueden contener alimento e implican un reto para los perros; aunque no es un ejercicio totalmente aeróbico, estos juguetes permiten aumentar la actividad física y mental de la mascota [61, 38, 128, 151, 169].

Como se mencionó anteriormente, los primeros 20-30 minutos en los que la mascota se encuentra sola son en donde se presenta ansiedad, por lo que dejar a la mascota entretenida con algún juguete, y más aún uno que contenga algo de comida que llame su atención, ya que lo mantendrá ocupado el tiempo suficiente y no se enfocará en la partida de la persona. Sin embargo, se debe evitar que el juguete que se da no se relacione con la partida del dueño, por lo que debe ser algún juguete que use con frecuencia y en diferentes situaciones [148, 157].

Un ejemplo puede ser los *puzzle feeders*, los cuales son juguetes diseñados para prolongar el tiempo de comida de la mascota mientras realiza una actividad mental al resolver el mecanismo para obtener el alimento [162]. Otro podría ser la gama de juguetes de la marca *Kong*, los cuales incluye desde juguetes masticables para diferentes tamaños y tipo de mordidas, como también aquellos que poseen orificios para introducir comida o premios [157, 162].

Además, es recomendable hacer una rotación de los juguetes que se le deja a la mascota ya que se puede llegar a aburrir y no verlos interesantes después de un tiempo. El repertorio de juguetes

de la mascota debe tener una gama variada de formas y tamaños para que le sean llamativos [162].

Cuando un perro juega, libera el exceso de energía, esto va a prevenir que ésta sea canalizada a destruir cosas dentro de la casa ya que se encontrará en un estado de relajación y equilibrio; los juegos que impulsan a buscar, arrastrar y perseguir satisfacen sus instintos y consolidan el vínculo entre la mascota y su dueño [37-38, 170].

Se recomienda de 30 a 60 minutos de ejercicio previo a que el dueño salga del hogar y deje solo al perro [61]. Además, otro beneficio del juego es que en el desarrollo de éste en contacto con el dueño se le puede instruir, dado que es por este medio que desde cachorros aprenden a seguir reglas de convivencia [37-38].

Es por medio del juego que se da un desarrollo motriz, educativo, emocional y social en las mascotas, por lo que debe ser incluido en la rutina diaria de la mascota [38].

I.2.A.d Terapia de modificación de la conducta

Este tipo de terapia se basa en ejercicios sencillos y nuevas normas para cambiar la relación de dependencia entre el dueño y la mascota [15, 62, 73].

Una de estas terapias es la desensibilización de las mascotas, la cual es similar al tratamiento de fobias en humanos, que involucra la experimentación de sucesos que provocan miedo, pero en menor intensidad y de manera controlada, al aumentar la intensidad gradualmente [150]. Esta terapia da como resultado la “pérdida progresiva de respuesta ante un estímulo que se repite en el tiempo” [5].

Esta terapia involucra la experimentación de sucesos que desencadenan una respuesta indeseable, pero en menor intensidad de manera controlada, se repiten y aumenta la intensidad gradualmente [150, 166], lo que tiene como resultado la “pérdida progresiva de respuesta ante un estímulo que se repite en el tiempo” [5].

El primer paso es identificar el estímulo que provoca fobia en la mascota seguido de la determinación de un gradiente de exposición al estímulo y finalmente su exposición a bajas intensidades de acuerdo con el nivel de tolerancia del perro. Con esto, la mascota experimenta el estímulo repetidamente de manera tal que en cierto punto deja de responder de manera indeseada y presenta un estado de relajación a lo que antes llegó a producir ansiedad [166, 171].

En el caso de los perros, se los deja en una habitación separada de su dueño por periodos cortos, para luego reentrar a los pocos segundos para premiar y felicitar a la mascota; así se continúa con el incremento del tiempo de separación hasta lograr que el perro pueda permanecer solo [150, 156]

La terapia de desensibilización sistemática se apoya en el condicionamiento operante al utilizar el refuerzo positivo, que es cuando se provoca que el estímulo que provoca miedo se relacione con una respuesta hedonística (comúnmente implica los premios o comida), lo cual se logra con técnicas de condicionamiento [148, 150].

El refuerzo positivo estimula de manera efectiva la reducción de la ansiedad en perros, a diferencia del castigo por medio de la violencia, el cual termina por empeorar las cosas principalmente porque es aplicado a destiempo y genera estrés en los perros [150, 172]. Es por esto por lo que el refuerzo positivo es utilizado en terapias y durante el entrenamiento de la mascota [150].

El adiestramiento incluye ejercicios de obediencia básica, donde el perro aprenda a seguir órdenes [5]. El éxito de las terapias depende de la perseverancia, paciencia y dedicación por parte de los dueños, ya que implican un trabajo constante [147-148, 150].

I.2.A.e Medicación

Más que un tratamiento único, la medicación sirve como apoyo para modificar la conducta de la mascota [62-63, 163]. Para lograr equilibrar el sistema nervioso de las mascotas, se considera a la terapia floral, la homeopatía, la aromaterapia clínica, entre otras. [73] En casos graves incluso se puede llegar a utilizar fármacos como los ansiolíticos [15, 147].

En Estados Unidos de América, hay dos tipos fármacos antidepresivos aceptados para el tratamiento de la ansiedad por separación y que también son de uso humano, la Clomipramina y la Fluoxetina, con nombres comerciales Clomicalm y Prozac, respectivamente [150].

Este tratamiento puede resultar contraproducente para las mascotas si no se administra de la manera adecuada y bajo prescripción médica. Algunos de los efectos secundarios que pueden causar los antidepresivos y ansiolíticos, según su dosis y si están mezclados, son los siguientes [150]:

-  Depresión
-  Letargo
-  Vómito
-  Pancreatitis

Por lo tanto, es más recomendable una terapia de conducta adicionalmente, es decir el refuerzo positivo y la desensibilización de las mascotas, ya que los medicamentos por sí solos no eliminarán la ansiedad [150].

En México, se recomienda además el uso de feromonas, como es la liberada por ADAPTIL, el cual es una copia de la feromona del apaciguamiento canino (*DAP* por sus siglas en inglés *Dog*

Appeasing Pheromone), y es liberada por la madre de los cachorros entre los 3 y 5 días posteriores al parto, la cual proporciona tranquilidad y sensación de seguridad. Este tipo de feromona se puede suministrar a la mascota mediante un *spray*, como también al usar un collar o un difusor eléctrico [147].

Sin embargo, también se pueden llegar a utilizar sedantes de la familia de las Fenotiacinas (acepromacina, propionilpromacina) y Benzodiacepinas (Diacepam), estas últimas son ansiolíticos e hipnóticos a su vez [5].

MEDICAMENTOS USADOS EN LA TERAPIA FARMACOLOGICA EN ETOLOGIA CLINICA VETERINARIA				
NOMBRE GENERICO	MECANISMO DE ACCION	NOMBRE FARMACO	DOSIS VIA FRECUENCIA	INDICACIONES
Fenotiacina	Bloqueo de los receptores de Dopamina	Acepromacina	0.05-0.1 mg/kg	Sedante, Uso descontinuado en Etología Clínica Veterinaria
Benzodiacepinas	Agonistas del Acido Gamma Amino Butírico (GABA)	Diazepam Midazolam Alprazolam	0.2-0.5 mg/kg 0.2-0.5 mg/kg 0.0125-0.025 mg/kg	Dosis bajas: calman la excitación Dosis media: ansiolíticos, facilitan la interacción social, FOBIA A LOS RUIDOS Dosis altas: hipnóticos, facilitan el sueño En general, facilitan la relajación muscular
Inhibidores de la Monoamino Oxidasa	↑ niveles de Dopamina, Epinefrina/ Norepinefrina	Selagenina	0.25-0.5 mg/kg	Depresión, Síndrome de disfunción cognitiva geriátrica
Antidepresivos tricíclicos	Impiden la recaptación de serotonina y norepinefrina, efecto antihistaminico	Amitriptilina Imipramina Clomipramina	0.5-2 mg/kg 0.5- 1 mg/kg 0.5 mg/kg	Ansiedad por separación, prurito neurogénico Narcolepsia Trastornos obsesivo compulsivo, Ansiedad por separación
Agonistas parciales de la serotonina	Estimulan receptores de Serotonina	Buspirona	1 mg/ kg	Tratamiento de la agresividad en caninos y felinos
Inhibidores de la recaptación de la Serotonina	↑ niveles de Serotonina en las sinapsis	Fluoxetina Setralina Paroxetina	0.5- 1mg/kg 0.5 mg/kg 0.5 mg/kg	Tratamiento de la agresividad en caninos y felinos, Ansiedad por separación, pánico, trastornos obsesivo-compulsivos (automutilación, dermatitis acral por lamido)

(REJAS-LOPEZ, J.2008; OVERALL K. 2010)

Figura 1.14 Medicamentos utilizados en terapias farmacológicas [5].

I.2.A.f Sonido y Audiolibros

Según el reconocido mexicano entrenador de perros César Millán, una solución para evitar la ansiedad por separación en las mascotas es por medio de los audiolibros, es decir, a través de grabaciones narrativas del contenido de un libro. Millán menciona que esta solución puede generar una sensación de compañía en los perros, dado que “los perros son animales sociales, necesitan estar involucrándose con alguien, sentir que están en compañía de alguien” [173].

Para obtener el mejor resultado sobre la mascota, Millán recomienda que la voz del narrador del audiolibro seleccionado posea una voz similar a la del dueño, con la misma energía, tono y consistencia con la que trata al perro día tras día, además de dejar el dispositivo de reproducción cerca del área en la que se quedará la mascota, así ejercitar a la mascota al menos entre 15 y 20 minutos antes de dejarlo solo para inducir un estado de relajación y que asocie a este estado la reproducción del audiolibro y ayude a preservar la calma en el perro [173-175].

La eficacia de este tratamiento se basa en un estudio realizado en el *Dog Psychology Center* de Millán aplicado en 100 perros, donde 3 de cada 4 mostró una mejora a partir del uso de esta técnica [174, 176-177]. Además del ejercicio previo, se recomienda que el perro tenga una rutina establecida, para generar seguridad y confianza, así mismo no despedirse de él al salir.

Con el fin de provocar un sentimiento de acompañamiento a la mascota en los periodos en los que el dueño no está presente, en caso de no poder recurrir a los audiolibros, la recomendación general es utilizar música emitida por la radio o *smartTV*, aunque también podría servir dejar la televisión encendida con algún programa [161]. De hecho, existen canales específicos -como *DogTV*- dedicados a entretener y ser llamativo para las mascotas al encontrarse llenos de imágenes y sonidos atractivos y en la misma gama de colores que pueden percibir [178-179].

I.2.A.g Otras recomendaciones

Otras recomendaciones según etólogos son las siguientes [28, 61, 151, 156, 169]:

-  Dejar a la mascota en espacios donde no tenga el alcance o no haya objetos que pueda destruir, y donde tenga permitido la eliminación (heces y orina) [148].
-  Nunca encerrar o amarrar a la mascota permanentemente, ya que se aburren y estresan, lo que detona los comportamientos de ansiedad (como ladridos, salivación e intento de escape) al sentirse abandonados [150, 180].
-  No regañar ni castigar a la mascota al regresar al hogar y ver un desastre, ya que empeora la conducta. Los perros sólo se confundirán al no entender por qué se les castiga, ya que para corregir una conducta indeseada tiene que ser inmediatamente. [128, 147-148, 150, 156, 181].
-  No despedirse al salir ni saludar efusivamente al llegar, sino hasta encontrar al animal relajado [147-148].
-  Prestarle atención y darle cariño cuando se encuentre relajado y no preste atención, para demostrar que de esa forma podrá tener nuestra atención y no cuando está ansioso [15, 147].
-  No recompensar los llamados de atención de la mascota cuando ladre o maúlle, brinque, intente jalar una mano o una conducta similar [15].

- 🐾 Realizar ejercicios de separación progresivos al dejarlo solo por periodos de tiempo que vayan en aumento [157]. Se tienen mejores resultados cuando se practican desde cachorros.
- 🐾 No tratar de compensar el tiempo separado con la mascota al pasar demasiado tiempo con ella [150].
- 🐾 Cuando el tiempo que vaya a permanecer sola la mascota se prolongue más de lo usual, es recomendable que otra persona de confianza pueda visitarlo.
- 🐾 Tratamiento con Flores de Bach para relajar y reducir ansiedad, miedo, depresión, estrés, hiperactividad, pánico, etcétera [182].

Con respecto al confinamiento de la mascota en espacios dentro de la casa, ésta es una práctica que se recomienda solo si es encerrado en un lugar en donde la mascota se sienta segura, protegida y que ya se encuentre habituada, lo cual se puede detectar si la mascota no ofrece señas de que haya sufrido ansiedad por separación [148, 150, 162].

Existe la recomendación en diferentes fuentes, sobre la posibilidad de reducir la ansiedad por separación en perros, al integrar un nuevo perro al hogar como compañía, dado que los perros son sociales [183]. Sin embargo, hay evidencia de que este tipo de solución no pueda prevenir el desarrollo o solucionar la ansiedad por separación [150, 152]. Esto puede no resolver el problema ya que el apego está dirigido a una persona, no a otro animal, además de presentar problemas en caso de que la mascota no haya tenido una correcta socialización [148].

En cuanto al tratamiento por Flores de Bach, el cual supone suministrar a la mascota ya sea por un atomizador o en comida y agua, gotas de esencias florales que tienen efectos en la estabilidad emocional. Para el caso de la ansiedad las esencias principales son: *agrimony*, *elm*, *heather* y *red chestnut* (especiales para la ansiedad por separación), *mimulus*, *impatiens*. Así mismo, las esencias se pueden combinar con otras –aunque se recomienda que no sean más de ocho o nueve para no dispersar el efecto- para tratar más problemas como se ha mencionado antes, por ejemplo, miedo, agresividad, estrés o depresión que se presenten conjuntamente [184]. Hay libros y sociedades que se dedican a esta terapia a los que se les puede consultar sobre las mezclas, de acuerdo con los síntomas que presente el perro [184].

Un ejemplo de fórmula para tratar ansiedad por separación es la siguiente: *agrimony*, *chestnut bud*, *chocory*, *heather*, *impatiens*, *rock water*, *vervain* y *white chestnut*. [184].

Una forma útil para el diagnóstico y supervisión de la ansiedad por separación es por medio del uso de video cámaras en varios lugares de la casa o dentro del espacio en donde la mascota se queda sola. Hasta ahora los signos que son utilizados para determinar si una mascota sufre o no ansiedad por separación son aquellos indirectos por medio de la evidencia encontrada o por medio de las quejas de vecinos. Además, por este medio se podrá observar si los tratamientos muestran resultados o se mantienen los comportamientos [150].

Así mismo, por medio del uso de video cámaras se pueden descubrir más señales que permitan relacionar su comportamiento con la ansiedad por separación y no con otros problemas de conducta [150].

I.3 Aprendizaje en animales

El aprendizaje consiste en el procesamiento, extracción y almacenamiento de información que se obtiene del medio ambiente que rodea a la mascota, y le permitirá anticipar situaciones futuras [182]. El aprendizaje da como resultado la modificación relativamente permanente en un patrón de conducta, producto de las experiencias vividas previamente, a través de la adquisición de conocimientos o habilidades [5, 182, 185-188].

Por ejemplo, en los primeros meses de vida de los perros, mediante el juego con sus hermanos aprenden, por medio de simulaciones, a cómo defenderse en un futuro ataque, a cazar o a defender su territorio, así como los límites y reglas de convivencia; también “aprenden estrategias, estimulando su aprendizaje e inteligencia”. En cuanto a la defensa de su territorio esto se refiere a cuando uno cuida y evita que sus hermanos le quiten su juguete, mientras que para cazar es cuando los cachorros corren uno detrás del otro, al tener roles de perseguidor y perseguido [38].

Así, por medio del aprendizaje es como el perro recibe una mayor información del medio, al empezar desde cachorro en su periodo sensible -en donde al final de este periodo ocurre una saturación de información social [182], es decir, el “sistema nervioso recibe toda la información que necesita para interactuar con individuos de su misma especie y otras”- [5]. Es por eso por lo que se recomienda más exponer al perro a una gran diversidad de experiencias en esta etapa de su vida.

El aprendizaje es importante en los perros debido a que el aprendizaje (experiencia vital) constituye al 80% de los diferentes comportamientos que llega a poseer un perro, mientras que el comportamiento heredado constituye el 20% restante [188].

El perro en tanto ser vivo puede aprender en todo el transcurso de su vida; el aprendizaje no se limita a una cierta etapa, sino que el perro puede aprender aun en su edad adulta al experimentar de manera diaria con varias situaciones que producen experiencias en la mascota, lo que provoca el poder adaptarse a diferentes ambientes y saber cómo reaccionar a una amplia variedad de situaciones [188-189]. Aunque, al tratar con mascotas mayores, se puede presentar en algunos casos un poco más de dificultad por lo que se requiere el compromiso del dueño, su constancia y su consistencia para que dé resultado [168].

Cabe destacar que los perros, así como los demás animales, poseen conductas no-adquiridas o innatas, las cuales contrastan con las adquiridas o aprendidas. Las primeras son aquellas que

vienen por parte de los genes de los animales, por lo que existe una predisposición a ciertas conductas, que se ejecutan sin tener experiencia [182, 186, 189-191].

En cuanto a los comportamientos innatos, éstos pueden ser modificados a partir del aprendizaje. Lo anterior significa que un perro no aprende a comer, sin embargo, se le puede enseñar en qué momento hacerlo, a través del aprendizaje [190].

En el perro, como en la mayoría de los animales, se pueden identificar tres tipos de aprendizaje que son [186, 190, 192-193]:

- 🐾 Aprendizaje por habituación
- 🐾 Aprendizaje por asociación
 - 🦷 Condicionamiento clásico (respondiente o Pavloviano)
 - 🦷 Condicionamiento operante (instrumental)
- 🐾 Impronta
- 🐾 Aprendizaje social

I.3.A Aprendizaje por habituación

La habituación es el proceso mediante el cual, se busca una reducción o eliminación en la respuesta a través de la exposición reiterada a un mismo estímulo, es decir, la mascota supondrá que nada va a suceder en una cierta situación [192]. Este proceso de aprendizaje produce un impacto importante en la adaptación [184].

Este tipo de aprendizaje permite a las mascotas adaptarse a ciertos ambientes, al reconocer pistas o señales importantes que antes provocaban un cambio en su conducta y posteriormente, al acostumbrarse, dejan de ser significativas ya que no producen consecuencias negativas [182, 189].



Figura 1.15 Habitación a la transportadora como zona de descanso [194].

Un factor clave en este tipo de aprendizaje es que se tiene que exponer a la mascota al estímulo constantemente para que efectivamente se produzca un resultado de aprendizaje duradero, es decir, en caso de que la mascota deje de enfrentarse al estímulo por un tiempo puede desaparecer la habituación. Así mismo, el perro no debe asociar al estímulo ningún tipo de refuerzo o recompensa, simplemente tiene que estar tranquilo y relajado ante él todas las veces que se le presente [182, 190].

En caso de que la habituación no se lleve de manera correcta en el entrenamiento, puede desembocar en que la mascota se habitué a estímulos aversivos o castigos, lo que los haría inoperantes y perdieran su función [182].

I.3.B Aprendizaje por asociación

El condicionamiento es una de las formas por las que se produce el aprendizaje en los perros, el cual se da por medio de la respuesta a situaciones cotidianas en función del estímulo o recompensa por la conducta realizada [4]. De esta forma, un estímulo o suceso que sea de poco significado para la mascota puede llegar a adquirir valor al inducirse o asociarse una consecuencia que puede ser agradable o no para la mascota [166, 189].

Para que el aprendizaje por asociación sea efectivo, tanto el estímulo como la consecuencia deben presentarse próximos en el tiempo. Además, este aprendizaje se desarrollará de manera progresiva por medio de asociaciones entre estímulos con respuestas o acciones con consecuencias [185].

De esta forma se encuentra del aprendizaje por asociación el condicionamiento clásico y el operante, donde para el primero la conducta depende de los estímulos que le anteceden a la respuesta, mientras que para el segundo la conducta depende de las consecuencias de ésta y el efecto sobre la mascota [185].

1.3.B.a Condicionamiento clásico

El condicionamiento clásico es “el tipo de aprendizaje asociativo más sencillo, en el cual, ante un estímulo neutro, se desencadena una respuesta no relacionada”, por lo tanto, la repetición del estímulo “condiciona” la respuesta. [5]. En sí, se obtiene un comportamiento o respuesta asociada a un estímulo que se relaciona por medio de experiencias repetidas a un segundo estímulo sin relación alguna con el primero [187, 190], es decir, se condiciona a las mascotas a responder a un estímulo de manera diferente a como lo hacía antes [185].

Este tipo de condicionamiento es de manera secuencial, ya que a partir de una sucesión de eventos ordenados se aprende que estímulos se relacionan con que eventos [195].

El clásico ejemplo fue aquel desarrollado por Iván Pavlov en la década de 1920, en donde un perro asoció un estímulo incondicionado (un trozo de carne) con un estímulo condicionado que al inicio es neutro (una campana), de manera que tras presentarse ambos estímulos repetida y conjuntamente, se presenta una respuesta condicionada (salivación) ante el estímulo condicionado (la campana produce salivación sin la presencia de la carne) [182, 193].

Por medio del condicionamiento clásico, es posible tanto aprender, como extinguir conductas de las mascotas. Por un lado, el aprendizaje se da por medio del proceso de adquisición, la cual involucra el aumento de la respuesta condicionada por los repetidos emparejamientos de los estímulos incondicionado y condicionado. Por el otro lado, el “desaprender” una conducta se da por medio del proceso de extinción, en donde el estímulo condicionado se presenta sin la aparición del estímulo incondicionado, lo que resulta en el decremento de la aparición de la respuesta condicionada sin llegarse a eliminar por completo [185-186].



Figura 1.16 Experimento de condicionamiento clásico realizado por Pavlov [190].

Adicionalmente, se puede llegar a aparecer la generalización ante el estímulo condicionado, ya que, si se presenta un estímulo similar a éste, puede desencadenar a producirse la misma respuesta condicionada. Sin embargo, es posible llegar a diferenciar los estímulos parecidos de los estímulos condicionados por medio de la discriminación [185, 186].

Una vez que el perro ha adquirido una respuesta condicionada no tendrá control sobre ella, es decir, cada que se presente el estímulo condicionado se dará la respuesta [182].

En el condicionamiento clásico, no se realiza la adquisición de nuevas respuestas, es decir, una respuesta existente e incondicionada se obtiene a través de situaciones condicionadas [182].

1.3.B.b Condicionamiento operante

El condicionamiento operante utiliza el aprendizaje por medio del ensayo y error, en donde se asocia el recibir un premio o castigo con una acción realizada por la mascota en una determinada situación [182, 184, 186, 193, 196].

Este tipo de condicionamiento “se caracteriza por que las conductas que traen consecuencias positivas se repiten, por ser consideradas exitosas, y las que traen consecuencias negativas, se extinguen o se apagan” [5]; es un aprendizaje estímulo-respuesta [187, 190]. Los perros son capaces de aprender de las consecuencias que traen sus acciones, de manera que, si obtienen algo a su favor, tratarán de repetirlos de nuevo con tal de obtener más, lo que reforzará el comportamiento deseado [67, 182, 185-186, 171].

Por otro lado, es posible que los perros aprendan comportamientos nuevos, es decir, que no responderían de esa forma naturalmente, o eviten ciertos comportamientos que en ellos son naturales [190].

Así mismo, el condicionamiento operante está basado en la creencia de que la conducta de la mascota se encuentra determinada por el ambiente, por lo tanto, el comportamiento varía al depender de las consecuencias, es decir los refuerzos, que pueden ser agradables o desagradables lo que aumenta o disminuye la posibilidad de volver a efectuar un comportamiento, respectivamente [166, 185, 187].

De esta forma, en el condicionamiento operante encontramos tres etapas para poder realizar el aprendizaje, llamadas antecedentes, comportamiento y consecuencias, donde la primera a veces es excluida de los análisis, ya que se centran más en las consecuencias que se relacionan en la modificación de la conducta. Los antecedentes serían el estímulo discriminativo, que se traduce en una indicación -una señal o clave- que entregue información sobre la conducta que se espera que se efectúe, que si es el caso se obtendrá un refuerzo para que sea producida en el futuro [185].

Es importante tener en cuenta que al usar la palabra reforzamiento, se habla de que la conducta condicionada fue fortalecida y no debilitada. El reforzador o refuerzo es cualquier acontecimiento que propicie el aumento a realizar la conducta que se desea, este debe ser presentado inmediatamente después de la realización de la conducta [182, 185-187].

Así mismo, el reforzamiento positivo se refiere a que se presentó la consecuencia (recompensa o refuerzo) al haberse realizado la conducta deseada, mientras que un refuerzo negativo se refiere a que la consecuencia fue retirada o eliminada, sin significar que haya sido una mala respuesta, sino que la conducta se fortalece al retirarse el castigo (estímulo punitivo) [171, 196]. De este modo, el reforzamiento negativo “fortalece conductas que liberan a los animales de molestias, lo que constituye un resultado placentero”, ya que también les brinda una oportunidad de realizar la conducta deseada [171, 182, 184-186].

Se debe tener una consistencia durante la educación, de manera que las acciones correctas o deseadas se deben permitir siempre, mientras que las acciones incorrectas o no deseadas no deben permitirse nunca [128]. A esto se le conoce como todo o nada, ya que un perro no comprende, por ejemplo, por qué no lo dejan subir al sillón –si es el caso- cuando regresa de un paseo y tiene las patas sucias y porqué sí puede hacerlo en otras ocasiones, pues para la mascota debería poder subirse siempre.

Es muy importante que los reforzadores se presenten de manera inmediata durante los primeros intentos (etapa de adquisición) cada vez que la mascota responda correctamente, y se adopte posteriormente un modelo de reforzamiento intermitente -se refuerza algunas veces- con el fin de que no se lleve la conducta adquirida a la extinción [171, 186, 197].

Otro proceso para el aprendizaje de conductas dentro del condicionamiento operante es el moldeamiento o método de las aproximaciones sucesivas [171], en donde se guían ciertas acciones de la mascota para que pueda realizar una conducta deseada, de igual forma por medio de reforzadores [184-186, 190].

Por otro lado, el castigo es aquello que provoca que haya una intención de que disminuya la realización de alguna conducta, para tender a su extinción, el cual aparece de igual forma inmediatamente después de que se haya presentado una respuesta por parte de la mascota [171, 185-186, 196].

El castigo en su modalidad negativa puede ser el retiro o posposición de un reforzador positivo, ya que desaparece un evento que le produciría placer o bienestar al perro [171, 184, 187]. Por otro lado, el castigo positivo implica la aparición de una consecuencia dolorosa o una situación que no provoca placer en la mascota [171, 184, 187]. El castigo positivo puede ser un reforzador negativo cuando es suprimido ya que la mascota realiza una conducta deseada [182, 187].

De igual forma que en los refuerzos, se debe tener una consistencia en cuanto a la aplicación de castigos, así como que se presenten al momento inmediato de la realización de la conducta no deseada por parte del perro [187].

EVENTO	TIPO	CONSECUENCIA
PRESENCIA +	BUENO 😊	REFUERZO +
	MALO 😞	CASTIGO +
ELIMINACIÓN -	BUENO 😞	CASTIGO -
	MALO 😊	REFUERZO -

Figura 1.17 Cuadro de tipos de castigos y refuerzos.

El condicionamiento operante es el más usado en el adiestramiento canino y es el que ha dado mejores resultados en su forma de refuerzo positivo, ya que produce una sensación agradable en la mascota para repetir una conducta y ser premiado [5, 150, 166, 184, 190]. Sin embargo, el conductismo operante basado en refuerzos positivos o recompensas no ha demostrado tener éxito entre los gatos [5].

El condicionamiento operante cuando es utilizado en adiestramiento a los antecedentes, comportamiento y consecuencia, se les conoce como señal, acción y recompensa, donde la señal puede ser verbal o física, al mostrarle a la mascota lo que se espera que realice, la acción es realizada por la mascota e instantáneamente recibe la recompensa [37, 166, 171, 182]. Estas actividades deben ser progresivas y constantes, al utilizar la misma señal siempre para no confundir al perro, así como tratar de que en cada sesión se avance un poco más y recompensar cada logro [37, 182]. El entrenador es quien controla la señal, la respuesta, y la recompensa durante el entrenamiento [182].

En el caso del adiestramiento, la recompensa (refuerzo positivo) puede ser un juguete, alimento, un *clicker* o caricias y muestras de afecto, que sirva para comunicar a la mascota que la conducta que acaba de hacer es apropiada [37, 198]. Es importante destacar que estos refuerzos son relativos ya que el valor de éstos es diferente para cada perro [182].

En el caso de que se desee eliminar una conducta indeseable que realiza la mascota, se puede tratar por medio del contra-condicionamiento, el cual es un proceso en donde, al mismo tiempo que el comportamiento indeseable se remueve, se sustituye éste por el deseado a través del reforzamiento [185].

Por ejemplo, si se quiere eliminar la conducta de que el perro ladre y pueda llegar a lanzarse hacia una persona desconocida se puede cambiar a un estado de calma por medio de reforzamiento positivo, por lo tanto, cuando el perro esté calmado frente de personas se le premiará y se le ordenará que se siente, así después de tiempo de entrenamiento y constancia, la reacción de un perro al ver a alguien desconocido será sentarse y no abalanzarse a él ni ladrar.



Figura 1.18 Condicionamiento operante por medio de premios [199-200].

Este medio de aprendizaje no es exclusivo a cuando el dueño quiere enseñarle algo al perro y lo quiere educar; cuando el perro por sí solo descubre que, por ejemplo, si ladra constantemente cuando se encuentra aburrido y con eso llama la atención de la persona y consigue que le hablen o lo acaricien, con esas acciones, la mascota aprende a que si hace ruido obtendrá la

atención del dueño, lo cual es un ejemplo de una situación que no controla y termina por desarrollar una conducta indeseable en el hogar [182].

Cabe destacar que el uso de castigo de una manera excesiva o incorrecta puede desatar un proceso conocido con “indefensión aprendida”, en el cual el perro no puede predecir ni controlar los castigos, por lo tanto, se vuelve ansioso y/o depresivo, que puede llegar a degradar la relación entre el dueño y la mascota, que frustra el aprendizaje [184]. Es por ello que lo más recomendado es utilizar refuerzos positivos sin utilizar materiales que provoquen dolor en los perros, como los collares de castigo [184].

En cuanto al reforzador positivo conocido como *clicker*, el objetivo de éste es que cada vez que el perro escuche el *click*, entienda que ha hecho algo bien. Con él es posible darle a entender a la mascota que la acción que acaba de realizar es correcta o es considerada como un buen comportamiento, lo cual es rápido y las mascotas pueden entenderlo, ya que se le ‘premia’ al instante [182].

En primer lugar, de debe producir una asociación por medio de condicionamiento clásico del sonido a la comida, como etapa previa al entrenamiento. Una vez que el perro ha asociado al sonido con algo que le agrada y lo sustituye, se puede empezar a enseñarle la conducta que se desee por medio del sonido (*click*), lo que haría que el perro sienta que se le recompensa por haber actuado de la forma en que le han indicado [182].



Figura 1.19 *Clicker* clásico [201].

Finalmente, es importante diferenciar tanto el condicionamiento operante del clásico, dado que, en el operante, sí se produce la adquisición de nuevas respuestas a diferencia del clásico las cuales ya estaban presente en la conducta de la mascota. Además, otra diferencia son las respuestas voluntarias por parte del animal en el conductismo operante las cuales terminan por provocar la obtención del refuerzo por su conducta, y contrastan con las involuntarias del clásico [182].

Por lo tanto, la diferencia sustancial entre el condicionamiento operante y el clásico es que en este último se necesita la presencia del estímulo incondicionado antes de la respuesta, mientras que en el operante debe aparecer primero la respuesta y en segundo lugar el reforzamiento [171, 187].

I.3.C Impronta

Este tipo de aprendizaje sucede únicamente durante el periodo sensible de un animal y produce aprendizaje que será extremadamente difícil modificar, ya que suele ser permanente [182, 187, 189, 190, 193]. En el caso de los perros, este periodo -también llamado de socialización- va desde los 21 días de nacidos hasta la semana 12 o 13, el cual varía según la raza de cada perro [5, 188].

La importancia de este tipo de aprendizaje recae en el reconocimiento de los miembros de la misma especie del animal y en sus progenitores [189, 193]. Un ejemplo común -como se puede ver en la figura 1.19- de este tipo de aprendizaje es cuando los patos al nacer siguen a lo primero que ven después de salir del cascarón, por lo que pueden llegar a seguir a su madre o incluso un ser humano, es decir, siguen a una “figura materna” [171, 190, 193].



Figura 1.20 Los patos siguen a un perro como figura materna [202].

En el caso de los perros cachorros, se improntan con su madre por medio del olfato y la apariencia, lo cual permitirá asegurar su supervivencia, recibir alimento y confort emocional. Es a través de la madre como aprenden a reaccionar ante ciertas situaciones. Es por lo anterior que separar a los cachorros en una etapa antes de las 12 semanas es contraproducente, ya que pueden tener efectos como problemas conductuales, problemas de socialización, un aumento en la probabilidad de enfermedades y en la mortalidad de los cachorros [188].

El periodo en donde se presenta la impronta para un cachorro es considerado el periodo más importante para el desarrollo de éste, en el cual se desarrollan su carácter, temperamento y los cuatro sentidos principales de la mascota, es decir, tacto, olfato, oído y vista [188].

Por otro lado, al presentarse este proceso en la etapa de socialización, lo que se aprenda por medio de la impronta tendrá efectos severos y prolongados en el comportamiento del perro adulto [188].

El comportamiento de un animal se encuentra determinado por sus factores genéticos, los cuales se pueden llegar a modificar por medio del aprendizaje y el entrenamiento desde un estado muy temprano de su vida [188]. Por lo tanto, aunque el período sensible y la impronta son importantes en el aprendizaje temprano, no significa que el perro no aprenda después. Como se ha mencionado anteriormente, hay técnicas de aprendizaje que no son exclusivas para una cierta etapa en la vida del perro, sino que pueden aplicarse para modificar su conducta y que aprenda cosas nuevas durante toda su vida.

Es posible que gracias a la impronta se haya presentado la domesticación en los perros, lo que llevo a considerar al ser humano un congénere del perro al verlo, oírlo y olerlo al ser cachorro, dado que en este periodo también se presenta la socialización de los cachorros [188].

I.3.D Aprendizaje social

Este tipo de aprendizaje se desarrolla cuando la mascota convive con otros congéneres de manera que éstos influyen de manera significativa en el comportamiento de la mascota, por lo que se llegan a copiar comportamientos de los otros miembros a través de un proceso de prueba y error [189, 192-193].

De esta forma, el aprendizaje por imitación, imitativo u observacional es aquel en el que la mascota adquiere un nuevo comportamiento después de observar a otro animal que lo realiza e intenta imitarlo [193].

Este tipo de aprendizaje se puede ver en los perros para el aprendizaje de ingesta de ciertos alimentos sin probarlos al observar los cachorros o perros jóvenes como otros los consumen, o para evitar a los depredadores sin existir una experiencia de interacción previa con ellos [193]. Otro ejemplo es cuando los cachorros observan cómo los perros adultos comen de un tazón, por lo tanto, el cachorro tratará de imitarlos y empezará a comer de la misma forma que los adultos.



Figura 1.21 Imitación del comportamiento en perros por observación [203-204].

Este aprendizaje ha sido tratado recientemente por la etóloga y entrenadora canina Claudia Fugazza, quien en su tesis doctoral plantea el aprendizaje de los perros a través de la imitación al observar las conductas humanas [203]. Esta capacidad de los perros de aprender mediante la imitación de otros miembros de su misma especie se extrapola a miembros de otra, como los seres humanos [203].

Por otro lado, el aprendizaje a través de la observación puede aportar conductas que varían en cada manada, ya sea por factores étnicos o por su interacción con seres humanos. Sin embargo, el hecho de que se aprenda por este medio posturas y mímicas durante la etapa de socialización beneficia a la comunicación en los perros, dado que disminuye la probabilidad de agresión, ya que la comunicación es menos ambigua en la interacción social [188]. Esto se debe a que el perro aprende conductas “rituales”, las cuales indican comportamientos específicos como el comer, beber, montar o aceptar la monta, entre otros [188].

I.4 Premios

Como se comentó en el apartado previo sobre condicionamiento operante, el adiestramiento canino ha dado grandes resultados al utilizar reforzadores positivos. El papel principal de este reforzador es darle a entender a la mascota que la conducta que acaba de realizar es la apropiada. Los premios en tanto reforzadores pueden tener 2 usos, tanto para enseñar nuevas conductas como para contra-condicionar comportamientos indeseados.

Entre los refuerzos más eficientes dentro del conductismo operante, se encuentra la comida que puede ser premios comerciales específicamente hechos para mascotas o bien preparados por su dueño, como también comida regular de humanos, siempre y cuando sean alimentos aptos para ser consumidos por las mascotas como es el jamón, salchicha, huesos, proteínas, pan, entre otros [182, 205-207].

Se piensa que, aun cuando fisiológicamente no se ha demostrado de manera científica, la recompensa o refuerzo positivo en el proceso de condicionamiento de la conducta con base en comida tiende a ayudar en el proceso al fijar permanentemente en la mente de la mascota [5].

Las características recomendadas de un premio para perros son [184]:

-  Comestible, lúdico o social
-  Deber ser entregado de manera inmediata a la realización de una acción
-  Deber ser la cantidad mínima necesaria que motive a la mascota
-  Que no sea algo común o cotidiano para el perro, debe ser exclusivo para entrenar [182]

En la primera fase del aprendizaje, para que sea de manera rápida y sea duradero, se debe seguir un modelo continuo, es decir, que el premio debe ser entregado siempre después de haber sido realizada una acción deseada. Posteriormente, se debe adoptar un modelo

intermitente, en donde el premio se entregue ocasionalmente, después de cada acción deseada ya que le servirá de motivación al perro la expectativa de recibir algo [171, 182, 184, 198, 205, 208].

Que el perro tenga expectativas es de gran importancia en el adiestramiento, ya que provoca que la mascota trabaje al máximo nivel para conseguir su recompensa y captar su atención e interés por completo, son una motivación para realizar conducta deseada continuamente[182].

Al ser los premios relativos ya que dependen de los gustos de cada perro, se debe tomar en cuenta a las mascotas a la hora de elegirlos, es decir, mientras más le guste algo a un perro se esforzará más en conseguirlo, lo que conlleva que su desempeño sea mejor. Además, si se cuenta con una variedad de premios, se evitará que la mascota se aburra o pierda interés en ellos por lo que los mantendrá activos y motivados a seguir la rutina de entrenamiento [198, 206].

Hay que tener en cuenta que los premios pueden no ser exclusivos al adiestramiento, ya que se le pueden dar con el fin de consentirlos, entretenerlos (dentro de juguetes) y cuidar su salud, por ejemplo, para el cuidado dental [208]. Sin embargo, es importante diferenciar tajantemente entre los premios utilizados para el entrenamiento, ya que pueden tener características más específicas como las mencionadas, para no confundir al perro [205].

I.4.A Tamaños y formas

El tamaño recomendado para los premios o recompensas debe ser el más pequeño posible pero que le permita saber al perro que ha hecho una conducta “buena”, y que con el premio se motive a continuar con la realización de la conducta [182]. Lo anterior se debe a que, si el premio es de gran tamaño, la mascota se distraerá al masticarlo por un tiempo prolongado, y la llevará a perder la concentración e interés en lo que hacía y se perderá el nexo de continuidad entre el refuerzo y la acción [182]. De este modo, al ser pequeños los premios, los comerá rápido y no se perderá la secuencia, lo que acelerará su proceso de aprendizaje y será más efectivo [182].

El mercado para premios de perros es muy grande, por lo tanto, es posible encontrar múltiples tipos de tamaños, formas y sabores, tal como se muestra en la figura 1.21. Entonces, para su elección es importante tener en cuenta varias características de las mascotas, como son su edad, peso y actividad física, ya que con base en éstas se debe determinar si es mejor comprar premios chicos para cachorros, más grandes para adultos o especiales para ancianos; o saber la cantidad de premios que le serán suministrados a la mascota sin afectar su dieta y sin impactar en su salud, por lo que es recomendado revisar la composición y las calorías que aportan [205-206].

Con respecto a los sabores, existe una gran variedad de ellos como son de pollo, cordero, pavo, cerdo, tocino, pescado, verduras, crema de maní, frutas, entre otros. Mientras que las formas

más comunes son barritas, galletas, tiritas, huesos, chuletas, medallones, estrellas, bolitas, palitos ya sean suaves o crujientes.



Figura 1.22 Variedad en premios para perros [209].

Además de los premios comunes, es posible encontrar especiales de acuerdo con requerimientos nutrimentales, para complementar el aporte de vitaminas y minerales o en formas especiales con ingredientes para el cuidado de la dentadura, piel, pelaje, sistema digestivo y sobrepeso [205, 210]. También existen aquellos para el cuidado del corazón de las mascotas, así como para enfocados a relajar y calmar a los perros ya que contienen pasiflora, la cual es una planta relajante eficaz tanto para perros como para gatos [210-211].

I.4.B Dosificación

Ahora bien, una vez que el dueño ha elegido el tamaño y la forma más conveniente de acuerdo con la mascota (peso, edad, dieta, etc.) se puede establecer una dosis, es decir, si los premios son pequeños y con bajos contenidos calóricos se podrán entregar más, mientras que los premios de mayor tamaño y que aporten más contenido nutrimental al perro serán provistos en menor cantidad [205].

Lo anterior es como recomendación para no provocar obesidad en el perro al darles más comida de la que necesitan en el día y que conforme a su nivel de ejercicio pueden aprovechar [208].

Lo recomendado en general para la dosificación de premios es que no exceda del 10% del consumo diario de un perro [207]. Esto se puede calcular con ayuda de un veterinario de acuerdo con las características del perro y su ingesta de alimento, dado que no son un sustituto de la

comida. Las bolsas traen en la parte trasera sus ingredientes y porcentaje nutricional, entonces con base en esta información se puede establecer su uso. Así mismo, hay premios que de acuerdo con el tamaño y peso del perro indican cual es la cantidad máxima que pueden consumir al día e incluso, algunos traen el señalamiento de que no pueden rebasar el 10% de la comida total diaria del perro.

Hay que tener en cuenta que algunas veces, la información proporcionada por los productores de premios puede diferir al 10% diario recomendado. Para el cálculo del aporte energético de los premios, se debe tener en cuenta el sedentarismo y si las mascotas hayan sido esterilizadas, factores que influyen en la obesidad [212].

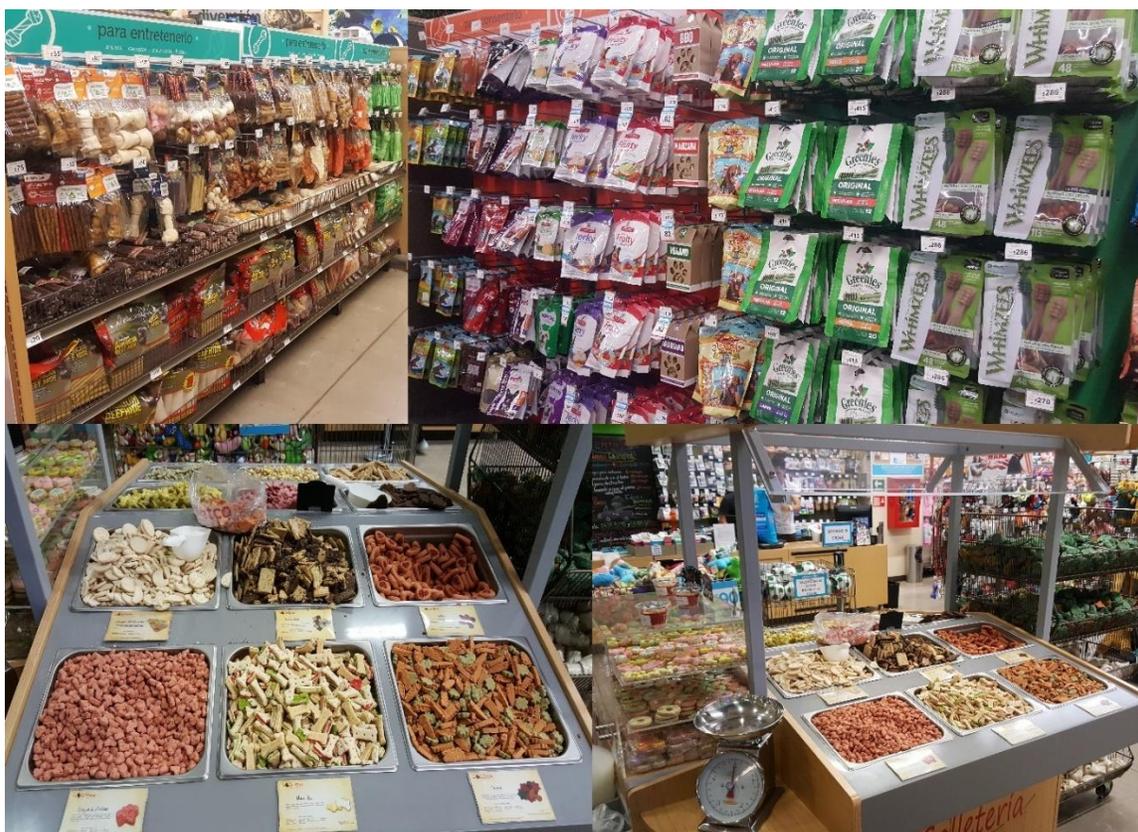


Figura 1.23 *Stands* de premios para perros en las tiendas comerciales.

En el apéndice III se anexan tablas en donde se concentró toda la información sobre las dosis recomendadas por cada uno de los premios para perro adulto de diferentes marcas –ya fuera comunes para uso diario o exclusivos de entrenamiento- que fueron encontrados en las tiendas comerciales para mascotas *Petco* y *+Kota*.

Ya que cada marca incluía su propia dosis -o no incluía- y algunas sólo mostraban el contenido calórico y peso del producto, fue necesario establecer una clasificación propia. Por lo tanto, para estas tablas, se consideraron dos tipos de clasificaciones diferentes para cada tipo de perros, obtenidas de los empaques de los premios. Para los premios de uso diario se utilizó la

clasificación dada por la empresa *Purina*, dado que sería más recomendado tener un control de acuerdo con su tamaño además del peso, mientras que para los premios de entrenamiento se usó la proporcionada por la empresa *Hills Science*, al tener un mayor control con base en el peso de la mascota para el entrenamiento ya que es muy probable utilizar una gran cantidad de premios.

Promedio de premios comerciales para perros recomendados al día					
Miniatura (hasta 5 [kg])	Pequeño (5 [kg] - 9 [kg])	Mediano (9 [kg] - 22 [kg])	Mediano (22 [kg] - 34 [kg])	Grande (34 [kg] - 45 [kg])	Gigante (mayor a 45 [kg])
1.3	1.3	2	4.6	5.7	6.6

Tabla 1.1 Promedio de premios comerciales para perros recomendados al día.

Promedio de premios para entrenamiento de perros recomendados al día						
2.3 [kg]	4.5 [kg]	9.1 [kg]	18 [kg]	27 [kg]	36 [kg]	45 [kg]
8.7	12	18.8	29.1	38.9	47.9	56.2

Tabla 1.2 Promedio de premios para entrenamiento de perros recomendados al día.

Por otro lado, los premios indicados para el cuidado dental (normalmente llamados *Dental Care*), mencionaban en todos los productos consultados el consumo de únicamente 1 unidad en un día, sin importar el tamaño y peso de la mascota. Sin embargo, es importante destacar que estos premios se pueden encontrar en diferentes tamaños, ya que de acuerdo con el tamaño del perro (miniatura, pequeño, mediano, grande, extragrande) se elegiría la medida del premio, de manera que es probable que el contenido energético se distribuya y se mantenga para cada tamaño.

Para aquellas bolsas de premios que no indicaban cuantas unidades contenían, pero sí informaban sobre el peso de la bolsa, el contenido energético total por kilogramo de producto y el contenido energético por premios, se calculó el número total de premios por bolsa de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E_B = w E_T \quad (1.1)$$

$$P = \frac{E_B}{E_P} \quad (1.2)$$

Donde P es el número total de premios por bolsa, w es el peso total de la bolsa en [kg], E_B es el contenido energético por bolsa [kcal], E_T es el contenido energético total por kilogramo [kcal/kg] y E_P es el contenido energético por premio [kcal/premio].

Posteriormente, se procedió a calcular el 10% de las calorías que puede consumir cada mascota diariamente de acuerdo con su tamaño. Para esto, se tomó como base las cantidades

establecidas por la marca *NUPEC* en su costal de alimento para perro adulto como se observa en la figura 1.24. Adicionalmente se utilizó la medición del contenido energético total por cada kilogramo ofrecido por este alimento para obtener en total de calorías por porción con la fórmula 1.1.

Peso Kg Weight	g/día g/day	Tazas Cups
1 - 3	40 - 85	1/2 a 1
3 - 5	90 - 120	1 a 1 1/4
5 - 10	120 - 190	1 1/4 a 2
10 - 15	190 - 250	2 a 2 1/2
15 - 20	250 - 305	2 1/2 a 3 1/4
20 - 30	305 - 400	3 1/4 a 4 1/4
30 - 40	400 - 485	4 1/4 a 5
40 - 50	485 - 565	5 a 6
50 - 60	565 - 635	6 a 6 3/4
60 - 70	635 - 700	6 3/4 a 7 1/4
70 - 80	700 - 770	7 1/4 a 8

Contenido calórico: 3,500 kcal/kg

1 taza de 8 oz (225 ml) = 95 g de NUPEC ADULTO
1 cup of 8 oz (225 ml) = 95 g of NUPEC ADULTO

- Extracto de raíz de achicoria: Beneficio.
- Omega 3 y 6: Coadyuvante.
- Antioxidantes naturales: radicales libres, que son dañinos.
- Zinc: Es fundamental para la salud y juega un papel clave en la función del sistema inmunológico.
- Vitaminas A, B, C y E.

NUPEC'S technology includes:

- DIGESTIBILITY: Controlled extrusion that promotes a better balance of nutrients, proteins, carbohydrates, vitamins and minerals.
- HIGH PALATABILITY: Developed by experts in pet nutrition. Fresh ingredients.
- HIGH QUALITY: Meat addition.
- NUPEC QUALITY: Chicory root.

Figura 1.24 Guía de alimentación de alimento *NUPEC* para perros adultos.

De esta forma, se calcularon la cantidad de calorías diarias aportadas por las dos porciones de comida recomendadas para adultos, como también el 10% de esta cantidad las cuales se presentan en la primera tabla del Apéndice III.

$$P_{R\%} = \frac{P E_{R\%}}{E_B} = \frac{E_{R\%}}{E_P} \quad (1.3)$$

Donde $E_{R\%}$ son el 10% de calorías recomendadas al día para una mascota.

Finalmente, al conocer el número de calorías que representa el 10% de las calorías consumidas por la mascota, y cuyo valor es el recomendado máximo para el consumo diario de premios para las mascotas, y utilizar la fórmula 1.3 se calcularon los premios recomendados.

1.5 Los sentidos del perro

En los perros los medios por donde obtienen señales del ambiente presentan grandes diferencias con respecto a los humanos, el más claro ejemplo es el olfato, pues por medio de este sentido puede tanto obtener alimento como establecer relaciones sociales [4].

“En los perros [se encuentran] principalmente señales auditivas, visuales, olfativas y táctiles, donde existen posturas corporales establecidas para la identificación de estados emocionales entre ellos, además de otras señales que les sirven para establecer interacciones sociales” [4].

I.5.A Visión

La visión tiene un papel fundamental en el lenguaje de los perros, pues ésta se da por medio de la observación e identificación de aspectos faciales, corporales e incluso por el movimiento de la cola y el posicionamiento de sus orejas [172].

Cuando los cachorros nacen, no poseen visión, la cual inicia al aparecer hasta la segunda semana y se desarrolla aproximadamente hasta la 5 semana. En los perros, se desarrolla una visión dedicada principalmente para realizar la caza de presas, la cual fue heredada de sus los lobos [62].

La visión en los perros es binocular con una zona ciega en la parte posterior de la cabeza. El campo total de visión de cada ojo es de 86 [°] a 90 [°], lo cual produce un campo de visión total de 240 [°] a 290 [°], aunque varía en cada perro de acuerdo con la raza [62]. Es por esto que los perros siempre se encuentran al tanto de sus dueños, y los llegan a observar por el rabillo de sus ojos.

Por otro lado, los perros no cuentan con una capacidad de enfocar los detalles tan desarrollada como lo tienen los seres humanos. Esto se debe a que los perros poseen *tapetum* –una capa de tejido situado en la parte posterior del ojo-, el cual sirve como espejo para reflejar los rayos luminosos y le atribuye al perro la habilidad de visión nocturna. Por lo tanto, en la visión del perro será más importante el movimiento de una figura con respecto a su delimitación que todos los detalles de la misma [62].

Los perros tienen una visión dicromática, es decir, solo perciben los colores amarillo y azul, a diferencia que el ser humano tiene una visión tricromática [178-179]. Los demás colores como el naranja, rojo y verde son percibidos como tonalidades de gris y amarillo, por lo tanto, para un perro distinguir entre objetos de los colores mencionados que se mezclen con superficies de esos mismo le será posible mediante el olfato, ya que la vista no le servirá de mucho [213].

Otro aspecto importante dentro de la visión de los perros es que sus ojos registran imágenes más rápido que los nuestros, lo que les permite, por ejemplo, predecir conductas de movimiento o evitación, ya que pueden adelantarse a lo que pasará con base en las imágenes vistas de acuerdo con su trayectoria, velocidad, etc. [62, 178-179].

Por lo anterior, es posible que las mascotas puedan o no mostrar interés en lo que se muestre en una pantalla de una televisión, ya que en ella se presentan una sucesión rápida de imágenes estáticas. Sin embargo, para que los perros puedan visualizar lo que sucede en la pantalla, tal y

como lo ven los seres humanos, la frecuencia de imágenes debe ser al menos superior a los 75 [Hz], ya que si es menor el perro únicamente verá imágenes pausadas continuamente y no tendrán secuencia para él ni le provocarán interés al parecer menos real lo que observa [179, 214].

Si juntamos los aspectos de visión de las mascotas en cuanto a colores y velocidad de movimiento, puede que en ciertas combinaciones no les interesen ni llamen su atención ver una televisión ya que las imágenes les parecerán parpadeantes y la gama de colores no está diseñada para su vista [179, 214]. Así mismo hay que considerar que dependerá de la raza de cada perro y su personalidad, si le gustará ver la pantalla de un televisor y se mantendrá entretenido [179].

I.5.B Olfato

A través de este sentido los perros adquieren información sobre el sexo, jerarquías, estatus, estadio sexual, territorialidad, y otros más, como también para la identificación de sus dueños [172]. El olfato es uno de los sentidos más reconocidos de los perros, además de ser el más explotado cuando son incluidos como auxiliares en labores humanas como en labores de búsqueda de sustancias o drogas, búsqueda de personas desaparecidas, perro de rescate en catástrofes, o incluso más en la actualidad para la detección de glucosa sanguínea en sangre para personas diabéticas [62, 213].

Para la comunicación con sus congéneres, se da por medio del olfato de la nariz, flacos y zona perianal, lo cual es de gran importancia para su vida social [62].

Es notorio como el perro supera en la captación de olores al ser humano. Esto se debe a que la parte del encéfalo dedicada al olfato se encuentra muy desarrollada, a lo que se suma el epitelio olfativo de un perro, que en promedio posee una superficie de 75 hasta 150 [cm²], y es de 2 a 11.5 [cm²] para el ser humano. Además, los perros cuentan con aproximadamente 300 millones de receptores, que es por mucho significativamente mayor al de los humanos que cuentan entre 5 y 20 millones [62, 213].

Los perros son capaces de olfatear diferentes concentraciones de sustancias, como detectar olores con varias horas o días de después de su paso, así como determinar el gradiente de intensidad entre olores al discriminar los antiguos de los más recientes [62, 213]. En esta misma línea, los perros pueden llegar a identificar la procedencia de olores muy parecidos de acuerdo con la diferencia temporal en que son detectados por cada una las fosas nasales [62].

El órgano vomeronasal -auxiliar del sentido del olfato ubicado en el hueso vómer el cual se encuentra entre la nariz y boca de algunos vertebrados- permite extraer olores no solo de aquellos provenientes del aire, sino también de aquellos originarios de sustancias que fueron lamidas o ingeridas [213, 215].

I.5.C Audición

Como en la visión, los perros desarrollan sus oídos después de los 21 días y por completo hacia la quinta semana de vida; esto se debe a que son animales altriciales, es decir, que nacen sin abrir los ojos ni los canales auditivos [5, 62]

Adicionalmente a los otros sentidos, los perros también se comunican por medio de sonidos, dentro de los cuales el gruñido y el ladrido son los más importantes, ya que pueden tener muchos significados de acuerdo con la modulación, fuerza, intensidad y duración [172, 213].

El rango de audición de los perros es mayor en comparación al de los humanos, el cual puede llegar hasta 55 o 60 [kHz], con frecuencias sensibles entre los 200 y 500 [Hz] hasta los 16 [kHz] [62, 213]. Se sabe que la capacidad auditiva de los perros puede llegar a ser cuatro veces más aguda que la de los seres humanos, en donde a una exposición prolongada a más los 90 [dB] de presión acústica, se puede dañar el oído humano. Por lo que se puede suponer que, a los mismos niveles, se tendrán los mismos daños o más notorios en los perros [62] ya que su exposición por un largo periodo puede afectarles y causarles estrés por exceso de ruido [62, 149].

Por otro lado, el rango de sensibilidad auditiva para bajas frecuencias es similar al de las personas, y va entre los 20 y los 250 [Hz] [62, 213].

Las pruebas en audición indican que los perros son más susceptibles a notas de corta duración con alta frecuencia. Es por eso que se recomienda que las ordenes sean sencillas, claras y directas con un buen tono de voz para captar su atención al máximo y que puedan responder más eficazmente [62].

Con respecto a la capacidad de los perros a detectar sonidos que las personas no, es decir, sonidos ultrasónicos, esta capacidad puede ser utilizada para adiestrarlos a ser llamados con silbatos o dispositivos que puedan generarlos. Sin embargo, la eficacia del uso del ultrasonido para evitar conductas indeseables al ser utilizada como un castigo positivo, principalmente para evitar el ladrido, es dudosa pues es posible que la intensidad del sonido puede no ser suficiente para impactar en la conducta del animal y modificarla [213].

Otro aspecto importante de los perros con respecto a la audición es su gran capacidad para detectar de donde provienen los sonidos del ambiente, de manera que es capaz de detectar fuentes de sonido con un mínimo angular de 4 [°] de separación entre éstas. Así, el perro es capaz de determinar la localización de lo que produce sonido con base en cuál de sus oídos la intensidad es más fuerte y de su capacidad cerebral para determinar la diferencia temporal en que el sonido llega a cada una de sus orejas, junto con la facultad que tienen para mover los pabellones auriculares y orientarlos a la fuente sonora [213].

I.5.D Tacto

El tacto es uno de los sentidos más importantes y desarrollado en los cachorros ya que nacen prácticamente ciegos y sordos. Ellos utilizan el contacto físico con su madre para obtener calor, comida, así como una sensación de calma [62]. También, para la micción y la defecación del cachorro, éste debe ser estimulado de manera táctil con la lengua de la madre en la región perineal [5].

Otro factor importante por el que deba existir una estimulación temprana en los cachorros por medio del tacto es que en caso contrario se puede afectar a su percepción del dolor. Por lo tanto, los cachorros al crecer no sabrán evadir estímulos dolorosos [62].

En general, los perros se auxilian de los pelos táctiles es cinco localizaciones -supraciliares, mentonianos, cigomáticos, labiales y mandibulares- para recabar información táctil cuando se encuentran en espacios reducidos u oscuros, como también para proteger los ojos y ubicar objetos cercanos [62, 213].

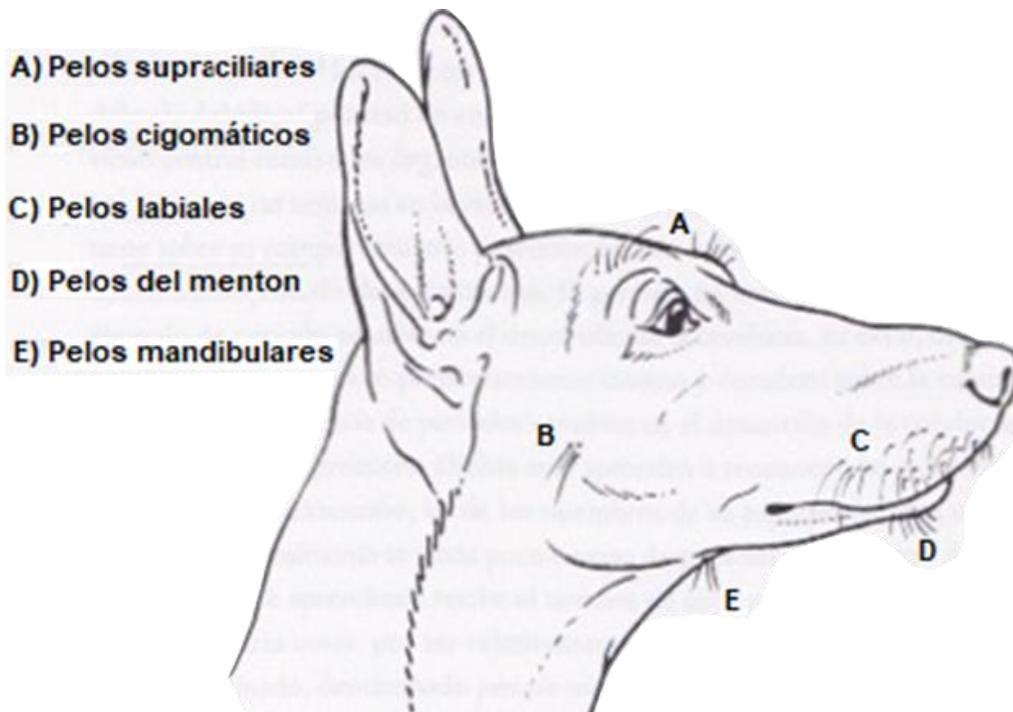


Figura 1.25 Pelos táctiles en los perros [216].

En casos de ansiedad por separación en perros, existe una necesidad táctil que provoca que éstos rocen su cuerpo y sus receptores táctiles con el cuerpo del dueño de manera constante. A esta conducta se le conoce como “velcro” [62]

I.5.E Gusto

El sentido del gusto en los perros se encuentra menos desarrollado que en los seres humanos, lo que se debe a su bajo número de receptores gustativos al tener 1700 frente a 9000 en el humano [213]. Los perros son capaces de percibir sabores tanto ácido, amargo, salado y dulce, al tratarse no solamente de carnívoros por su capacidad de cazar, si no también oportunistas omnívoros [62, 213]. El sabor amargo no es del agrado de los perros, sin embargo, para poder ser detectado por sus receptores gustativos debe alcanzar la parte posterior -el último tercio hacia la garganta- de la lengua. Este sabor es utilizado por los fabricantes de pastas y *sprays* anti-mordidas [213].

De acuerdo con su preferencia en los sabores de carne, donde es preferible para ellos aquella proveniente del buey o del cerdo que a la de cordero, pollo y caballo, se puede observar mayor preferencia a los premios hechos a base de carnes de buey o cerdo, al ver como se motivan y esfuerzan más con tal de conseguirlos [213].

Debido a que los perros poseen una preferencia al sabor, lo cual los provoca a escoger comida humana en lugar de las croquetas de consumo animal. Así mismo, no diferencian su alimento en cuanto a nutrientes, simplemente por el saborizante [62].

I.6 Estado de la técnica

Se presenta a continuación la descripción de una variedad de productos que han tratado de contribuir a la reducción de los síntomas de la ansiedad por separación en mascotas, lo cual ha llevado a la posibilidad de realizar adicionalmente una supervisión de la mascota e interactuar con ella. Es importante mencionar que en el estado del arte se omitieron ciertos productos que tenían las mismas características y funciones que los presentados, los cuales se diferenciaban principalmente por la apariencia y la empresa.

Collares y chalecos calmantes

Calming collars es una de las primeras microempresas que se empezó a preocupar por calmar la ansiedad o miedo que puede presentarse en los perros, ya sea por el mal clima (truenos), ruidos fuertes (cohetes) o al encontrarse solo en el hogar. Esto motivó a los creadores a desarrollar un collar capaz de valerse del aroma para calmar la ansiedad. Se sabe que éste puede ser útil para calmar tanto la ansiedad como también el exceso de ladridos que puede producir un perro [217].



Figura 1.26. Modelo de un *Calming collars* [218-219].

En estos collares se utiliza una mezcla de lavanda, manzanilla y bálsamo, los cuales pueden ser eficaces durante todo el día [217].

Este producto ha tenido éxito en el mercado ya que más de la mitad de los compradores lo ha calificado favorablemente, sin embargo, al ser un producto desechable, no ha sido un éxito comercial debido a que se subestima su funcionalidad, por lo que es superado por sus competidores.

Además, existen collares que utilizan feromonas para producir un efecto de relajación en las mascotas, un ejemplo es el ya mencionado ADAPTIL [147].



Figura 1.27 Collar ADAPTIL [220].

Por otro lado, otra opción que permite la reducción de la ansiedad por separación, como también el miedo producido por sonidos fuertes en las mascotas son los chalecos calmantes, cuya función se basa en la aplicación constante de presión suave en diferentes puntos del cuerpo de la mascota que les proporciona una sensación de bienestar al relajarlos [221-222].

Estos chalecos son colocados alrededor de las mascotas, y son efectivos tanto para perros como para gatos de todas las edades. Se recomienda que estos chalecos les sean puestos un poco antes de enfrentarse a situaciones que generen nerviosismo, ansiedad o miedo, con el fin de que con el tiempo la mascota no relacione el uso de estos chalecos a una posible futura situación desagradable [221-222]. Esto quiere decir que no se busca la habituación a los chalecos, sino que se cree una memoria muscular y celular, lo cual les producirá tranquilidad [221].



Figura 1.28 Chalecos de *YellowPet* y del *American Kennel Club* [221, 223].

En el mercado se pueden encontrar una variedad de estos chalecos como los comercializados por la empresa *Yellowpet* y desarrollados por la Dra. Temple Gradín en ciencia animal, quien se basó en su experiencia en una granja, donde al ganado le colocaban unas placas de metal para presionarlos suavemente y que se relajaran ante la visita de un veterinario [221].

En cuanto a los *CalmingCoat*, éstos fueron desarrollados por el *American Kennel Club*, un club canino que integra expertos en crianza, salud y entrenamiento de perros [222].

Petcam [224]

A finales del 2012, la empresa *NETGEAR* lanza a la venta uno de sus primeros productos de comunicación con las mascotas. El dispositivo con nombre *Petcam*, es un sistema de varias cámaras inalámbricas que se comunican por medio de un módem en donde llegan las señales de las distintas cámaras utilizadas. Este dispositivo se comunica con el usuario de manera inalámbrica por medio de una aplicación en celulares, lo cual permite ver en tiempo real lo que sucede en las habitaciones que son frecuentadas por las mascotas en donde fueron instaladas las cámaras.

Por otro lado, en caso de no estar al pendiente de lo que sucede en la cámara, éstas automáticamente comienzan a grabar cuando detectan movimiento, de manera que es posible observar completamente cuál es la actividad de la mascota en la habitación. En este caso, se envía una señal al dueño para informarle sobre la actividad detectada por la cámara.



Figura 1.29 *Petcam* de NETGEAR con muestra de uso de la aplicación móvil [224].

Wandant [225]

A la par, en Tokio, la empresa *Fujitsu* lanza al mercado un collar conocido como *Wandant* el cual es capaz de obtener información vital de importancia sobre la mascota, subirla a un almacenamiento de información en línea (conocido como nube) y posteriormente se despliega en el *software* para *Windows* con el fin de llevar seguimiento en estas variables de importancia para el dueño de su mascota.

Así *Wandant*, un producto único para el público nipón es capaz de contar el número de pasos de la mascota y medir así la actividad física de la misma. Adicional a esto, el collar mide los cambios de temperatura y a su vez una variable muy importante para ellos para medir la ansiedad de la mascota, que es la medición de temblores en su cuerpo o escalofríos.



Figura 1.30 *Wadant* [225].

Lamentablemente, la empresa no ofrece más información con respecto a la interpretación de las variables medidas para predecir el nivel de estrés de la mascota, pero esto ya lo interpreta el sistema durante el despliegue de información en la computadora para la supervisión del dueño.

Se desconoce si la venta en otros países se abrirá próximamente, ya que por el momento se encuentra disponible únicamente en Japón.

PetChatz [226]

Un año después, aparece el modelo inicial de *PetChatz*, el cual es una cámara web que permite tanto comunicarse e interactuar con las mascotas desde cualquier punto, dado que su comunicación es por medio de *Wi-Fi*.



Figura 1.31 *PetChatz* [227].

PetChatz es capaz de recibir y emitir llamadas a cualquier dispositivo externo al hogar (similar a *Skype*). Cuando el usuario considere necesario comunicarse con su mascota, el *PetChatz* emite un sonido de llamado hasta que la mascota se acerque y esté frente al dispositivo. La comunicación también puede ser por ambas vías: en caso de que la mascota quiera llamar al dueño, ésta puede accionar un botón e iniciar la comunicación.

Adicionalmente a este sistema, *PetChatz* incluye un pequeño compartimiento que almacena una sustancia cuya función es bajar la ansiedad de nuestras mascotas a la par que los dueños pueden estar en comunicación constante.

Finalmente, en caso de ser necesario, se le premia a la mascota dado que con esto se reforzará positivamente cuando se encuentre tranquila y no ansiosa. Así cuando el dueño presiona un botón en la videoconferencia, *PetChatz* libera de manera tranquila algún premio almacenado.

iFetch [228]

Se considera un entrenador personal para la mascota. Se trata de un producto cuya función principal es recibir y disparar pelotas, controlado por la mascota al introducir la pelota. *iFetch* pretende jugar con la mascota hasta cansarla de manera que pueda sustituir la presencia del

dueño en caso de que no se encuentre en casa o se encuentre ocupado de otra manera dentro del hogar.

iFetch tiene la capacidad de disparar hasta la distancia de 3, 6 o 9 [m]. Por el momento, se debe conectar a una fuente de electricidad o utilizar seis baterías de tipo C para 30 [h] de duración. La dimensión de las pelotas es de 3.81 [cm] de diámetro y se incluyen 3 pelotas con el equipo.

iFetch lanzado en el 2014, posteriormente se presentó el modelo *iFetch Too* para razas más grandes con pelotas de tenis normales y finalmente el *iFetch Frenzy*, cuya funcionalidad es la misma con pequeñas pelotas, pero ahora son lanzadas al nivel de piso.



Figura 1.32 *iFetch too*, *Fetch Frenzy* y *iFetch* [229].

Furbo [230]

En junio y julio del 2014 surge la empresa *Furbo*, fundada bajo el interés de evitar que los perros se quedaran demasiado tiempo solos, ya que como ellos afirman, el hecho que propulsó al desarrollo de un sistema capaz de monitorear e interactuar con las mascotas con premios fue que “los perros pasan mucho tiempo de sus vidas esperando a sus dueños en casa”.

Por ello, lanzan su producto *Furbo dog camera* el cual permite ver, hablar e interactuar con la mascota a través de actividades que la entretenga por lanzamiento de premios. Todo esto se controla de manera remota. El dispensador de este producto tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 30 premios con diámetro máximo recomendado de 1 [cm], esto con el fin que puedan ser disparados por el orificio destinado para esta función.

Furbo dog camera transmite en vivo la actividad de las mascotas en calidad 720p HD (alta definición), con un ángulo de vista de 120 [°], con capacidad de un zoom digital 4X y visión nocturna. En cuanto al sistema de audio, tiene dos vías, una por parte de la mascota y otra por parte del dueño, así mismo, cuenta con sonidos pregrabados para llamar la atención de la mascota al querer hablar con ella o al lanzar un premio.



Figura 1.33 *Furbo* [231].

Finalmente, una característica importante de este producto es el sistema de alerta de ladridos, la cual depende de la programación establecida por el dueño con respecto a la sensibilidad de detección, de manera que al detectar algún ladrido se envían notificaciones inmediatas al dueño por medio de la aplicación. Dentro de esta aplicación el dueño tiene la capacidad de verificar el sistema remotamente con las funciones de visualización de la cámara, uso del micrófono, arrojar premios y grabar o tomar fotos.

La comunicación de *Furbo* es por medio de *W-iFi* o *ethernet* y es compatible con cualquier sistema operativo de celulares.

Eyenimal [232]

Para finales del 2014, la empresa *DOGTEK* con su división *Eyenimal* desarrollaron una nueva cámara que es considerada la panacea de todo problema de dueño de una mascota, debido a que fue la primera cámara que puede ser transportada por animales.

Eyenimal busca ofrecer a los dueños la capacidad de poder ver a través de los ojos de las mascotas, dado que con una memoria de 4 [GB] y una batería portátil, se puede tener 2 [h] y media de video y sonido de lo que hacen las mascotas, visto desde su perspectiva.

Así, *Eyenimal* nos permite cubrir esos puntos ciegos que algunas cámaras tienen, ya que aun cuando el tiempo de grabación también es limitado, podemos observar precisamente qué es lo que haya hecho la mascota, pero sin la capacidad de comunicación ni interacción con la misma.

La resolución de la grabación es de 480p, el cual incluye sonido gracias a su micrófono incluido. La transferencia de datos como la carga de batería del sistema son por medio de un puerto *USB* (bus serial universal).



Figura 1.34 *Eyenimal* camera [232].

Petcube [233-235]

Cercano al lanzamiento del *Eyenimal*, *Petcube* llega con una forma nueva de interactuar con las mascotas cuando el dueño no puede encontrarse con ella. Así, *Petcube* al basarse en la comunicación y la importancia de enviar ciertas órdenes a las mascotas, replica la posibilidad de observar en tiempo real qué sucede en el hogar, al escuchar y emitir la voz del dueño, pero sin la capacidad de que la mascota pueda verlo.



Figura 1.35 *Petcube* [236].

Lo interesante es la incorporación de un rayo láser cuya finalidad es que, por medio de la aplicación para celulares de *Petcube* (por donde igual se transmite el video), cuando apunta el dueño a alguna zona de la pantalla (la cual simula el área de proyección en el piso del hogar), se dispara el láser, lo que puede mantener entretenidas a las mascotas al seguirlo.

Este producto ha evolucionado en los últimos años, al ofrecer actualmente un segundo producto llamado *Petcube Bites* el cual permite suministrar premios a la mascota cuando el dueño lo indique. Por otro lado, también existe la posibilidad de contratar un servicio de manera que cuando el dueño se encuentre ocupado y no pueda observar qué sucede con su mascota,

Petcube reacciona automáticamente ante cualquier sonido o movimiento y se le comunica al dueño por medio de alertas al celular. En el tiempo que el dueño atiende a estas alertas, *Petcube* es capaz de entretener de manera autónoma a la mascota y después de un cierto tiempo, sube el video a una nube para poder acceder posteriormente si es necesario.

Las capacidades actuales de sus productos son grabación en 1080p *HD* con un rango de 138 [°] y visión nocturna incluida. Además, es posible realizar *zoom* digital hasta tres veces.

Actualmente, la empresa acaba de adicionar un nuevo servicio de almacenamiento en una nube, dado que su más nuevo producto el *Petcube bites* no posee memoria interna, lo que puede esperarse que los nuevos modelos de los productos ya existentes tengan que ser ajustados a este servicio con un costo extra. Además, en este modelo se incluye una nueva característica al observar la importancia de interactuar con la mascota, con la posibilidad de disparar a corta distancia premios para el perro.

***EyeOn Pet Monitor* [237]**

Con el gran mercado en auge sobre la vigilancia y las mascotas, en el mes de noviembre del 2014 sale a la venta *EyeOn Pet Monitor*, el cual posee la forma y movimiento de una cámara común de vigilancia, con la posibilidad de moverse horizontal y verticalmente

EyeOn Pet Monitor se presenta con la novedad de un sensor de temperatura, que permite saber al dueño cómo se encuentra el ambiente de su mascota. Ambos modelos ofrecen también la capacidad de hacer *zoom*, y poder girar a voluntad para poder captar en casi 360 [°] la actividad de la mascota dentro de la casa.

La calidad de video se mantiene en 720p *HD* en tiempo real, con la capacidad de poder tomar fotografías y video en caso de que el dueño lo desee. Como la mayoría de las cámaras hasta el momento, se pueden programar alarmas en caso de detectar sonido y movimiento, o en ciertos casos, patrones de movimiento programados a la cámara. Otra característica importante es la posibilidad de observar de noche por medio de su visión nocturna incluida.



Figura 1.36 *EyeOn Pet Monitor* [237].

Lo que hace el diseño de esta cámara diferente de aquellas que sólo tienen la función de vigilancia, es la capacidad de poder recibir y enviar sonidos de manera que puede existir comunicación dueño y mascota, aunque la posibilidad de que la mascota observe al dueño es inexistente.

Finalmente, otras dos características que marcan a esta nueva cámara de *Link-D* es la portabilidad dado que puede ser alimentado por una batería externa, como también la capacidad de reproducir cinco temas clásicos precargados con el fin de calmar y evitar la ansiedad de la mascota. Estos sonidos son controlados y emitidos cuando el dueño lo considere necesario por medio de la aplicación para celulares.

Sonic Birdhouse [238]

A inicios del 2015 de nuevo *DOGTEK* lanza un dispositivo en forma de casa de pájaros, el cual posee tres tipos de señales anti-ladridos para interiores y exteriores. Este sistema cuenta con tres sensores en diferentes ángulos para una precisa detección de ladrido en un radio de 15 [m] . Este dispositivo utiliza una bocina que emite un sonido ultrasónico audible únicamente para los perros como señal para detener su ladrido en el rango mencionado.



Figura 1.37 *Sonic birdhouse* de *DOGTEK* [239].

Motorola BARK200U [240]

Otro dispositivo desarrollado para el control de los ladridos excesivos producidos por las mascotas es el *BARK200U* de Motorola, el cual por medio de sensores de vibración detecta si la mascota ladra y produce un sonido ultrasónico imperceptible para los humanos a los 5 [s] de que el perro continúe con los ladridos.

El tiempo de 5 [s] es con el fin de que los perros puedan ladrar durante ese tiempo y poderse expresar. En caso de que los ladridos persistan el nivel del sonido ultrasónico incrementará, sin llegar a lastimar al perro. El dispositivo posee dos emisores ultrasónicos resistentes al agua que apuntan hacia el perro.



Figura 1.38 BARK200U de Motorola [240].

FitBark [241]

Por otro lado, mientras *DOGTEK* sacaba al mercado su producto *Sonic birdhouse*, *FitBark* aparece de igual forma, como un complemento para el collar de las mascotas, el cual, aun cuando es un seguidor de posición de las mascotas, es capaz de obtener información sobre la salud de ella de manera precisa como es la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, tiempo de sueño, determinar en qué momento se enferma la mascota, entre otra información importante. Además, es capaz de utilizar esta información para realizar un análisis de hiperactividad, actividad destructiva, ansiedad y búsqueda de la atención, y es posible observar esta información en su aplicación de celular.



Figura 1.39 FitBark [242].

Motorola SCOUT 5000 GPS Pet Tracker [136, 243-244]

En el año 2015, la compañía estadounidense *Motorola* sacó un collar aprueba de agua que posee una cámara integrada para la transmisión en vivo desde la perspectiva de la mascota, con una resolución de *720p HD* con un ángulo de visión de 127° . Además, se contaba con la posibilidad de grabar y guardar la información por medio de una aplicación en el teléfono celular o en una memoria integrada en el dispositivo.

Se incluía también un diodo *LED* (diodo emisor de luz), el cual era utilizado para alumbrar la visión de la cámara y poder observar la ubicación de la mascota en espacios oscuros. Se tenía la posibilidad de comunicarse con la mascota por medio de una bocina en el collar, como también escuchar a la mascota y los ruidos del ambiente en el que se encuentre.

Por último, el dispositivo contaba con una antena GPS para el rastreo de la mascota y para notificar por medio de una alerta en caso de que la mascota saliera de una zona preestablecida.

Sin embargo, para poder hacer uso de las funciones del sistema se requería de una suscripción anual, la cual la empresa regalaba el primer año tras la adquisición; esta suscripción era para enlazar el dispositivo a una red móvil cuando el perro se alejaba de la casa y la red *Wi-Fi*. Desafortunadamente, este producto ya no se encuentra en comercialización, además de que las funciones de la *app* fueron suspendidas permanentemente.



Figura 1.40 *Motorola SCOUT 5000* [244].

Kyon [138, 141]

Este collar fue anunciado en 2016 para empezar a comercializarse a partir del 2018, el cual cuenta con un sistema de localización *GPS* que ayuda a rastrear a la mascota y tiene un área de seguridad que cuando el perro se aleja manda un aviso.

Así mismo, este dispositivo puede detectar a través de dos sensores de temperatura, un acelerómetro de 9 ejes, un giroscopio, un magnetómetro y un sensor de presión barométrica, el estado de la mascota, es decir, indica su temperatura, si se encuentra en lo alto de un edificio, si está agitado o dormido e incluso si se encuentra dentro del agua.

El collar tiene una pantalla *LED* que muestra toda la información en frases como “tengo calor”, “estoy enfermo”, “estoy perdido, favor de llamar a”, entre otras de acuerdo con el estado de la mascota.

Su diseño está pensado para poder ser usado por cualquier tipo de perro, sin importar su peso o talla; también se encuentra en diferentes colores y es resistente al agua.

El funcionamiento es a través de *Wi-Fi* local y la red móvil, para conectarse a la aplicación y ofrecer las alertas junto con la información de la mascota.

Desde el modo manual se puede activar la emisión de un ultrasonido cuando el perro ladre, con el fin de que se calme y no lo haga; en el modo automático desde la estación de acoplamiento se puede identificar el ladrido para mandar la indicación al collar y se emita el ultrasonido, claro, este modo sólo funciona cuando el perro se encuentra en la casa.



Figura 1.41 *Kyon* y estación de carga [245].

La estación de carga se comunica por medio de un *Bluetooth* de baja energía –también conocido como *beacon-* y *Wi-Fi* con la aplicación, el collar y el servidor de *Kyon*. La vida de la batería es de 30 días, con lo que el dueño puede despreocuparse por cargar a diario el collar y sufrir algún percance al salir su perro y no estar cargado el dispositivo.

Pet Vision Live HD [246]

A inicios del 2016, de nuevo *EYENIMAL* lanza al mercado un nuevo producto llamado *Pet Vision Live HD*, el cual es una cámara de video que permite el monitoreo de las mascotas de manera remota por medio de *Wi-Fi* en los dispositivos *Android*. En caso de ser utilizado en la noche, cuenta con un sistema de visión nocturna por infrarrojos con una distancia máxima de visión de 10 [m].



Figura 1.42 *Pet Vision Live HD* [246].

Esta cámara posee una rotación controlada por medio de su aplicación con 270 [°] de manera horizontal y 80 [°] de manera vertical. Adicionalmente cuenta con un micrófono y bocina con el fin de entablar una comunicación de dos vías entre el dueño y la mascota. En caso de que no se utilice la visión por parte del dueño, la cámara cuenta con un detector de movimiento que permite enviarle notificaciones.

Finalmente, esta cámara permite un monitoreo no solo de una persona, sino de diez usuarios a la vez, lo cual permite un continuo monitoreo de la mascota.

Motorola SCOUT66 [247]

Motorola también se ha adentrado a las cámaras de vigilancia de mascotas dentro del hogar, con su cámara *SCOUT66*, la cual mantiene siempre un ojo sobre la mascota para observarla a través de un celular, tableta o computadora.

Esta cámara de alta definición funciona con *Wi-Fi* y una aplicación, que está basada de una nube, donde es posible tomar fotografías y grabar lo que se observe (con planes para grabar desde 24 [h], 7 días o hasta 1 mes). La cámara ofrece una transmisión en tiempo real a 120p con una visión de 60 [°], además de tener la posibilidad de visualizar el contenido de día y de noche gracias a su visión nocturna.

Por otro lado, la *SCOUT66* permite establecer una comunicación de dos vías para estar en contacto con la mascota, al escuchar y hablar con ella. Así mismo, el dispositivo cuenta con un sensor de temperatura y de sonido, lo que permite saber el estado del ambiente en que se encuentra la mascota.

Sin embargo, esta cámara no tiene la posibilidad de giro y se encuentra limitada a enfocar hacia un punto solamente, pero es posible expandir la red con hasta 10 cámaras conectadas.



Figura 1.43 SCOUT66 de *Motorola* [247].

PlayDate [248]

El 27 de mayo del 2016 salió a la luz *PlayDate*, considerada como la primera cámara para mascotas en una pequeña bola. Se trata de una pequeña cámara que interactúa con la mascota, controlada por medio de un *smartphone*, y que puede ser utilizada por perros y gatos como un juguete controlado a larga distancia.



Figura 1.44 “*PlayDate*” [249].

PlayDate permite observar, tomar fotos y filmar a la mascota mientras juega o se encuentre en la misma sala que la pelota. Pero al mismo tiempo, se cuenta con un control de movimiento que permite a *PlayDate* desplazarse por la casa y lograr ubicar a la mascota por medio de *beacons* en caso de que no juegue con el dispositivo.

Este dispositivo cuenta con un micrófono que permite escuchar el sonido de la mascota, como también una bocina para poder enviar audio hacia la mascota por medio del celular. También incluye sonidos de juguetes para poder llamar su atención. La calidad de video de la cámara es *HD* con un estabilizador de imagen.

En caso de no poseer o poder manejar el celular por distintas cuestiones, *PlayDate* ofrece a su público una página *web* que permite acceder a las mismas funciones que en la aplicación.

Pebby [250]

El día ocho de marzo del 2017 se presentó el producto *Pebby*, el cual promete hacer la relación a larga distancia con las mascotas más divertida. Este producto consta en una bola con iluminación y cámara integrada la cual aparenta ser una pelota de juego para gatos y perros. Se refieren a éste como una bola mecanizada controlada por celular, la cual busca mantener a las mascotas activas, con la posibilidad de comunicarse y jugar con sus dueños a distancia por medio de *Wi-Fi*. Se encuentra diseñado con dos modalidades de juego: uno monitoreado por cámara y controlado a través de un *smartphone* a distancia; y el segundo al utilizar un *beacon* ubicado en el collar de la mascota, con el que la bola lo sigue o escapa de él.

Pebby permite a los dueños activar alarmas y avisarle cuando la mascota juegue con *Pebby*. El collar también obtiene información *fitness* con resultados que el dueño puede observar en la aplicación.

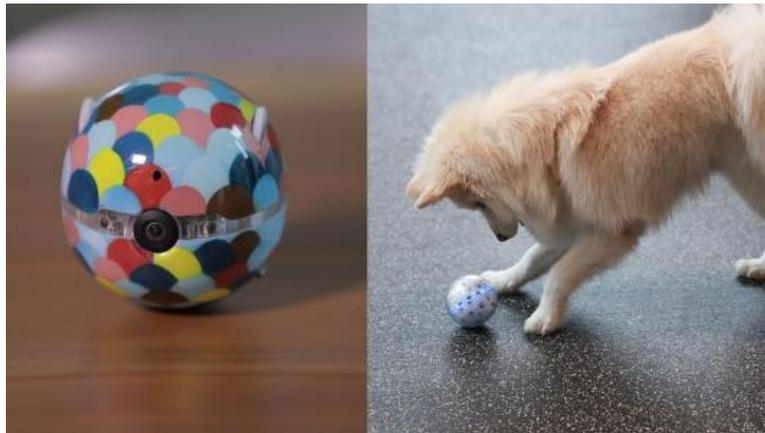


Figura 1.45 *Pebby* [251].

La batería del collar dura entre ocho y doce días mientras que el sistema en general puede funcionar 90 minutos o 15 [h], ya sea durante el juego o *standby*, respectivamente. La batería de la bola es cargada con una plataforma que permite la carga por inducción.

Las características de la cámara son controladas por *Wi-Fi* con una resolución de 720p con la posibilidad única de capturar video en tiempo real. Adicionalmente cuenta con un sistema de audio para recibir y emitir sonido (emitir un chillido de pelota).

Una característica adicional es la integración de un láser y luces *LED* para jugar y adaptar la pelota a gusto, respectivamente.

Este producto se encuentra en etapa de financiamiento en la plataforma de *Kickstarter*

Buddy + [252]

A finales del 2017, se lanzó un *Kickstarter* para la empresa *Anthouse Technology Ltd.*, para desarrollar un robot que serviría como compañero de los perros cuando éstos se encuentren solos en casa y puedan tener a alguien con quien interactuar.

Este dispositivo funciona de manera conjunta con una aplicación para celulares que es utilizada para controlar el movimiento del robot. Además, a través de esta aplicación, se puede observar la transmisión en vivo -por medio de una cámara de 120[°]- para controlar al sistema y supervisar a la mascota. También es posible por medio de la aplicación utilizar las funciones como entrega de premios, control de velocidades de las ruedas en 3 niveles -correr, caminar o trotar- según las preferencias del dueño, grabar, tomar fotografías, y poder comunicarse entre el dueño y la mascota.



Figura 1.46 *Buddy +* versión amarilla [253].

Además, este dispositivo permite jugar con la mascota al incluir un lanzador de pelotas controlado por el dueño, que se pueden lanzar a una distancia de 2.5 [m], 5 [m] y 8 [m]. La batería del dispositivo se registra que puede durar entre los 160 y 320 minutos, con un tiempo de carga de 4 [h], y con capacidad de ir a una estación de carga inalámbrica automáticamente.

Finalmente, el dispositivo tiene un peso de 6.2 [kg] y el polímero utilizado para el diseño es policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno o también conocido como ABS + PC.

No se cuenta con fecha de lanzamiento preciso, debido a que, en la página de *Kickstarter*, aun cuando la fecha de envío previsto fue a inicios del presente año, actualmente no hay una fecha publicada del mismo.

MIA [254-255]

En mayo del 2018, otro sistema apareció en el sitio *Kickstarter* para acompañar a las mascotas cuando éstas se quedan solas en casa. La empresa *Kolony Robotic Inc.* introduce al robot amistoso *MIA* el cual es denominado el primer juguete interactivo para mascotas que se mueve de manera autónoma dentro de la casa, y evita obstáculos como también escaleras.

Este robot es capaz de interactuar con las mascotas por medio de un juego con entrega de premios, el cual debe ser programado por horario o se puede activar solo al escuchar ladridos por medio de un dispositivo adicional para detectarlos. Este último, llamado *WOOFBOX* sirve también para distraer a la mascota en caso de que inicie a ladrar, además de mandar notificaciones cuando lo haga.

La empresa afirma que este sistema permite reducir la ansiedad por separación que sufren las mascotas cuando sus dueños se van de casa, además de que puede permitir reducir el peso de las mascotas al mantenerlas activas.



Figura 1.47 *MIA* en interacción con las mascotas [256].

Así mismo, el robot tiene una pantalla que proyecta ojos personalizables por medio de una aplicación, que también permite ajustar el número de premios a entregar a lo largo de día, los horarios de juegos del robot y la velocidad del sistema.

Finalmente, se incluye otro dispositivo llamado *MIACAM* que incluye una cámara estacionaria y puede ser colocada en cualquier espacio de la casa y activarse cuando *MIA* lo haga. Esto se puede observar a través de la aplicación ya mencionada.

Tras analizar el estado del arte sobre los dispositivos de supervisión de mascotas en los hogares, la tendencia actual de los productos es contar con cuatro principales factores:

- 🐾 Visión para el dueño de la mascota por medio de una cámara colocada en alguna zona de la casa.
- 🐾 Comunicación de dos vías -Dueño-Mascota- al incluir bocinas.
- 🐾 Interacción básica con la mascota por medio de premios o por láser.
- 🐾 Uso de interfaz diseñada para una aplicación de *Android* o *iOS*, para el control del dispositivo por medio del usuario.

Se observó que el mercado actual de estos productos es diverso y con diferentes funciones, aunque se encuentra en crecimiento, y existe una muy buena competencia entre ciertas empresas con respecto a la calidad del monitoreo, la comunicación y claramente la capacidad de evitar que las mascotas hagan acciones no deseadas dentro del hogar por causa de la ansiedad por separación y aburrimiento, al ofrecerles entretenimiento y contacto con su dueño al encontrarse separados.

Sin embargo, fue *MIA* el único prototipo que incluía la capacidad de movilidad de la cámara en conjunto con el sistema para evitar que se pueda supervisar solo el espacio en donde el cámara haya sido posicionada; con la excepción del modelo *Motorola SCOUT 5000* y *Eyenimal*, debido a que son una cámara en el collar de la mascota y solo se puede observar su punto de vista, mas no el estado del ambiente en el que se encuentra de manera general ni el de la mascota.

Además, *MIA* muestra un movimiento independiente a la mascota, por lo que el seguimiento se hace al llamar la atención por medio de premios o solo cuando el usuario accede por medio de la app para revisar a la mascota de manera manual como también lo hace el *Buddy +*.

Por otro lado, *Pebby* sí ofrece la posibilidad de hacer seguimiento de la mascota de manera independiente, si se encuentra en un área próxima a ella, debido a que es un dispositivo dirigido al juego de perseguir a la pelota. Sin embargo, este seguimiento automático se da cuando el usuario accede por medio de la aplicación y activa el juego, con la posibilidad de controlarlo manualmente también, pero la opción de supervisión se da solamente a través de la *app*, por lo que no se sabe qué sucedió el resto del tiempo en ausencia del dueño.



Capítulo II. Diseño conceptual

La metodología de diseño utilizada para lograr concebir y desarrollar un sistema se basa de aquella presentado por K. T. Ulrich y S. D. Eppinger en su libro *Diseño y desarrollo de productos*, ya que es un método estructurado que permite al equipo de trabajo una toma de decisiones fundamentada y ordenada, así como hacer un registro para una consulta futura de acuerdo con las oportunidades de mejora del sistema [257]. A su vez, el método citado invita a su adaptación y modificación de acuerdo con las necesidades a satisfacer del equipo de trabajo y que sea un reflejo de su ambiente institucional [257].

Así, en este capítulo se realiza el primer paso por medio de la identificación de necesidades y sus respectivas especificaciones que permita determinar los elementos que deberá poseer dicho sistema. Posteriormente, se hace la sistematización del proyecto al descomponerlo en subsistemas, lo que permitirá tener un mejor análisis y comprensión del papel de cada uno dentro del sistema final, como también plantear de mejor forma diferentes soluciones de los posibles subsistemas, lo que permitirá generar y evaluar diferentes conceptos del sistema hasta su elección.

Es importante aclarar los agentes presentes en el proceso de diseño del sistema en donde los clientes son los dueños de las mascotas que desean y buscan adquirir el producto que a su vez fungen como usuarios junto con las propias mascotas al interactuar con el sistema y utilizarlo.

II.1 Identificación del problema

Actualmente los perros (considerados la mascota más popular en los hogares mexicanos) pueden presentar ansiedad por separación al encontrarse solos en la casa debido a que son animales sociales con necesidad de convivir en un grupo y que han pasado a ser un miembro más de las familias, lo que provoca que presenten un apego excesivo, neotenia y sean humanizados en algunos casos por sus dueños, lo que agrava aún más el problema.

Esta alteración de la conducta produce comportamientos no deseados por sus dueños dentro de los hogares, que pueden llegar a causar aparición de castigos excesivos o violencia, confinamiento, deterioro de la relación dueño-mascota al generar desconfianza en ella, y finalmente su abandono o eutanasia. Entre los principales comportamientos indeseados se encuentra la defecación y orina dentro del hogar, ladrido excesivo y la destrucción de objetos al morderlos.

Además, no es fácil contar con los indicadores o señales que proporcionen directamente información para el diagnóstico de ansiedad por separación en las mascotas; por otra parte, los dueños podrían mal interpretar las señales indirectas como una venganza, sin consultarlo con un veterinario o etólogo que pueda orientarlos con base en la información obtenida.

II.2 Identificación de necesidades

Una necesidad es un atributo o requisito del sistema que se busque satisfacer de acuerdo con los objetivos, independientemente del sistema que sea posible desarrollar.

Las necesidades para poder resolver la problemática planteada y los objetivos planteados se identifican a partir del análisis de los acercamientos de los productos desarrollados enfocados a la resolución de los problemas ya mencionados en el estado de la técnica, de las recomendaciones hechas por etólogos que se presentaron en el capítulo I en el apartado de ansiedad por separación, así como de la experiencia del equipo de trabajo de acuerdo con su posición de sujeto como dueños de una mascota canina.

Para un sistema (S) que se encontrará en contacto con una mascota canina para interactuar con ella y supervisarla se detectan las siguientes necesidades:

-  El S cuenta con una batería recargable y con duración de al menos una jornada laboral.
-  El S graba lo que sucede al alrededor de la mascota.
-  El S transmite en tiempo real lo que sucede.
-  El S puede visualizar a la mascota en cualquier lugar en donde se encuentre.
-  El S es capaz de trabajar con cualquier tamaño y raza de mascota de perro adulto.
-  El S establece una comunicación de dos vías.
-  El S cuenta con acceso remoto
-  El S puede ser controlado manualmente
-  El S entretiene a la mascota.
-  El S entrega premios.
-  El S avisa al dueño cuando se presentan ladridos o ruidos fuertes.
-  El S tiene un tamaño adecuado para interactuar con la mascota y evadir obstáculos.
-  El S emite sonidos o alertas a la mascota.
-  El S está fabricado de un material apto para interactuar con la mascota.
-  El S detecta información sobre el estado de salud de la mascota.
-  El S cuenta con una memoria suficiente para almacenar información.
-  El S funciona autónoma e independientemente si el dueño está o no conectado.
-  El S es capaz de evadir a la mascota para no sufrir daño.
-  El S es inofensivo para la mascota.
-  El S es capaz de corregir a la mascota ante un comportamiento indeseado.
-  El S cuenta con iluminación para ambientes oscuros.
-  El S es capaz de distraer o captar la atención de la mascota.
-  El S posee elementos que ayudan a calmar a la mascota.
-  El S comienza a operar antes de que el dueño se retire o al estar en otra habitación.

Una vez que se han identificado las necesidades para el sistema a desarrollar, debido a que se cuenta con un gran número de éstas, se realiza una jerarquización con el fin de tener en cuenta aquellas que presentan una mayor importancia en el proceso de diseño con respecto a la necesidad de implementación de elementos para lograr la funcionalidad del sistema y satisfacer el objetivo planteado. Esta jerarquización se hace al empezar con aquellas necesidades con mayor importancia y atribuirles un número que va de manera ascendente al comenzar con el número 1.

- 1) El S puede visualizar a la mascota en cualquier lugar en donde se encuentre.
- 2) El S cuenta con una batería recargable y con duración de al menos una jornada laboral.
- 3) El S funciona autónoma e independientemente si el dueño está o no conectado.
- 4) El S es capaz de trabajar con cualquier tamaño y raza de mascota de perro adulto.
- 5) El S es capaz de evadir a la mascota para no sufrir daño.
- 6) El S es inofensivo para la mascota.
- 7) El S graba lo que sucede alrededor de la mascota.
- 8) El S cuenta con una memoria suficiente para almacenar información.
- 9) El S cuenta con acceso remoto
- 10) El S establece una comunicación de dos vías.
- 11) El S transmite en tiempo real lo que sucede.
- 12) El S puede ser controlado manualmente.
- 13) El S es capaz de distraer o captar la atención de la mascota.
- 14) El S emite sonidos o alertas a la mascota.
- 15) El S tiene un tamaño adecuado para interactuar con la mascota y evadir obstáculos.
- 16) El S entrega premios.
- 17) El S es capaz de corregir a la mascota ante un comportamiento indeseado.
- 18) El S comienza a operar antes de que el dueño se retire o al estar en otra habitación.
- 19) El S cuenta con iluminación para ambientes oscuros.
- 20) El S avisa al dueño cuando se presentan ladridos o ruidos fuertes.
- 21) El S entretiene a la mascota.
- 22) El S posee elementos que ayudan a calmar a la mascota.
- 23) El S detecta información sobre el estado de salud de la mascota.
- 24) El S está fabricado de un material apto para interactuar con la mascota.

De acuerdo con esta jerarquización de las necesidades propuesta se realizarán los siguientes pasos del proceso de diseño.

II.3 Generación de especificaciones

Con base en las necesidades identificadas se busca por medio de las especificaciones objetivo contar con los parámetros que permitirán tener de manera objetiva cómo satisfacerlas y visualizar lo que el sistema busca hacer y posteriormente sus posibles soluciones. En otras

palabras, las necesidades se traducen en un elemento medible y cuantificable, por lo que es posible establecer un valor y una métrica que permitan al sistema satisfacer las necesidades en su funcionamiento, sin tener en cuenta las restricciones tecnológicas que se puedan presentar posteriormente [257].

No. de especificación	No. de jerarquía Asociada a la necesidad	Métrica	Valor ideal	Valor aceptable	Unidades
1	1, 3, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 20, 21	Retraso en la comunicación	<0.1	1	[s]
2	7, 8	Memoria de almacenamiento	64	16	[GB]
3	2	Periodo de funcionamiento continuo	8	4	[h]
4	12, 13, 16, 21, 22	Almacenamiento de Premios	5	3	Porciones
5	1, 3, 5, 6, 7, 15, 18	Distancia de separación con la mascota	1-2	0.5	[m]
6	8, 12, 13, 14, 17	Sonidos pregrabados	10	5	Sonidos
7	3, 5, 15, 18	Distancia de detección de obstáculos	20	10	[cm]
8	3, 4, 7, 15, 18	Tamaño de la mascota	Todas	Mediano	Talla
9	4, 5, 15	Dimensión del sistema (Ancho x Largo x Alto)	20x30x50	15x25x20	[cm]
10	1, 3, 6, 12, 18	Velocidad del sistema	0.5	0.1	[m/s]
11	16	Dimensiones máximas de los premios (Ancho x Largo x Alto)	<3x4x2	<6x5x4	[cm]
12	2	Alimentación para carga	5,2	5,1	[V], [A]
13	2	Capacidad energética de la pila	20000	10000	[mAh]
14	2	Voltaje	5	12	[V]
15	1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 17, 18	Área de trabajo	200	50	[m ²]
16	3, 5, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21	Tiempo de respuesta del sistema	<0.1	1	[s]
17	20	Tiempo de ladrido libre para perro	5	10	[s]
18	1, 7, 12	Ángulo de visión	180	50	[°]
19	1, 7	Resolución de imagen	1280x720	640x360	[p]
20	1, 7	Frecuencia de imagen	60	30	[fps]
21	6, 10, 12, 13, 14, 17	Potencia de sonido	<60	<85	[dB]
22	10, 12, 13, 14, 17	Frecuencia de sonido	<16000	<3000	[Hz]
23	6, 12, 21, 22	Medios de entretenimiento	4	2	Medios
24	22	Medios para calmar a la mascota	3	1	Elementos
25	9, 10, 12, 13, 14, 17, 21	Medios para llamar la atención	3	2	Medios
26	6, 8, 22, 23	Información vital de la mascota	2	1	Signos
27	24	Material	Plástico	Metal	Material
28	1, 19	Angulo de iluminación	>60	<60	[°]

Tabla 2.1 Especificaciones de las necesidades del sistema.

Cuando se habla del retraso de la comunicación, se hace referencia a la rapidez en el que el sistema recibe o envía información al encontrarse conectado el usuario de manera remota, lo cual influye directamente en la dinámica del sistema para poder realizar las acciones deseadas. El tiempo de retraso se espera sea próximo a cero, lo que dependerá principalmente del tipo de conexión que se tendrá.

Para el periodo de funcionamiento continuo se espera cubrir principalmente entre los primeros 20-30 minutos hasta una 1 [h] de que el dueño se haya retirado del hogar, debido a que, como ya se comentó, es en este periodo cuando se presentan las señales directas de la ansiedad por separación. Sin embargo, se tiene presente que tanto la jornada laboral de algún integrante de la familia, como también el horario de estudio en las escuelas varían -se toman en cuenta estas actividades ya que son aquellas que pueden absorber más tiempo fuera del hogar- y son de más de 1 [h] por lo que el tiempo ideal sería de 8 [h] al ser ese lapso el máximo establecido para una jornada laboral por la normativa mexicana [258].

Por otro lado, la alimentación para carga se refiere al tipo de suministro energético que debe proporcionar un cargador para poder restablecer la energía a la batería interna recargable. Al tenerse contemplada una batería con una capacidad energética alta que pueda soportar lo establecido para el periodo de funcionamiento, entre mayor sea la corriente que este elemento proporcione, el ciclo de carga será más rápido.

El retraso que existe entre la interpretación de la señal enviada por el usuario y la ejecución de alguna acción a partir de la interpretación de ésta o de manera autónoma indican la velocidad que hay para la respuesta del sistema, la cual se espera que sea próxima a cero o de al menos un segundo, ya que al tratarse de un sistema que trabajará de manera remota con una mascota cuyos movimientos son impredecibles, es importante que la toma de decisiones por parte del sistema como su ejecución sean lo más rápidas posible.

El ángulo de visión se refiere al área de trabajo que será cubierta desde el punto de vista del sistema de acuerdo con la tecnología de visión que posea. Se espera que al menos con 50 [°] se pueda percibir la actividad de la mascota como también una región del ambiente en el que se encuentra, con tal de obtener la mayor información sobre su actividad, aunque lo ideal sería 180 [°] para percibir aún más información, tener una vista amplia y cubrir más espacio, lo que se equipararía al ángulo de visión horizontal del ojo humano [62, 259].

Como se ha mencionado antes se requiere llevar una rutina de ejercicios para la mascota, es por eso que los medios de entretenimiento se refieren a aquellos, que podrán entretenerlo de manera rutinaria para que la mascota se familiarice y forme un apego al sistema.

Los medios de entretenimiento serían las actividades que ejecute el sistema para divertir y ejercitar a la mascota. En el mejor de los casos se podrían implementar cuatro opciones que serían el jugar a lanzar la pelota, perseguir al sistema, entregar un juguete y esconder premios. En el caso de que se cuente solo con dos actividades serían las que más les llamen la atención a los perros como el lanzar la pelota y un juguete.

En cuanto a los medios para calmar a la mascota se habla de los métodos alternativos para relajarlas ya sea por medio de aromaterapia, audiolibros o premios con pasiflora. Se tienen contempladas las tres posibilidades que pueden estar juntas o al menos escoger una como auxiliar.

Por otro lado, los medios para llamar la atención pueden ser algún suceso que sea capaz de distraer al perro y hacer que se enfoque en algo distinto a la conducta no deseada. En este punto puede contemplarse una llamada de atención fuerte y rápida, ya sea pregrabada o a través del micrófono cuando el dueño observe al perro y se haya presentado una conducta como morder o ladrar sin parar. Así mismo, las llamadas de atención pueden funcionar como condicionamiento operante, lo que sería de ayuda en cuanto al reforzamiento cuando ya se entrene a un perro.

Para los casos en donde la mascota se encuentre sola durante la tarde-noche y no se contempló dejar una luz encendida -recomendado para que la mascota pueda sentirse segura y visualizar mejor su ambiente-, el sistema puede contar con iluminación auxiliar para poder operar y visualizar correctamente con poca luz. Para esto se considera el ángulo de iluminación para determinar la concentración de la intensidad luminosa en un cierto rango, por lo que un ángulo entre 60 [°] y 90 [°] permitirá tener una iluminación de una mayor zona horizontal con una buena profundidad para poder visualizar a la mascota a una cierta distancia y no tan pegado.

Finalmente, el tipo de material ideal del que se encontrará conformada la estructura física del sistema sería el plástico ya que ofrece una gran cantidad de diferentes características de acuerdo con el tipo de polímero que se podría utilizar, en este caso para resistir rasguños, mordidas golpes o caídas. Además, este tipo de material (ya sea policarbonato, vinilo, caucho natural, polipropileno o polietileno, siempre no contengan Bisfenol A ni Ftalatos [250, 252, 254, 260-262]) se encuentra como uno de los más utilizados en la industria de accesorios y juguetes tanto para perros como para bebés, por lo que se podrá utilizar como referencia para su selección, pues existe una variedad de éstos que no imponen algún riesgo en la salud de la mascota al ser ingeridos y no son conductores eléctricos; así mismo, el material debe ser a prueba de agua, así como de mordidas. Sin embargo, otro material que podría ofrecer las mismas características sería algún tipo de metal, aunque se tomarían en cuenta las consideraciones necesarias para el plástico, sobre todo en la parte de conductividad.

II.4 Sistematización

Una vez que las especificaciones hayan dado las directivas suficientes sobre lo que se planea diseñar, se procede a realizar un análisis sistemático del proyecto el cual permitirá tener una mejor visualización de los elementos necesarios para satisfacer el objetivo y cómo éstos interactúan entre sí. Además, este tipo de enfoque permitirá poder desarrollar cada subsistema por separado, para posteriormente incorporarlo al sistema general con mayor facilidad.

II.4.A Diagrama de caja negra

Para comenzar con la sistematización, es necesario tener presente las posibles entradas y las salidas esperadas del sistema, sin tener en cuenta como serán procesadas. Esto se puede representar de mejor manera por medio de un diagrama de caja negra.



Figura 2.1 Diagrama de caja negra para el sistema.

II.4.B Subsistemas funcionales

Una vez que se hayan establecido las salidas esperadas por parte del sistema, es momento de visualizar con más detalle los procesos que suceden dentro de la caja negra para transformar las entradas mencionadas en lo esperado por el proyecto. Una forma de ver este procesamiento es por medio de la interacción de subsistemas entre sí en donde se realizan las funciones específicas a partir de las entradas para lograr el objetivo. Además, de esta forma se podrá atacar cada sistema por separado y de manera más detallada, al proponer soluciones específicas, y desarrollarlas al tener en cuenta su relación con los demás subsistemas.

En la siguiente figura se puede ver una representación de la interacción entre los subsistemas del proyecto junto con las entradas y salidas de la figura 2.1.

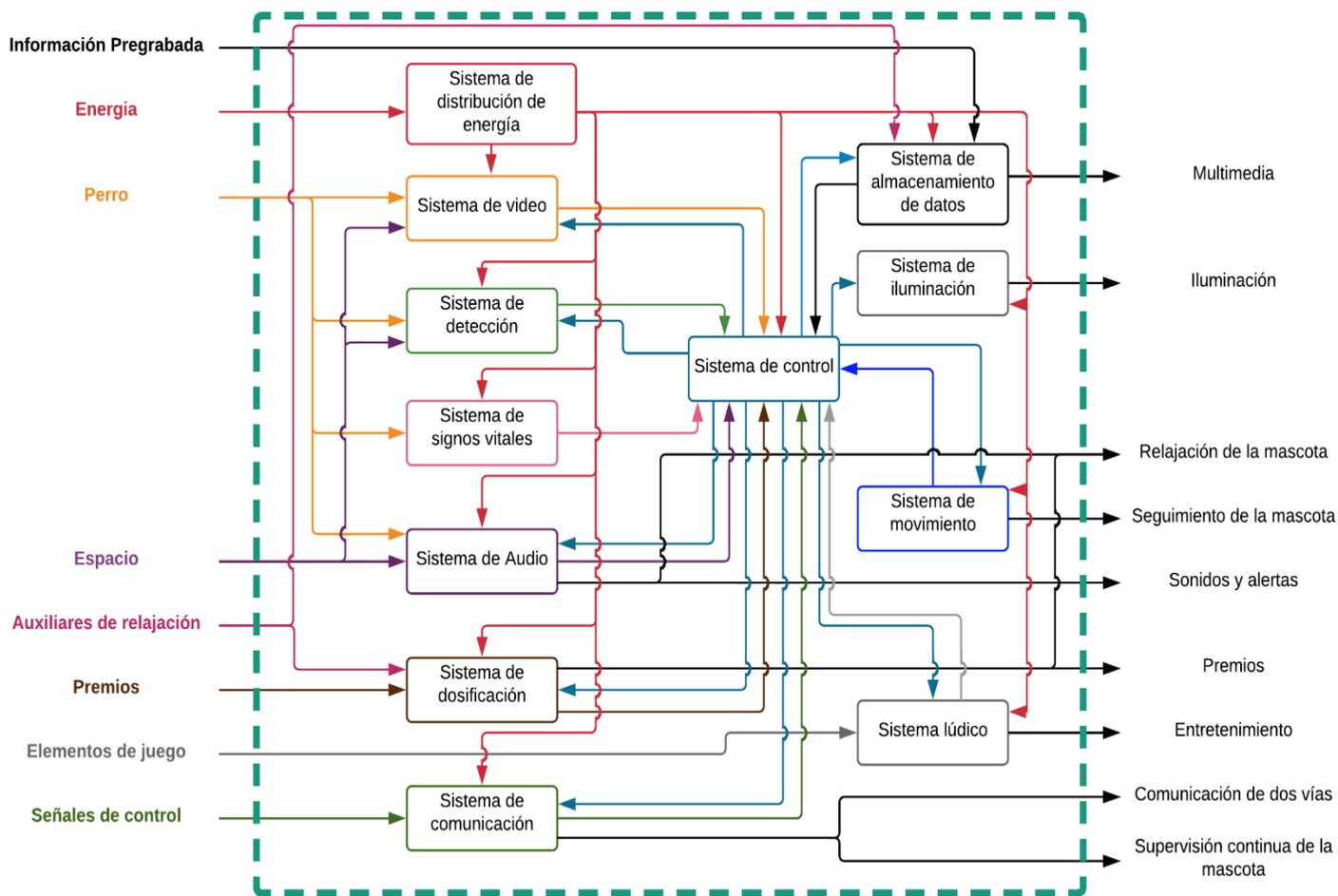


Figura 2.2 Diagrama de subsistemas funcionales y sus relaciones.

Con base en este diagrama es posible indicar los sistemas funcionales necesarios para que el producto a diseñar funcione al satisfacer las necesidades planteadas al inicio del proceso de diseño. A continuación, se presenta una breve descripción del trabajo que cada sistema funcional desempeña y cómo es que estos sistemas se interconectan al indicar sus entradas y salidas de acuerdo con la figura 2.2.

Sistema de distribución de energía

Entrada: energía.

Salidas: sistema de video, sistema de detección, sistema de signos vitales, sistema de audio sistema de dosificación, sistema de comunicación, sistema de control, sistema de almacenamiento de datos, sistema de iluminación, sistema de movimiento y sistema lúdico.

Sistema mediante el cual se administra la energía a los subsistemas, lo cual permite que la energía que se le suministra a cada uno sea la adecuada para su funcionamiento, y en caso de ser necesario agregar una previa etapa de potencia.

Sistema de video

Entrada: sistema de administración de energía, perro, espacio y sistema de control.

Salida: sistema de control.

Subsistema que permitirá captar la actividad de la mascota y su alrededor tiempo real, así como enviar la información al sistema de control para su procesamiento junto con la salida del sistema de audio y ser direccionado al sistema de comunicación, para que pueda acceder el dueño en caso de ser avisado o de manera voluntaria. Además, si se requiere, la información capturada por este sistema al procesarse de igual forma con la salida del sistema de audio, podrá ser almacenada en la memoria en caso de que no se esté supervisado por medio del control manual la actividad o en caso de ser solicitado por el usuario durante la supervisión.

Así mismo, por medio de este sistema el usuario puede observar el desplazamiento del sistema al controlarlo en caso de ser deseado.

Sistema de detección

Entrada: perro, sistema de energía y sistema de control.

Salida: sistema de control.

Este sistema es de suma importancia para el funcionamiento total del sistema de una forma deseada, ya que es capaz de determinar la ubicación de la mascota en cuestión, al calcular su distancia y posicionamiento en el espacio, lo que permite informar al sistema de control el desplazamiento por parte del sistema de movimiento; también puede cubrir un mayor rango de visión con el movimiento de la cámara. Así mismo, recibe información del espacio, es decir de objetos próximos que le puedan impedir el avanzar y seguir a la mascota o localizarla, así como de lugares en los que pueda quedarse atorado; posteriormente, los datos obtenidos son enviados al sistema de control para que éste los mande al de movimiento y se pueda lograr la supervisión.

Sistema de signos vitales

Entrada: perro y sistema de energía.

Salida: sistema de control.

El sistema de signos vitales es aquel que recopilará la información necesaria del perro para ser almacenada, ordenada en un historial y que sea mostrada al usuario para ver la condición de la mascota al encontrarse sola o en caso de ser necesaria para un diagnóstico médico, así como para darle seguimiento a un tratamiento y revisar su estado.

Sistema de audio

Entrada: perro, espacio, sistema de control y sistema de energía.

Salida: sistema de control, relajación de la mascota y sonidos y alertas.

Sistema que recibe y captura las ondas sonoras del exterior del sistema en general, para emitir el sonido capturado del interior del hogar y de la mascota al dueño por medio del sistema de comunicación o guardarlo en el sistema de memoria al unirlo con el sistema de video. Además, es capaz de reproducir ya sea sonidos o alertas, o bien los sonidos necesarios para entablar la comunicación dueño-mascota por el sistema de comunicación.

Por otro lado, por medio de los sonidos, es posible condicionar a la mascota mediante condicionamiento operante, de manera que ante la señal de un sonido efectúe una cierta actividad, con la posibilidad de mantener un reforzamiento intermitente por medio del sistema de dosificación de premios.

Así mismo, se podrá tener el potencial de emitir sonidos pregrabados con la voz del dueño o de audiolibros, que como se comentó en la sección I.2.A, ya que funcionan como auxiliares para la reducción de la ansiedad por separación.

Sistema de dosificación

Entrada: premios, auxiliares de relajación, sistema de control y sistema de distribución de energía.

Salida: sistema de control y premios.

Sistema encargado del suministro de premios, los cuales pueden entregarse para interactuar con mascota cuando haya realizado un comportamiento deseable aprobado por el dueño, de manera de juego al soltarlos aleatoriamente por el hogar o como relajantes para la mascota en caso de ser aquellos premios con ciertos ingredientes calmantes como la pasiflora.

Este sistema se mantiene en comunicación con el sistema de control, el cual manda la señal para entregarlos, calcula cuántos quedan en el dosificador y permite la recarga de más unidades conforme a los espacios libres.

Sistema de comunicación

Entrada: señales de control, sistema de control y sistema de distribución de energía.

Salida: sistema de control, comunicación de dos vías y supervisión continua de la mascota.

Sistema encargado de enlazar al sistema en general con otros dispositivos adicionales para recibir y enviar señales a medios remotos para el control de las funciones del sistema y la transmisión en tiempo real por medio de los sistemas de video y de audio para la supervisión continuo del perro y entablar comunicación en caso de ser necesario.

Con el fin de que el usuario pueda acceder, controlar y recibir información del sistema de manera óptima, fácil e intuitiva, se hace uso de una interfaz de comunicación entre el sistema y el usuario. Por lo tanto, esta interfaz será el medio por el cual podrá el usuario enviar y recibir información del y hacia el sistema de control sin que deba tener el conocimiento de cómo funciona el sistema.

Sistema de control

Entrada: sistema de distribución de energía, sistema de video, sistema de detección, sistema de signos vitales, sistema de audio, sistema de dosificación, sistema de comunicación, sistema de almacenamiento de datos, sistema de movimiento y sistema lúdico.

Salida: sistema de video, sistema de detección, sistema de audio, sistema de dosificación, sistema de comunicación, sistema de almacenamiento de datos, sistema de iluminación, sistema de movimiento y sistema lúdico.

El sistema de control es el símil al cerebro del sistema en general, debido a que es aquel que recibe, procesa y direcciona todas las señales recibidas de los sistemas con el fin de mantener un orden y poder distribuir la información que cada sistema necesita para realizar correctamente sus funciones. Es en este sistema en donde se realizará la programación necesaria para poder lograr el funcionamiento del proyecto.

Sistema de almacenamiento de datos

Entrada: información pregrabada, auxiliares de relajación, sistema de control y sistema de distribución de energía.

Salida: sistema de control y multimedia.

Espacio destinado al almacenamiento de información necesaria para el sistema en general, en donde se guarda información para el funcionamiento de todo el sistema y que es de crucial importancia para el sistema de control. También se almacenan la información multimedia que se haya generado de la supervisión de la mascota y sonidos pregrabados para interactuar con la mascota como comandos del dueño, alertas o elementos para la relajación de la mascota.

Sistema de iluminación

Entrada: sistema de control y sistema de distribución de energía.

Salida: iluminación.

Este sistema recibe la información del sistema de control cuando se necesite proporcionar luz al ambiente durante la supervisión de la mascota, a su vez el sistema de distribución de energía le proporciona ésta para poder realizar su función.

Sistema de movimiento

Entrada: espacio, sistema de control y sistema de distribución de energía

Salida: sistema de control, seguimiento de la mascota.

Sistema que se encargará de la parte mecánica para realizar los diferentes movimientos establecidos por el sistema de control, el cual se basa de la programación propia del sistema y de las señales del sistema de control (que a su vez recibe información del sistema de detección) y de comunicación, con el fin de encontrarse junto a la mascota a una cierta distancia para poder supervisarla continuamente y no chocar con algún objeto u obstáculo.

La mayoría de los últimos sistemas desarrollados dentro del estado del arte, tienden a ser sistemas que supervisan ya sea solamente la habitación o el ángulo que permite la cámara instalada. Sin embargo, algunos proveen la capacidad de expansión al adquirir nuevas cámaras,

pero son fijas o con un ligero movimiento horizontal o vertical. Por lo tanto, si se le dota al dispositivo con un sistema de movimiento que permita seguir la trayectoria de la mascota, se podrá tener una mejor y continua supervisión al cubrir aquellos puntos ciegos que algunas cámaras no logran alcanzar.

Sistema lúdico

Entrada: elementos de juego, sistema de control y sistema de energía.

Salida: sistema de control y entretenimiento.

Finalmente, este sistema es el que recibe los elementos de juego que el dueño decida. Así mismo el sistema de control le manda señales para que desempeñe sus funciones con la ayuda del sistema de energía. También, este sistema funciona al mandar información al sistema de control que manipula a su vez al de movimiento, cuando se trata de un juego en el que la mascota persiga al sistema. Como resultado se obtiene el entretenimiento de la mascota y la interacción con ella.

II.5 Búsqueda de soluciones

Con el fin de determinar el concepto final de proyecto, se procede a determinar las posibles soluciones para cada subsistema para posteriormente implementarlos a cada subsistema de acuerdo con su viabilidad y relevancia de acuerdo con las especificaciones. Estas soluciones se obtienen con base en una lluvia de ideas de cada alternativa posible, para ser concentradas posteriormente en las siguientes tablas. Las soluciones obtenidas provienen de los conocimientos y experiencia del grupo de trabajo, como también de aquellas encontradas del estado de la técnica.

Una vez que se cuente con los posibles elementos a implementarse para cada uno de los subsistemas, se procede a realizar un análisis de estos con base en su aplicación en las diferentes combinaciones de éstos en los posibles conceptos generados.

Sistema de distribución de energía	Sistema de control	Sistema de video	Sistema de almacenamiento de datos	Sistema de emisión de audio
Baterías alcalinas	<i>Arduino Mega (Atmega2560)</i>	<i>Webcam</i>	<i>USB</i>	Parlante de computadora
Baterías recargables NiMH	<i>PIC 16F887</i>	<i>GoPro</i>	Disco duro externo	Bocina de 8 [Ω]
Baterías Li-Po	<i>LaunchPad MSP430</i>	Cámara de dispositivos celulares	Tarjeta <i>Micro SD</i>	Bocina de celular
Baterías de Li-Ion	<i>Raspberry Pi 3</i>	Cámara digital	Nube	Parlante de <i>home theater</i> o minicomponente
<i>Powerbank</i>	<i>Orange Pi Plus 2</i>	Módulo de cámara	Disco duro de alguna computadora	Bocina <i>Bluetooth</i>
Cable toma corriente	<i>Banana Pi W2</i>	Videocámara		Bocina de una cámara
Batería sellada de plomo móvil		Cámara de vigilancia		

Tabla 2.2 Soluciones a cada subsistema del proyecto (1/3).

Sistema de detección	Sistema de movimiento	Sistema de dosificación	Sistema de comunicación	Sistema de captación de audio
Infrarrojo	Motor a pasos	Servomotor con paleta	<i>Wi-Fi</i>	Micrófono de <i>webcam</i>
Ultrasónico	Motor de Corriente Directa	Dispensador de espiral	<i>Bluetooth</i>	Módulo de micrófono
Visión artificial	Motorreductores	Solenoide	Cable <i>USB</i>	Micrófono de celular
Radar	Servomotor	Carrusel motorizado	Conexión a internet por cable <i>ADSL</i>	Micrófono de escritorio
<i>GPS</i>	Carrito control remoto	Compuerta	Infrarrojo	Micrófono de una cámara
<i>W-iFi</i>			4G	Micrófono de solapa
Cámara térmica				
<i>Beacons</i>				
Magnetómetro				

Tabla 2.3 Soluciones a cada subsistema del proyecto (2/3).

Sistema de iluminación	Auxiliar de relajación	Sistema lúdico	Sistema de signos vitales	Material carcasa
LEDs	Aromatizantes	Láser	LM35 (Sensor de temperatura)	Aluminio
Foco de 5 [V]	Voz de dueño	Lanzar la pelota	Sensor óptico de reflectancia con LED	Acero inoxidable
Bombilla incandescente	Audiolibro	Perseguir y escapar	Sensor de temperatura infrarrojo	MDF
Sistema de control de iluminación de la casa	Simulación de abrazo	Esconderse	Termocupule tipo K	Polipropileno
Infrarrojos	Mantener rutinas diarias	Buscar premios	Termómetro digital OneWire (DS18B20)	Polietileno
	Premios con ingredientes calmantes	Juguetes	Oxímetro (Max30100)	Policarbonato
	Hacer ejercicio		Acelerómetro	Fibra de vidrio
				Vinilo

Tabla 2.4 Soluciones a cada subsistema del proyecto (3/3).

Para el sistema de distribución de energía se consideraron las opciones que pudieran proporcionar la energía necesaria de acuerdo con las especificaciones para los elementos de cada subsistema, al tener en cuenta la cantidad de funciones que hay y el tiempo esperado de actividad total del dispositivo. Además, se consideró la facilidad de adquisición o de recarga para que pueda ser utilizado diariamente.

Por otro lado, se considera para el sistema de control el uso de algún tipo de microcontrolador o tarjeta de desarrollo que permita otorgarle al sistema independencia de elementos adicionales para su manipulación y control, al cual se le pueda adaptar los elementos seleccionados para el control de éstos y dirigir las funciones del sistema. Además, para la etapa de desarrollo, permitirá tener una mejor manipulación de los elementos al poder adaptarlos y hacer pruebas con mayor facilidad.

En cuanto al sistema de video, es importante contar con elementos que permitan ser manipulados por medio de un microcontrolador y que ofrezcan una buena calidad en la imagen del video para poder percibir correctamente a la mascota y su entorno. A su vez, se necesita que sean portátiles para poder implementarse en el sistema y al moverse mostrar el seguimiento continuo de la mascota para la supervisión.

Para poder mantener un registro de la actividad de la mascota que cuente con evidencia visual y auditiva del periodo que se encontró sola será necesario contar con elementos portátiles con una capacidad de almacenamiento de datos que permita guardar la información ya mencionada como también poseer particiones tanto para los datos y programas del sistema de control como de los otros elementos necesarios para las funciones del dispositivo. Por ello se consideran elementos a los que se le pueda extraer la información fácilmente.

El sistema de audio se divide en dos funciones que necesitan diferentes elementos. Por un lado, la emisión de sonido requiere un elemento de salida de audio que proporcione inteligibilidad y fidelidad para que se pueda reproducir de manera nítida y a un volumen adecuado el sonido. Por otro lado, para la recepción de sonido es importante contar con un tipo de micrófono que pueda captar sonidos de todo lo que rodea a la mascota. Es importante para ambos elementos que se encuentren inmersos en el entorno de la mascota o que sean portables, esto es para poder recibir la mayor información auditiva posible de lo que sucede con la mascota como del ambiente; también, la mascota debe poder escuchar con claridad tanto lo que el dueño le trata de comunicar -para que en caso de que se le dé una orden pueda cumplirla- como un audiolibro si es el método escogido como auxiliar en su relajación.

Para el sistema de detección es importante determinar tanto el posicionamiento de la mascota en el espacio como la distancia a la que se encuentra con respecto al sistema, con el fin de no chocar con ella y no ser invasivo. Por lo tanto, los sensores de distancia deben poder tomar la información mencionada de manera independiente o en conjunto para la localización y seguimiento de la mascota. Además, este sistema contempla la localización de objetos y obstáculos que impidan el seguimiento a la mascota y que puedan dañar al sistema (con un choque o que provoque una caída, así como un golpe o que pueda atorarse), por lo que se requiere de sensores que ubiquen los objetos próximos con el fin de esquivarlos.

Se observó en el estado del arte que la mayoría de los sistemas sólo permiten visualizar los eventos sucedidos siempre y cuando el dueño se encuentre conectado al dispositivo y desde el punto de vista en la que ha sido posicionada la cámara por él. Sin embargo, sería conveniente poder contar con la información que sucede con la mascota aun cuando no se visualice en el momento, para una revisión posterior en caso de ser necesario, al contar con toda la actividad de la mascota a lo largo del día desde un punto más próximo a la mascota. Por lo tanto, se requieren elementos mecánicos para el movimiento que sean capaces de poder transportar todos los elementos de éste y direccionarlos para que el resultado sea el tener el mínimo de puntos ciegos posibles.

Para el sistema de dosificación se contempla con base en lo mencionado en la sección 1.4 una gran diversidad en tamaños, formas y porciones, por lo que se debe cubrir en la mayor manera posible la diversidad de combinaciones factibles. También se tiene en cuenta que los elementos propuestos se puedan implementar en un espacio reducido dentro del dispositivo. El dosificador debe ser pequeño y con un número reducido de elementos, debido a que la cantidad máxima de premios de uso cotidiano no puede rebasar los 5 o 6 para un perro adulto grande (de acuerdo con la información de la sección 1.4.B), es decir, esa será su capacidad máxima y puede cubrir las dosis de perros de menor tamaño.

El sistema de comunicación implica la tecnología que permita al sistema hacer la interconexión con del dueño, al contemplar que sea de manera remota, es decir, que se encuentre apartado uno del otro. Por lo tanto, las propuestas de soluciones permiten realizar la interconectividad, sin embargo, hay que tomar en cuenta que el dueño puede realizar actividades que involucren el salir del hogar, lo que implica una distancia mayor de separación. Es de gran importancia el

último punto mencionado, ya que una función del dispositivo es vigilar cómo se comporta la mascota al irse el dueño.

El sistema de iluminación será implementado con el fin de poder asistir al sistema de visión para poder observar lo que sucede en ambientes oscuros o nocturnos, con el fin de mantener la supervisión o en su caso durante el manejo remoto del dispositivo.

Los elementos seleccionados como auxiliares de relajación para la mascota fueron determinados con base en la información del estado de la técnica, así como por recomendaciones hechas por etólogos en el capítulo I, con las cuales se busca tranquilizar a la mascota al interactuar por medio de sonidos pregrabados (que pueden ser pregrabados), ciertos tipos de premios en el sistema de dosificación o al hacer uso del sistema lúdico, así como de aromaterapias o incluso el dueño puede ayudar al sistema al colocar en el perro antes de su partida accesorios como un collar o un chaleco calmante.

El sistema lúdico se encuentra conformado de elementos que permitan interactuar con la mascota para proporcionarle entretenimiento con base en juegos o juguetes, como los descritos en las soluciones que se adaptan a las características del dispositivo. Algunos de estos juegos planteados pueden realizarse con la ayuda de otros sistemas como el de movimiento, el de dosificación y otros pueden necesitar elementos adicionales, para los cuales se tiene que considerar el espacio del dispositivo para ser implementados.

Los sensores utilizados para la recopilación de los signos vitales de la mascota están dirigidos para obtener principalmente el ritmo cardíaco, la presión sanguínea, la temperatura, la oxigenación en la sangre y la actividad física, los cuales permitirán un diagnóstico básico de la mascota cuando se encuentre sola. La mayoría de ellos son de contacto con la mascota por lo que habrá que implementarlos de manera que no interfieran con las demás funciones del dispositivo.

Finalmente, todos los sistemas se encontrarán dentro de un recipiente, el cual debe tener las cualidades para poder contenerlos, así como no implicar un riesgo para la mascota. Con base en la generación de especificaciones se contemplaron distintos tipos de materiales que han sido utilizados para la fabricación tanto de otros productos vistos en el estado de la técnica, como en juguetes para mascotas o para bebés. Esto implica que son seguros para entrar en contacto con una mascota y, además, pueden contener los demás elementos de los sistemas, así como recibir golpes, caídas, rasguños o mordidas.

II.5.A. Soluciones previas al concepto

Con la variedad de soluciones propuestas para cada sistema específico del prototipo final, se procede ahora a realizar el análisis de éstas para determinar cuál es la más adecuada a implementar por medio de la generación de conceptos.

Sin embargo, en este apartado se plantea la solución de aquellos sistemas, cuya selección no afecte al funcionamiento en conjunto del dispositivo ni que tampoco implique un cambio significativo en la configuración del concepto final ni lo determine.

Sistema de Control

Primero se determina el sistema de control encargado de manipular el sistema entero, como se muestra en el diagrama, se requiere que el sistema de control sea capaz de soportar los otros sistemas. Es importante mencionar que entre menos módulos externos al controlador se tengan para realizar su funcionamiento adecuado, éste será mejor, debido a que se evitarán falsos contactos, como también se reducirá el espacio a ocupar por el sistema.

Los conceptos dan una pauta grande para la selección de un microcontrolador o tarjeta de desarrollo, los cuales son tener un procesador de gran velocidad, al menos unos 30 pines de entrada/salida, también se toman en cuenta los conocimientos del grupo de trabajo sobre algunos microcontroladores con los que se ha trabajado previamente, ya que facilita el desarrollo del trabajo por el manejo de lenguaje de programación, como la experiencia con éstos.

De manera que, se espera que el sistema posea una gran cantidad de información que entre y salga al sistema de control a través de los diferentes subsistemas y se tiene que contemplar que el microcontrolador a utilizar posea el número necesarios de puertos para entradas y salidas.

Microcontrolador	Procesador	Memoria RAM	Pines I/O	Posibles herramientas de uso
Raspberry Pi 3 Modelo B	Quad Core 1.2G [Hz] 64 [bit]	1[GB]	40	Wi-Fi, Bluetooth, 4 USB, 1 entrada dedicada a cámara
Orange Pi Plus2	Quad Core 1.2G [Hz] 64 [bit]	2 [GB] DDR3	40	Wi-Fi, Bluetooth, 3 USB, 1 entrada dedicada a cámara
Arduino Mega (Atmega2560)	16 [MHz]	8 [kB]	70	16 pines analógicos y 54 pines digitales
Banana Pi W2	Quad-core 1 [GHz] 64 [bit]	2 [GB] DDR4	40	Wi-Fi, Bluetooth, 4 USB
LaunchPad MSP430	32 [kHz]	256 [B]	20	Pines cerámicos
PIC 16F887	20 [MHz]	368 [bytes]	14	Convertidores A/D

Tabla 2.4 Soluciones para el sistema de control [263-268].

De acuerdo con la experiencia se podría descartar de manera inmediata los microcontroladores y tarjetas de desarrollo *Arduino*, *PIC* (controlador de interfaz periférico) y *Launchpad*, aun cuando se cuenta con práctica y conocimiento sobre éstos, se sabe que se requerirán módulos externos

a éstos lo cual puede resultar inconveniente tanto por espacio, como posibles falsos contactos que se puedan producir durante su cableado, por lo que no serán tomados para una posible solución. En su contra se cuenta con la *Raspberry Pi 3* que cuenta adicionalmente de pines para enviar y recibir información de sensores y establecer protocolos de comunicación como las demás tarjetas de desarrollo, ésta en particular supone una solución sobre las demás ya que cuenta con puertos *USB*, conexión *ADSL* (línea de suscripción digital asimétrica), comunicación *Wi-Fi*, receptor *Bluetooth 4.1* y terminales para conectar una pantalla como una cámara por medio de cables planos con sujetadores para evitar que se puedan zafar durante su uso.

Con base en la tabla 2.4, se puede observar que los elementos propuestos, aquellos que ofrecen una cantidad de procesamiento alta como de memoria *RAM* (memoria de acceso aleatorio) son *Orange Pi* y *Raspberry Pi*, por lo que se opta por utilizar la tarjeta de desarrollo *Raspberry Pi 3* debido a que permitirá un mejor y más rápido procesamiento de información que las anteriores, al tomar en cuenta el número de funciones que deberá coordinar y controlar de todos los subsistemas planteados, además de que por parte de los puertos y elementos embebidos adicionales, ofrecerá una facilidad de utilización de estas tecnologías en el concepto final, con el fin de evitar incluir elementos adicionales que ocupen espacio y aumente la complejidad de implementación y posibles errores durante las conexiones.

Además, a la par de *Arduino*, para la tarjeta *Raspberry* existe una gran cantidad de foros de discusión y documentación en internet sobre los elementos de la tarjeta, sus módulos y cómo es posible utilizarlos. Sin embargo, *Arduino* en el sentido didáctico y académico sigue adelante en cantidad de información a la cual se le puede acceder, además de que fue la tarjeta de desarrollo más utilizada por el grupo de trabajo. Sin embargo, pasar a una nueva tarjeta con un nuevo lenguaje de programación *Python* no supondrá un reto considerable, ya que tiene muchas similitudes con el lenguaje de programación del *Arduino* que se encuentra basado de *C*; además de que la nueva tarjeta posee una interfaz gráfica parecida a la de una computadora –al considerarse una computadora de placa reducida- por lo que se puede utilizar solamente a la *Raspberry Pi* tanto para programarse y controlarse sin la necesidad de una computadora externa.

Sistema de almacenamiento de datos

De manera que la tarjeta de desarrollo que se seleccionó fue la *Raspberry Pi 3*, para poder instalar el sistema operativo *Raspbian* es necesario incluir una memoria del tipo *Micro SD*, en la cual se almacenará tanto el sistema operativo y sus archivos, tanto *software*, archivos de programación y los archivos multimedia generados por ésta.

Es por lo tanto que el sistema de almacenamiento de datos seleccionado para el dispositivo son las tarjetas *Micro SD*, y optar por una de capacidad de 64 [GB], con el fin de contar con memoria suficiente para guardar tanto lo necesario para que la *Raspberry Pi 3* pueda funcionar, como los archivos multimedia que son aquellos que demandarán un mayor consumo de memoria.

Sin embargo, será necesario determinar una solución para extraer o introducir información multimedia al sistema. La solución seleccionada es por medio de un puerto *USB*, ya que la *Raspberry Pi 3* cuenta con 4 puertos para esta función.

Sistema de signos vitales

Con la finalidad de obtener una variedad los signos vitales y de la actividad de la mascota, se proponen diferentes tipos de sensores que permite principalmente obtener pulso cardiaco, oxigenación sanguínea temperatura, presión sanguínea y actividad física. Sin embargo, la mayoría de éstos implica que sean colocados sobre alguna zona del cuerpo de la mascota, por lo que, con el deseo de poder realizar el seguimiento y registro de estas señales, los dispositivos mencionados deberán sobre el cuerpo de la mascota, a excepción del termómetro infrarrojo el cual puede estar a una pequeña distancia de la mascota y es el usado usualmente en las consultas veterinarias.

Por lo tanto, se podrá descartar al termómetro ya mencionado, por lo que se opta por desarrollar un tipo de collar especial instrumentado para poder registrar las señales deseadas. En este collar se contaría con el sensor de temperatura digital *OneWire* el cual usa el sensor DS18B20, el sensor de pulso y oxigenación óptico de reflectancia por infrarrojos y un acelerómetro, con un elemento de comunicación inalámbrica de *Bluetooth* por la facilidad de establecer la conexión entre el sistema de control y el collar.

Material de la carcasa

Aun cuando se propusieron una variedad de materiales para la carcasa, es importante mencionar que el objetivo del sistema es desarrollar un modelo funcional como prueba de concepto del dispositivo a implementar, por lo que para esta fase de diseño se utilizará madera *MDF*, debido a que se puede utilizar como material por el sencillo y rápido proceso de manufactura por medio de corte láser. Esta consideración permitirá manipular y modificar de manera rápida el espacio de trabajo en donde se colocarán los diferentes elementos del sistema y servirá como pauta para el diseño de apariencia, al tener en cuenta la forma y espacio utilizado.

Así mismo, se toma en cuenta que para la fabricación de un modelo en algún polímero se requiere del diseño de un molde y luego con base en éste su manufactura, por lo que implica saber de antemano todo el espacio que se ocupará, hacer el diseño del molde, el diseño de la carcasa y mandarlo a hacer, aparte de conseguir la materia prima. Esto también da menos posibilidad a modificaciones por todo el proceso de manufactura. De igual forma si se opta por un modelo de metal, este material también implica el conseguir la materia prima, máquinas para

moldearlo y que no es tan fácil su manipulación una vez hecho el modelo si son necesarios cambios o adaptaciones. En ambos casos, se invierte un mayor tiempo de manufactura.

II.6 Generación de conceptos

Posterior a la identificación de las posibles soluciones para cada uno de los subsistemas del proyecto, es momento de generar las posibles combinaciones de éstas para generar una diversidad de alternativas, es decir conceptos de solución.

Un concepto “es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto” [257] Así mismo, se describe de manera precisa cómo es que el producto va a satisfacer las necesidades y se proporciona un breve texto a manera de reseña conceptual donde se exponen las ventajas y desventajas [257]. Estos conceptos permitirán visualizar como las soluciones trabajarán en conjunto, lo que permitirá determinar cuál combinación es la más adecuada al cumplir con el funcionamiento deseado para sistema de acuerdo con el objetivo y las necesidades de diseño.

Debido a la cantidad de soluciones y el número de subsistemas, se ha elegido su sistematización y síntesis en una tabla de combinación de conceptos, se considerarán las combinaciones de soluciones, donde las filas corresponderán a los subsistemas identificados y elementos auxiliares mientras que cada entrada corresponde a la(s) solución(es) para cada uno.

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de soluciones para cada concepto están basados en el estado de la técnica, búsqueda externa de soluciones ya propuestas para la resolución de determinado subsistema y en los conocimientos personales y la experiencia, de acuerdo con su viabilidad en la implementación y si los elementos son compatibles.

Sistema	Solución
Distribución de energía	Baterías recargables NiMH
Video	Módulo de cámara
Emisión Audio	Bocina <i>Bluetooth</i>
Detección	GPS, magnetómetro y ultrasónicos
Movimiento	Servomotor
Dosificación	Servomotor con paleta
Comunicación	4G
Captación Audio	Módulo de micrófono
Iluminación	Focos de 5 [V]
Auxiliares de relajación	Voz del dueño, Audiolibro y hacer ejercicio
Lúdico	Lanzar la pelota y/o esconderse

Tabla 2.5 Propuesta de concepto I.

Sistema	Solución
Distribución de energía	Batería sellada de plomo móvil
Video	Cámara de dispositivos móviles
Emisión Audio	Bocina de celular
Detección	GPS, magnetómetro y Ultrasónicos
Movimiento	Motor a pasos
Dosificación	Solenoide
Comunicación	4G
Captación Audio	Micrófono de celular
Iluminación	LED
Auxiliares de relajación	Aromatizantes
Lúdico	Láser y Buscar premios

Tabla 2.6 Propuesta de concepto II.

Sistema	Solución
Distribución de energía	<i>Powerbank</i>
Video	<i>Webcam</i>
Emisión Audio	Bocina 8 [Ω]
Detección	Visión artificial, <i>Beacons</i> y Ultrasónicos
Movimiento	Motorreductores
Dosificación	Carrusel motorizado
Comunicación	<i>Wi-Fi</i>
Captación Audio	Micrófono de solapa
Iluminación	<i>LEDs</i>
Auxiliares de relajación	Voz del dueño, premios calmantes
Lúdico	Escondarse y/o buscar premios

Tabla 2.7 Propuesta de concepto III.

Sistema	Solución
Distribución de energía	Batería Li-Ion
Video	Cámara de vigilancia
Emisión Audio	Bocina de la cámara
Detección	Cámara térmica, Radar y <i>Wi-Fi</i>
Movimiento	Motorreductores
Dosificación	Dispensador de espiral
Comunicación	<i>Wi-Fi</i>
Captación Audio	Micrófono de la cámara
Iluminación	Infrarrojos
Auxiliares de relajación	Aromatizantes, Voz del dueño y premios calmantes
Lúdico	Escondarse y/o juguetes

Tabla 2.8 Propuesta de concepto IV.

II.7 Análisis de conceptos

Durante el análisis de estos conceptos, se tiene en cuenta principalmente la compatibilidad de la solución, la facilidad y tiempo de implementación, el funcionamiento, la facilidad de adquisición, los conocimientos y experiencia sobre ellos, los resultados obtenidos en el estado de la técnica, si influye o impacta de alguna manera en la comodidad o seguridad de la mascota, entre otros factores.

Cabe decir que, a primera vista, en todas las propuestas se tiene una distribución de energía basada en algún elemento recargable, lo cual se planteó con el fin de que no exista la necesidad de remplazarse constantemente -además de que el cambio constante significa deshacerse de elementos tóxicos-, al poder recargarse en el tiempo en que el sistema se encuentra desactivado de noche o cuando el dueño se encuentra en el hogar.

Por otro lado, se observó también que, para el subsistema de comunicación, el medio por el cual el proyecto recibirá y enviará señales a otros elementos será de manera inalámbrica. Esto se debe a la necesidad de que el sistema pueda moverse libremente por el espacio del hogar en donde este la mascota, de manera que una conexión alámbrica podría limitar y ser un obstáculo tanto para el sistema como para la mascota.

Por último, se descarta el uso de un motor de corriente directa ya que se espera que al ser la carcasa de *MDF* más la inclusión de los elementos seleccionados supondrá un peso que necesite un determinado par de torsión para poder llevar a cabo las funciones de movimiento y de aquellos sistemas que lo utilicen.



Concepto I

El sistema contará con una alimentación por medio de una ranura para colocar pilas recargables NiMH (Níquel-hidruro metálico) (que también puede ser para el uso de pilas comunes alcalinas). Estas pueden adquirirse en la mayoría de las tiendas comerciales, sin embargo, dependerá para los posibles requisitos energéticos del sistema final el número de estos elementos a utilizar. Además, se deberá contar con el dispositivo apropiado para este tipo de elementos con el fin de poder realizar su recarga de manera externa al dispositivo.

El sistema de video, como también el elemento de captación de audio se hará por medio de los módulos comerciales, lo que permite que puedan ser implementados al sistema de control fácilmente. Sin embargo, estos módulos necesitan de una programación previa para poder manipular y recibir información por medio de ellos, con el riesgo de quedar limitados en su funcionalidad sobre todo para la visión, y que pueda no llegar a satisfacer las especificaciones previas. Para el caso del módulo de cámara de *Raspberry Pi*, la resolución de la imagen

(1920x1080 píxeles a 30 [fps]) es adecuada con respecto a las especificaciones planteadas y se puede implementar con un cable plano a la *Raspberry Pi* por medio de su entrada al utilizar una comunicación serial. Sin embargo, para poder implementar un módulo de audio para este elemento del sistema de control implicará implementar una tarjeta de sonido especializada para el módulo.

Aunque, el no contar con una placa de sonido no impone ningún obstáculo para poder emitir sonido por medio de *Bluetooth* por lo que contar con alguna bocina externa que pueda tener el usuario y sea colocada en un punto estratégico del hogar podría ser una solución. Esto implica dos problemas potenciales que pueden interrumpir la comunicación entre la mascota y el dueño, al quedarse sin batería el dispositivo por no estar alimentado con el sistema o que se pierda la conexión con este elemento al estar separado a una distancia considerable.

Por otro lado, el sistema de detección se encuentra basado del uso de *GPS* y un magnetómetro de 3 ejes, lo que permitiría determinar la localización de la mascota en el espacio y su orientación, por lo que el sistema también deberá poseer éstos para comparar la orientación y poder determinar la distancia. El magnetómetro es un sensor sensible a las ondas magnéticas del planeta, por lo cual se puede implementar para desarrollar una brújula digital y poder comparar la orientación de un sistema con otro al basarse en el ángulo de inclinación que se tenga con respecto al norte magnético. Sin embargo, el uso de un *GPS* en ambientes cerrados como es dentro de una casa necesitaría de un *GPS* sofisticado ya que por las paredes la señal para realizar su triangulación satelital se verá reducida o ni siquiera detectada, lo que puede ocasionar problemas durante su geolocalización y así en su seguimiento, también, hay que tener en cuenta que al manejarse grandes distancias esto implica una precisión a gran escala y puede no ser exacto con un margen de error posible de incluso metros. El magnetómetro además de puede verse afectado por algún campo magnético producido por algún dispositivo o imán que se encuentre en el camino.

Por otro lado, los sensores para detectar objetos dentro del hogar serían ultrasónicos, los cuales tienen un rango desde los 2 [cm] hasta los 5 [m] para determinar la distancia entre el sensor y un objeto con base en el tiempo en que un sonido imperceptible para el oído humano es emitido, viaja, choca y regresa al receptor del sensor, lo que permitirá esquivar objetos sin algún impacto al crear un área de detección alrededor de todo el sistema.

Para el sistema de movimiento se contempló el uso de un servomotor de 360 [°], los cuales poseen las mismas características que de un servomotor de 180 [°], sin embargo, se utiliza una señal de control de significado diferente, en donde en lugar de determinar la posición angular se determina la velocidad angular del sistema. La ventaja del uso de estos motores es que no ocupan un espacio considerable dentro del sistema, otorgan un mayor par de torsión para soportar mayor carga, y pueden ser implementados fácilmente por sus pines y por las ranuras que poseen en su carcasa. Sin embargo, como sucede con los motores a pasos, su velocidad puede influir directamente en el movimiento del sistema, además de que puede llegarse a presentar una menor precisión en el control de su velocidad. De igual forma, será necesario buscar ruedas especiales para este tipo de motores.

El sistema de dosificación para este concepto se encontrará efectuado por medio de un servomotor que sirva para dirigir el movimiento de una paleta y expulsar un premio a la vez. Sin embargo, para poder implementarse se necesitará que los premios sean colocados en forma vertical para ser desplazados por gravedad o de manera horizontal empujados por un elemento como puede ser un resorte. Esto implica una limitación en el tamaño y forma de los premios ya que, si se usan formas esféricas o irregulares, el apilarlas o desplazarlas se podría obstruir el depósito, por lo que quedará condicionado a premios con superficies planas.

Al tratarse de un elemento que se encontrará en movimiento, como se comentó al inicio de esta sección, la conexión para la comunicación del sistema será inalámbrica, por lo tanto, sería el uso de la tecnología de red móvil 4G, y utilizar al sistema tanto en interiores y exteriores del hogar sin pérdida de señal debido a que se trata de una señal proveniente de antenas en la calle y no depende de un módem local como es con el *Wi-Fi*. Pero el uso de esta red implicará un costo adicional para contratar un plan de datos móviles y poder utilizar las funciones del sistema de manera remota, más el riesgo de no tener cobertura según la empresa proveedora de la señal. Además, se busca que la supervisión de la mascota se pueda visualizar en tiempo real y contar con la mejor calidad posible para observar correctamente lo que sucede, por lo que, con respecto a la velocidad de 20 [Mbps] y 100 [Mbps] que ofrece esta red, es conveniente. Sin embargo, el tiempo de supervisión dependerá del plan de datos que se tenga, es decir, si está limitado, el consumo continuo de estos puede reducir el período de supervisión.

Por otro lado, el uso de focos de 5 [V] sería una buena opción al utilizar algún tipo de *socket* que permita por medio de un lente o espejos propagar la iluminación a un rango deseado como se estableció en las especificaciones, además de que estos elementos son de un tamaño pequeño y de fácil manejo. Sin embargo, este tipo de focos utilizan filamentos que con movimiento bruscos o al encontrarse a temperaturas altas pueden romperse fácilmente, lo que termina en la inutilización del sistema y propicia tener que ser reemplazado, además del peligro que supone que se haya roto la cobertura de vidrio para la mascota. Es importante tener en cuenta que será necesario implementar elementos para que puedan ser controlados por medio del sistema de control, como el utilizar un relevador, y también el considerar las características para poder alimentarlo energéticamente de manera correcta al necesitar una etapa de potencia.

En cuanto a los auxiliares de relajación para la mascota se optó en este concepto por la emisión de la voz del dueño o un audiolibro a través del sistema de audio, como por ejercitar a la mascota para que se agote y pueda relajarse. En cuanto a la voz del dueño, ésta puede ser emitida cuando se use el control manual y hablarle a la mascota a través del sistema de comunicación, mientras que los audiolibros serían fragmentos grabados con la voz calmada del dueño para inducir un estado de tranquilidad en la mascota que provendrían del almacenamiento de datos para ser reproducidos por el sistema de audio. Estos elementos auditivos pueden ser eficaces si el tono del dueño al hablar es relajado para poder provocar esto en su mascota, por lo que los resultados dependerán totalmente de la persona.

El ejercitar a la mascota es a su vez parte del sistema lúdico, lo cual implica el movimiento del sistema alrededor del hogar sin chocar con objetos y sin que la mascota pueda chocar con él al

lanzarle la pelota al perro y hacer que corra por ella. Esto deber ser controlado para no dañar alguna pieza dentro de la casa y que no lastime al perro en caso de que el lanzamiento sea en su dirección, así como contemplar un amplio espacio que permita estas actividades. En el caso de esconderse, la mascota debería buscar al sistema y así también se ejercitaría mentalmente al intentar cumplir un reto, además de reproducir un sonido determinado para incitar a la mascota a que busque al dispositivo. En caso de tener éxito se puede emitir un sonido junto con un premio como recompensa; el inconveniente sería que el sistema no fuera lo suficientemente atractivo para la mascota y no pueda llamar su atención por completo para que no se distrajera con algún otro evento que se presente.

Concepto II

Para el segundo concepto que se concibió, en el sistema de distribución de energía se contempla el uso de una batería sellada de plomo móvil. Estos tipos de elementos se pueden adquirir de diferentes capacidades energéticas con diferentes valores de voltajes, lo que sería una opción viable además de que se puede acondicionar para quedar dentro del sistema. Lamentablemente, la mayoría de éstas son de gran volumen y peso lo cual podrá afectar al espacio disponible dentro del dispositivo como también su peso en el sistema de movimiento. Además, se debe tener en cuenta que para cargar este tipo de baterías se hace uso de un dispositivo de carga especial, por lo que se deberá incluir en el producto final.

Por otro lado, en esta propuesta se pensó para que se le incorpore un dispositivo celular sencillo y poder utilizar sus elementos para diferentes subsistemas del proyecto, debido a que un celular considerado inteligente o *smarthphone* cuentan con una cámara trasera, salida y entrada de audio por medio de un micrófono y bocinas, iluminación por medio de un *LED* que funciona como flash y linterna, además de tener la capacidad de recibir datos móviles por una red 4G con los mismas características que se mencionó para el concepto I para el sistema de comunicación.

Sin embargo, la principal desventaja de todo el concepto radica en que existe la posibilidad de que el dueño no cuente con un celular adicional para poder ser utilizado, aun cuando no se requiera uno de última generación. Además, el tener que controlar los elementos internos del celular necesitará una programación y conexión compleja entre el sistema de control y el celular. Por otro lado, también se dependerá de la batería del celular, ya que, si se llega a agotar durante el funcionamiento del sistema, éste se verá afectado al no poder realizar las funciones de supervisión y comunicación. Esto se podría solucionar al tener en consideración para el sistema de alimentación el consumo que podría generar el celular adicional a los demás elementos del proyecto.

Otro elemento del que se puede hacer uso del celular es la señal *GPS* de éste, por lo que se puede considerar este mismo elemento para determinar el posicionamiento de la mascota en el hogar junto con un magnetómetro y con el uso de sensores ultrasónicos para evadir objetos

como se comentó en el apartado anterior, ya que se tienen las mismas consideraciones mencionadas previamente para el sistema de detección de éste.

Para el sistema de movimiento, se propone el uso de motores a pasos los cuales proveen un buen torque para poder desplazar el peso que pueda tener todo el sistema por completo. Sin embargo, estos motores se desplazan a una velocidad lenta lo cual puede influir para el seguimiento durante la supervisión, además al tener un tamaño más grande que otros podrán ocupar mayor espacio en el sistema y hacerlo más pesado. Al igual que para el concepto anterior, para estos tipos de motores se necesitará buscar ruedas especiales, además de implementar los elementos necesarios para su control como puede ser un circuito con un puente H o módulos ya desarrollados como el LN298.

La dosificación de los premios se dará en este concepto por medio de un solenoide que, al recibir una señal de control, éste puede expulsar al premio fuera del sistema, por lo que sería un elemento con un tamaño pequeño y que no ocupará demasiado espacio dentro del sistema. Sin embargo, como también se comentó para el concepto I, se necesitará contar de elementos adicionales para poder posicionar el siguiente premio en el camino a través del cual será expulsado por el solenoide o contar con un depósito inclinado para aprovechar la aceleración gravitatoria, pero ocuparía un mayor espacio.

Para este concepto se contempló como auxiliar en la relajación del perro un aromatizante, por medio de esencias líquidas en un difusor que sea controlado por el usuario y cuando note inquieta a la mascota pueda activarlo y éste dispare la esencia en el medio ambiente y que sea esparcida por la habitación. La desventaja de este elemento es el espacio que ocuparía dentro del dispositivo ya que se debería implementar el envase que contenga la esencia, así como el mecanismo para su difusión, a su vez esto requiere una programación en el sistema de control; se debe ser cuidadoso para que el envase no pueda tener fugas en caso de que el sistema se mueva o llegue a caerse o golpearse, esto para que no dañe algún otro elemento dentro del dispositivo y la mascota no pueda llegar a ingerirlo.

Finalmente, el sistema lúdico comprenderá la implementación de un láser y la búsqueda de premios. En cuanto a la primera opción se requiere de un láser que pueda ser manipulado para moverlo y que el perro pueda seguirlo y jugar con él, sin embargo, si se apunta directamente a los ojos los puede dañar y en entornos muy iluminados no llegaría a verse bien. Esta opción puede resultar no ser muy llamativa para los perros, a diferencia de los gatos, ya que su vista se concentra más en la forma de un objeto que en los detalles, y puede no presentar algo que los estimule a moverse tras él. Para la búsqueda de premios sería que el dueño suelte dentro de la casa premios a través del sistema y que el perro los busque y al encontrarlos cobre su recompensa al comerlos; esta opción es práctica ya que no requiere la implementación de un mecanismo u objeto adicional al sistema, sin embargo, los premios pueden quedar tan escondidos para la mascota que se desespere al no poder alcanzarlos o no les tome importancia por no poder conseguirlos fácilmente.

Concepto III

De nueva cuenta se considera un elemento recargable para el sistema de distribución de energía, que serían las *powerbank*, las cuales pueden encontrarse constituidas por baterías *Li-Po* (polímero de litio) y *Li-Ion* (iones de litio), aunque son más comunes estas últimas. Lo que supone una diferencia en las propuestas de solución es que las *powerbank* o baterías móviles, cuentan ya con el módulo que permite la recarga de sus elementos energéticos al utilizar cualquier tipo de cargador de celular con entrada *USB 2.0* del tipo *Micro-B*. Existen una gran variedad de estos bancos de energía, al diferenciarse principalmente en la corriente de entrega, entre 1 y 2.1 [A] en sus salidas y con diferentes tipos de capacidad energética con un voltaje de entrada y salida de 5 [V]. La desventaja de estos elementos es como el de la mayoría de las propuestas establecidas, es que depende de su capacidad energética el aumento tanto su peso como tamaño, sin embargo, es posible abrir este dispositivo y poder reacomodar su contenido a gusto, ya que no se entrará en contacto con sustancias químicas.

Para el sistema de video, se propone el uso de una *webcam*, con la posibilidad de encontrar actualmente varios modelos de alta definición con una muy buena calidad de video, especialmente utilizadas para videoconferencias o transmisión en vivo. Además, estas cámaras son pequeñas y ligeras a comparación de cámaras de video profesionales o digitales. Otro beneficio de estas cámaras es que el protocolo de comunicación que tendrá con el sistema de control es por medio de *USB* por lo que será posible manipular e implementar fácilmente.

Para el sistema de emisión de sonido, se propone implementar una bocina para la *Raspberry* al utilizar una bocina de 8 [Ω] junto con un elemento amplificador de sonido el cual puede estar conectado a una placa de sonido *USB* –que como ya se mencionó no se posee dicho elemento– lo que evitará depender de elementos externos al microcontrolador y permitirá además que se encuentre inmerso en el sistema.

Para el sistema de detección, se propone el uso de visión artificial obtenida por parte de una cámara adicional -módulo de cámara de la *Raspberry NoIR*- con el fin de que la *webcam* sea dedicada a la transmisión para la supervisión de la mascota. La visión artificial se puede realizar por medio de filtros de formas o colores, por lo que se puede utilizar colores que no sean comunes en el hogar para poder detectarlos y calcular el posicionamiento de la mascota en el espacio de trabajo, ya que por forma se podrá entrar en conflicto al existir una gran diversidad de razas y tamaños. De igual forma que para el concepto I, se propone el uso de sensores ultrasónicos para la detección/evasión de objetos alrededor del sistema.

Por otro lado, se propone el uso de *Beacons* para poder determinar la distancia existente entre el sistema y la mascota, debido a que estos dispositivos emiten su información por medio de *Bluetooth* denominada como *advertising*, lo que permite ser recibida por cualquier receptor *Bluetooth* sin la necesidad de establecer una conexión puntual entre el emisor y el receptor, esta señal es única de acuerdo al número que la identifica, por lo que no se puede confundir con

alguna otra emitida por otro dispositivo *Bluetooth*. Así mismo, esta señal nos permite calcular la distancia con base en la intensidad de la señal recibida o *RSSI*, que será mayor cuando haya más cercanía y viceversa. Esta señal al ser capturada por el receptor puede traducir su intensidad (la cual se ve afectada y disminuirá conforme se transmita en el aire).

La ventaja del uso de *Beacons* es que son elementos de muy pequeñas dimensiones (y pueden ser colocado sobre el collar a utilizar para las señales vitales), consumen poca energía (*BLE*) y es posible determinar el intervalo de emisión de información por lo que se puede recibir información de manera constante y rápida, además de no necesitar estar conectada a una red de datos o *Wi-Fi* para su uso. Sin embargo, al hablar de señales *Bluetooth*, éstas se ven afectadas tanto por paredes como por el agua, entonces si hay algún cuerpo en el medio-debido a que el cuerpo de los animales se encuentra conformado de agua- la señal disminuye y la lectura puede ser errónea. Además, será necesario contar con algún elemento adicional al sistema de comunicación que sea *Bluetooth 4.0* para la lectura de información.

Para el sistema de movimiento, se propone el uso de motorreductores, ya que son elementos de tamaño pequeño y de acuerdo con la reducción que se tenga del motor de corriente directa que lo constituye, se podrá tener diferentes tipos de pares de torsión para cargar elementos de diferentes pesos. Además, se habla de uno de los elementos más comunes para realizar el movimiento de un sistema, por lo que es posible encontrar ruedas de diferentes tipos y tamaños. Con base en el peso del sistema se puede determinar el torque necesario para los motores. Sin embargo, este tipo de motores hacen uso de elementos para su control los cuales pueden ser *drivers* de fácil conexión o por medio de un circuito con un puente H. Estos tipos de motores suelen producir una gran cantidad de ruido durante su funcionamiento.

Para el sistema de dosificación se optó por el modelo de carrusel motorizado, el cual se utiliza en pastilleros, de manera que el tamaño de las divisiones del círculo o carrusel depende del número de elementos a manipular más un espacio vacío por el cual se hace la entrega. En este caso se puede dividir un círculo en seis partes, con la posibilidad de entregar 5 premios de diferentes tamaños y formas, siempre y cuando puedan entrar en cada división y se tenga en cuenta una altura para el carrusel. Los premios pueden ser expulsados posteriormente al hacer uso de la aceleración gravitatoria, y guiarlos por medio de una pequeña rampa hasta la apertura del sistema. El diseño del círculo se podrá determinar con base en las especificaciones de tamaño de los premios, lo que permite destinar el espacio que ocupará en el sistema, por lo que podrá utilizar una mayor variedad de tamaños y formas de premios ya que no se encontrarán enfilados o acomodados unos encima de otros, sino en compartimentos. Sin embargo, si los premios son demasiado grandes o demasiados pequeños, este dispensador no será la excepción y podrá presentar obstrucciones en las salidas, por lo que el motor a utilizar debe tener la capacidad de poder desplazarlos durante toda la vuelta del carrusel hasta el espacio vacío.

Por otro lado, para el sistema de comunicación se propone el uso del internet por medio de *Wi-Fi* al ser una red de conexión inalámbrica a un módem, la cual suministra internet en los hogares y es un servicio que puede ser provisto a diferentes velocidades. La penetración de internet en el país va en aumento y cubre al menos la mitad de los hogares [269], y también supera el

promedio global [270], por lo tanto, estos datos nos indican que el acceso a este servicio crece y puede ser utilizado cada vez más por la población mexicana. De acuerdo con la tarjeta de desarrollo escogida, se cuenta en ella con un receptor *Wi-Fi*, por lo que el uso de esta solución es viable. Además, esta conexión puede ser utilizada en diferentes dispositivos al distribuir por medio del módem el servicio de internet. Sin embargo, puede presentarse intermitencia en la señal según de la zona y el proveedor de servicio, así como su instalación, lo cual compromete el funcionamiento óptimo del dispositivo, sobre todo para la supervisión y la comunicación. De igual forma, como sucede con la red 4G, la señal puede verse reducida al atravesar paredes, piso, puertas, cajas de cartón u otros muebles que se encuentren entre el módem y el dispositivo, por lo que se recomienda que el módem se ubique en un lugar céntrico del espacio donde se moverá la mascota.

Con el fin de poder tener una mejor calidad y fidelidad de sonido, ya que los micrófonos que poseen las cámaras *web* son para recibir sonidos a corta distancia, se plantea implementar un micrófono omnidireccional de solapa, con el fin de cubrir el mayor rango posible del espacio y poder distinguir todos los sonidos para saber lo que el perro escucha y a qué reacciona de ser el caso. Además, estos micrófonos son de dimensiones pequeñas, lo cual no implica un gasto alto de espacio y suponen su portabilidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la *Raspberry*, no cuenta con una placa de audio por lo que para el sistema de audio será necesario incluir una.

Para el sistema de iluminación se propone el uso de *LEDs* que, a diferencia del concepto anterior, deberán ser implementados desde la alimentación del sistema, contar con un lente que permita propagar la luz de acuerdo con las especificaciones, y con un elemento de control para poder manipularlos por medio del sistema de control, el cual se puede dar por medio de un relevador, como también para su etapa de potencia. La ventaja de usar *LEDs* es que son elementos difíciles de fundir por temperatura de funcionamiento o movimiento bruscos como es para el caso de focos de 5 [V], además, al ser pequeños se pueden implementar fácilmente. Así mismo, se deben tener en cuenta los elementos eléctricos necesarios para alimentarlos energéticamente de manera correcta.

Por lo que se refiere a los auxiliares de relajación, en este concepto se toma en cuenta la voz del dueño y premios calmantes. Para el primer caso como ya se vio previamente, es por medio de la comunicación del sistema y no necesita implementarse algún elemento o mecanismo adicional. En el segundo caso, los premios calmantes pueden ser depositados en el almacenamiento para que se dosifiquen cuando el dueño perciba que el perro está intranquilo, así mismo, esta alternativa no presenta dificultades para su realización, ya que no hay que contar con un compartimiento especial ni algo extra, simplemente se utiliza el sistema de dosificación, pero con premios que contengan ingredientes calmantes.

En último lugar, para el sistema lúdico se propone una serie de juegos como esconderse y buscar premios. Como ya se han mencionado anteriormente, estos juegos se basan en el movimiento del sistema y en el caso de los premios se auxilia del sistema de dosificación. Se plantea el entretenimiento a través del ejercicio del perro tanto físico como mental e incluso ser recompensado al tener éxito por medio del sonido y un premio.

Concepto IV

Para el último concepto propuesto en esta etapa de diseño, se piensa en la utilización de una batería de *Li-Ion*, las cuales son recargables al igual que las demás mencionadas en esta generación de conceptos. Las baterías *Li-Ion* son las que comúnmente se encuentran en los dispositivos celulares, consolas de videojuegos portátiles o en algunas computadoras portátiles. De nueva cuenta es posible encontrar baterías con diferentes capacidades energéticas y valores de diferencias de potencial, con la posibilidad de colocarse dentro del sistema sin ocupar un gran espacio en su interior. Sin embargo, a diferencia de la *powerbank*, para poder realizar la recarga se necesitará acondicionar el dispositivo de carga junto a la batería dentro del sistema.

Por otro lado, este concepto se basa de nueva cuenta en un elemento del cual se pueden aprovechar diferentes características para diferentes sistemas. Así, al utilizar una cámara de vigilancia, se consideran aquellas que son para hogares o espacios cerrados, ya que la mayoría cuenta actualmente con movimiento horizontal y vertical, iluminación infrarroja para ambientes oscuros, un micrófono para escuchar lo que sucede y son de largo alcance, e incluso pueden contar con una bocina. Por lo tanto, se pueden aprovechar estas características del dispositivo sin la necesidad de implementar otros elementos adicionales. Sin embargo, a excepción de aquellas que puedan ser conectadas por medio de *Wi-Fi*, puede implicar el uso de cables especiales, así como *softwares* dedicados para su manipulación y adquisición de información, lo que podría suponer una problemática al momento de interactuar con el sistema de control.

Por otro lado, el sistema de detección se realizaría medio del uso de una cámara térmica -en caso de que esté incluida en el modelo de cámara de seguridad- la cual permita determinar la posición de la mascota en el espacio de trabajo, al detectar en el ambiente alguna zona con una temperatura próxima a la de la mascota y poder adicionar ciertos filtros de imagen para borrar la información innecesaria de otras temperaturas bajas. El problema radica en la dificultad de poder -en caso de que no provenga de la cámara a utilizar- acceder a la información visual de la cámara térmica por medio del sistema de control, además de que puede llegar a confundirse el sistema en caso de que una zona de la casa se caliente mucho durante el día y sea errónea la búsqueda.

A continuación, se planea el uso de un radar basado en radiofrecuencia para poder detectar los objetos alrededor del sistema como su proximidad, lo cual podría implicar la reducción de elementos adicionales para lograr el mismo objetivo como es por medio de sensores ultrasónicos alrededor de todo el cuerpo, dado que, por medio del radar, con un elemento es posible censar la misma área. Sin embargo, el implementar un pequeño radar implica que se complejizarían los procesos tanto para el procesamiento de la información adquirida como para el mapeo de los objetos con base en las señales percibidas. También, el radar no iría dentro de la carcasa, sino que estaría por fuera, por lo que dependerá de su posicionamiento la precisión de las lecturas que realice, el ruido que se pueda presentar en las señales y tiene el riesgo de quedar expuesto a sufrir algún daño.

El uso del *Wi-Fi* para determinar la distancia se haría por medio del *RSSI*, al triangular la señal con la utilización tanto de un elemento adicional posicionado a un lado de un módem *Wi-Fi* y de un emisor y receptor *Wi-Fi* sobre el collar de la mascota -collar que se utilizará a su vez para las señales vitales. Sin embargo, la programación necesaria para llevar a cabo la triangulación implicará una complejidad de algoritmos y procesamiento de señales, que va más allá de los conocimientos del equipo de trabajo a este nivel, al diferenciarse del procesamiento del *RSSI* de los *Beacons*, ya que éstos últimos emiten información de manera constante por lo que es posible recibirlos e interpretarlos.

Los motorreductores son propuestos de nueva cuenta para el sistema de movimiento del proyecto, al contar con las cualidades mencionadas en el concepto anterior.

Para el sistema de dosificación se propone un disipador de espiral, parecido a aquellos que son encontrados en las máquinas dispensadoras de alimentos. Para su aplicación en este concepto, permite una dosificación de manera sencilla y ligera ya que en cada espacio de la espiral se colocará un premio y al hacer girar el espiral el premio avanzará hasta la abertura para ser expulsados del sistema. Existe muy poca probabilidad de que se presente obstrucciones, sin embargo, se limitará en forma y tamaño para que entren correctamente entre los espacios de la espiral.

De nueva cuenta, se plantea el uso de *Wi-Fi* en este concepto, al tener en cuenta las mismas características que para el concepto anterior. Sin embargo, la conexión *Wi-Fi* tiene un papel importante en el desarrollo de este concepto, por lo que el módem debe tener la capacidad de poder tener una variedad de dispositivos conectados.

En cuanto a los auxiliares de relajación para este concepto se han propuesto los aromatizantes, la voz del dueño y los premios calmantes, los cuales se han explicado previamente.

En cuanto al sistema lúdico se contempla el juego de esconderse y la liberación de algún juguete pequeño que le guste mucho a la mascota, e incluso este último puede contener un premio que le imponga un reto y obtenga una recompensa. Para el caso del juguete hay unas cuantas limitantes, que sería, en primer lugar, el tamaño del juguete para que pueda ser insertado dentro del dispositivo dentro de un contenedor especial y una manera de entregarlo a la mascota, lo que significa un mecanismo para ello junto con una salida diferente a la de los premios, al contemplar que sólo podrá entregarse una única vez. En cuanto al juego de esconderse, éste ya ha sido explicado y no supone una dificultad en su implementación en cuanto a un elemento, mecanismo o compartimento adicional.

II.8 Concepto seleccionado

El concepto seleccionado es el III, con base en el análisis de los factores mencionados, como también de la descripción de cada uno de los conceptos propuestos, el cual se representa en la figura 2.3. Éste es el que más se adecua a los objetivos planteados, así como de las

especificaciones y permite la interacción de manera armoniosa entre los sistemas por lo que se puede hacer un modelo funcional que cumpla con lo requerido y realice las funciones esperadas de acuerdo con sus características.

Se tiene un dispositivo interactivo para la supervisión de una mascota que cuente con:

- 🐾 Capacidad de supervisión de la mascota por medio de video y audio, transmitidos en tiempo real a través del internet, al usar una *webcam* y un micrófono de solapa.
- 🐾 Una batería recargable capaz de mantener al sistema en funcionamiento durante el tiempo mientras el dueño desarrolla sus actividades fuera del hogar.
- 🐾 El establecimiento de una comunicación de dos vías, al emitir la voz del dueño por medio de una bocina implementada, como también captar los sonidos del ambiente y de la mascota, para enviarlos al dispositivo en el que se encuentre el dueño.
- 🐾 Envío de información a otros dispositivos con el uso de internet, por medio de una conexión *Wi-Fi* con el módem del hogar, la cual se espera sea estable y con una velocidad mínima de 5 [Mbps].
- 🐾 Una supervisión continua de la actividad de la mascota al utilizar visión artificial para su detección y *Beacons* para su distancia, lo que permitirá seguir al perro por la habitación en la que se encuentre, y será capaz de evitar obstáculos por medio de sensores ultrasónicos.
- 🐾 Almacenamiento de información multimedia producto de la supervisión de la mascota como registro de la actividad de la mascota cuando el dueño no la supervise, con una capacidad de 64 [GB].
- 🐾 Almacenamiento de alertas y sonidos pregrabados de comandos, sonidos condicionados o sonidos que le llamen la atención o capte su interés.
- 🐾 Entrega de 5 premios, que deberán ser almacenados previamente por el usuario en un carrusel, los cuales podrán ser de diferentes tamaños y formas.
- 🐾 Dos modalidades de control, una automática que funcionará cuando el dueño no esté conectado, y una manual en la que el dueño podrá manipular al sistema con ayuda de la transmisión para jugar o comunicarse con la mascota.
- 🐾 Un collar instrumentado, donde sea posible guardar información de algunos signos vitales de la mascota, entre ellos pulso cardiaco, oxigenación de la sangre, temperatura y actividad de la mascota.
- 🐾 Auxiliares para calmar a la mascota como premios calmantes en el dispensador o comunicarse con ella.
- 🐾 Jugar con la mascota al esconder premios y moverse junto a ella alrededor del hogar a través del control manual.

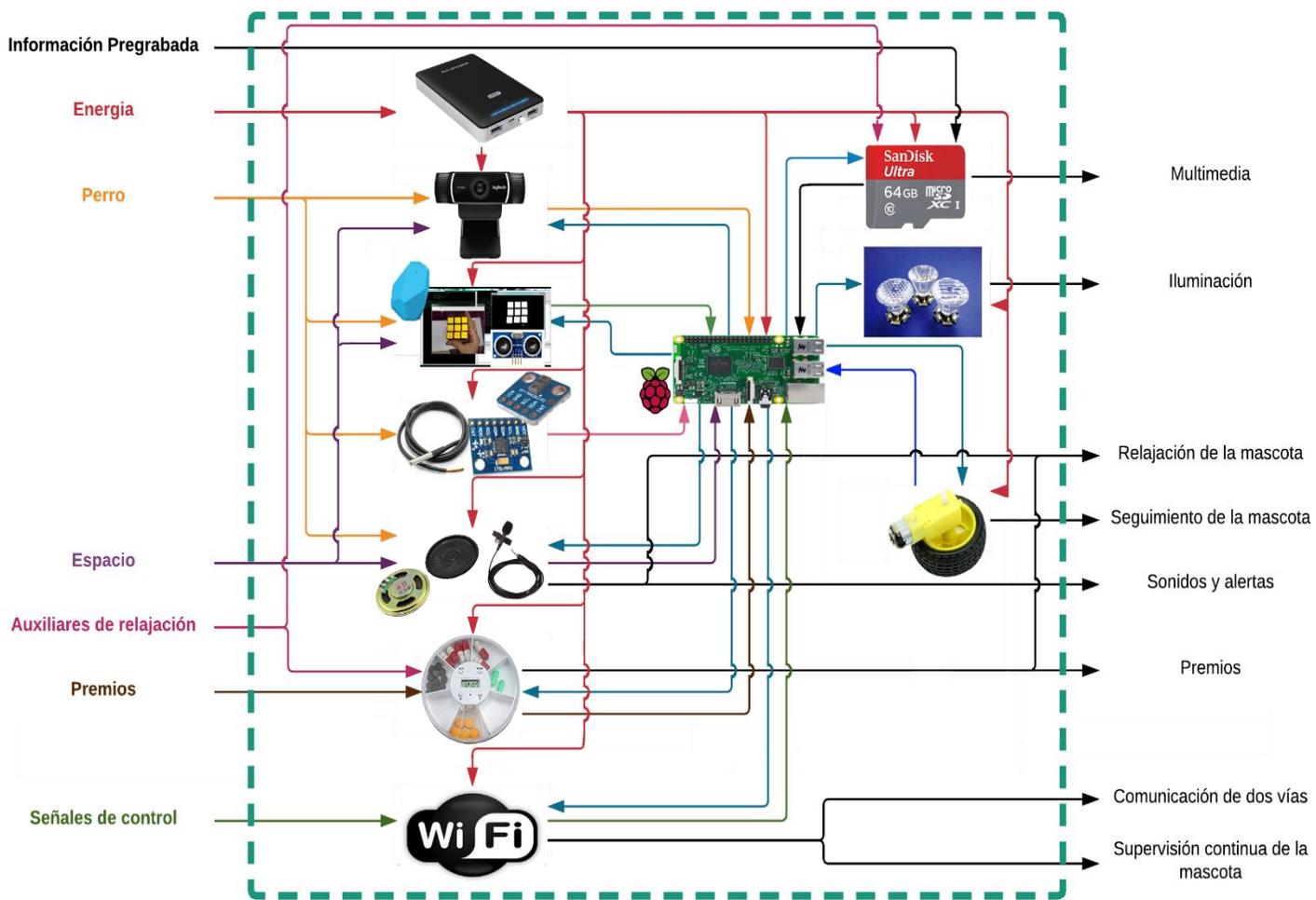


Figura 2.3 Diagrama del concepto seleccionado con sus soluciones [271-287].



Capítulo III. Diseño de detalle

En este capítulo, conforme a la metodología utilizada se describen de manera más detallada los elementos que integran al concepto seleccionado durante la etapa de diseño conceptual, con los cuales será posible cumplir con los objetivos planteados. Además, al ofrecer más información detallada sobre estas tecnologías y su funcionamiento, será posible visualizar de mejor manera la interacción entre los diferentes subsistemas que integran al proyecto, y corroborar que su implementación sea viable y logren cumplir el funcionamiento deseado.

Al finalizar el capítulo se establecerán las especificaciones finales del sistema, con base en los resultados obtenidos de acuerdo con las características de los elementos utilizados, ya que éstos impondrán limitaciones o superarán las expectativas propuestas en las especificaciones objetivo.

III.1 Subsistema de control y subsistema de almacenamiento

En el capítulo anterior, el primer elemento que se planteó como solución fue el uso de la computadora de tarjeta reducida *Raspberry Pi 3*, el cual tendrá como función principal el recibir, procesar y direccionar las señales de los sensores y de los diferentes subsistemas que integran al proyecto. En otras palabras, se habla del cerebro del proyecto, el cual realizará sus funciones de acuerdo con una programación desarrollada en lenguaje *Python 2.0*.

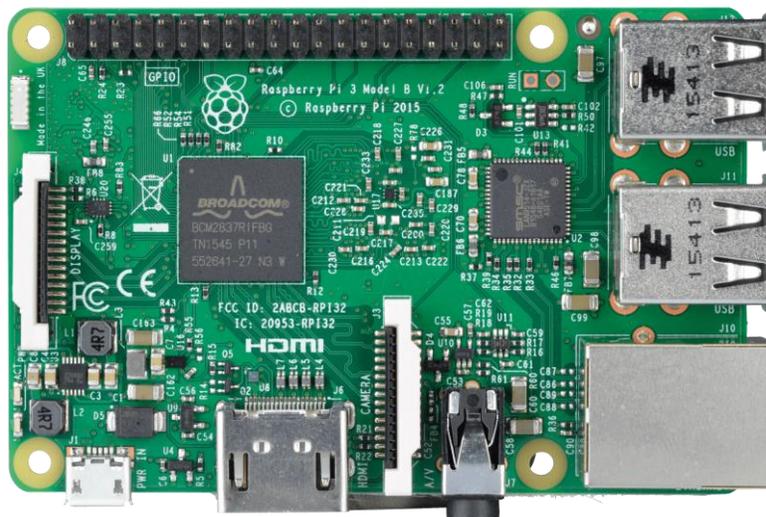


Figura 3.1 *Raspberry Pi3* [288].

Esta tarjeta funciona con un sistema operativo basado en *Linux* llamado *Raspbian*, el cual deberá ser descargado e instalado previamente para su utilización. Para ello será necesario adicionar una memoria del tipo *Micro SD*, que, con base en las especificaciones del proyecto, se optó por

una con capacidad de 64 [GB] para poder almacenar el sistema operativo, programas y archivos necesarios para el funcionamiento de la *Raspberry*, como también guardar todos los archivos multimedia que se podrán generar durante el funcionamiento del sistema, por lo que funge como sistema de almacenamiento.

Adicional a todos los programas y bibliotecas que se necesitan para poder recibir, procesar y dirigir las diferentes señales y variables del sistema, existirán dos programas fundamentales que regirán el funcionamiento total del sistema, y son los modos de operación del proyecto.

En primer lugar, se contará con un modo de operación manual, en donde el dueño de la mascota podrá manipular el movimiento del sistema en general, y podrá visualizarlo mediante la transmisión en tiempo real de audio y video. Además, será capaz de poder hablar con la mascota, jugar a esconderse, grabar video con audio, tomar fotografía, entregar premios y emitir los diferentes sonidos pregrabados en el sistema de almacenamiento. Finalmente, en caso de ser necesario, podrá activar el sistema de iluminación para poder ver lo que sucede con su mascota en horarios nocturnos o en espacios con poca luz.

En segundo lugar, se tendrá un modo de operación automático el cual se encontrará basado del sistema de detección principalmente, ya que será el sistema que sustituirá el control del dueño sobre el dispositivo. En este tipo de modo, se registrará la actividad en video hasta que el dueño acceda al sistema, este caso particular será solamente para supervisar la actividad de la mascota, lo cual permitirá al dueño continuar con sus actividades sin tener que controlar al sistema. Sin embargo, este modo de operación se limitará solamente a la función de supervisión, con la posibilidad de tomar fotos y video cuando el dueño lo decida al ver la transmisión en tiempo real.

Por otro lado, el sistema de control podrá transferir todos los archivos multimedia generados (videos y fotografías) cuando el usuario conecte una memoria *USB*. Sin embargo, al prever que la *Raspberry* se encontrará inmersa en una carcasa con los demás elementos electrónicos, se desarrolló un extensor del puerto *USB* para implementarse sobre la superficie externa del cuerpo del sistema.



Figura 3.2 Extensión para la transferencia de datos por *USB*.

La *Raspberry Pi* es capaz de proveer por medio de sus pines voltaje de alimentación de 3.3 [V] y 5[V], como también terminales de tierra o *GND* para la alimentación de los módulos o periféricos poder realizar diferentes funciones.

Especificaciones técnicas [263, 289-290]:

- 🐾 Procesador de cuatro núcleos *Cortex 3.14 ARMv8* de 64 [bits] con 1.2 [GHz] *Broadcom BCM2837*
- 🐾 *Chip BCM43143* con conectividad *Wi-Fi*
- 🐾 1 [GB] memoria *RAM LPDDR2 (Low power double data rate)*
- 🐾 Adaptador *Bluetooth 4.1* clásico y de bajo consumo
- 🐾 4 puertos *USB 2.0*
- 🐾 Conexión a internet *100 Base Ethernet*
- 🐾 40 pines de los cuales 26 son pines de entrada y salida de propósito general (*GPIO*)
- 🐾 Corriente máxima por *GPIO* 16 [mA] con voltaje de 3.3 [V] en nivel alto
- 🐾 Corriente total en los *GPIO* no debe exceder 50 [mA] (suma de la corriente de todas las salidas en cualquier momento)
- 🐾 Salida *Jack 3.5 [mm]* para audio
- 🐾 Puerto *HDMI* (interfaz multimedia de alta definición)
- 🐾 Conector de cámara *CSI [Camera Serial Interface]*
- 🐾 Conector de pantalla *DSI [Display Serial Interface]*
- 🐾 Puerto *Micro SD*
- 🐾 Conector *Micro USB* para fuente de alimentación 2.5 [A]
- 🐾 Dimensiones de aproximadamente 8.56 [cm] x 5.6 [cm] x 1.7 [mm]

III.2 Subsistema de video

Como se mencionó en el capítulo anterior, para el sistema de video, el cual se encargará de captar a la mascota y lo que sucede a su alrededor, se utilizará una *webcam*, ya que ofrece la facilidad de comunicarse por medio de un conector *USB* para recibir la información proveniente de este dispositivo. Actualmente, en muchas tiendas de electrónica o de cómputo es fácil poder adquirir algún tipo de *webcam* con diferentes tamaños, resoluciones, con iluminación, micrófono, etc.

Para el sistema de video, se propone utilizar la *webcam* modelo ATW-1200 de la marca *Acteck*, como se muestra en la figura 3.3, la cual cuenta con una resolución máxima de 1280 x 720 píxeles a 30 [fps], con un peso de 0.20 [kg] y un ángulo de visión de 50 [°], el cual es el ángulo de visión común en la mayoría de las *webcams*, con un tipo de lente estándar. Con estas especificaciones, la cámara es aceptable al compararse con las especificaciones objetivo del proyecto, además de que es una *webcam* con la que el equipo de trabajo ya contaba.



Figura 3.3. Webcam ATW-1200 de la marca Acteck [291].

Como ya se comentó, el integrar este dispositivo al sistema general no supone más que conectar su cable con terminal *USB* a uno de los 3 puertos restantes *USB* de la *Raspberry Pi*; sin embargo, para hacer uso de la señal de video de la cámara, es necesario utilizar la biblioteca libre de visión artificial *OpenCV*, la cual se comentará en la sección de Visión Artificial.

Con el fin de determinar y tener pruebas de que fuera posible utilizar la *webcam* mencionada, se procedió a utilizar comandos básicos de *OpenCV* para poder obtener fotografías de la mascota y observar si el ángulo de visión nos permitiría ver por completo a la mascota y parte del ambiente en el que se encuentra. Se procedió a colocar a la mascota en un punto fijo y tomar fotografías a diferentes distancias de la cámara desde una altura de 50 [cm] -de acuerdo con la tabla de especificaciones-, se inició desde 0.5 [m] de distancia de la mascota hasta 2.5 [m], y se capturó una fotografía a aproximadamente cada 0.5 [m] de acuerdo con las medidas ideales del sistema. Estas fotografías se pueden observar en la figura 3.4.

Se puede observar correctamente a la mascota a partir de 1 [m] de distancia de ella, y visualizar cada vez más su cuerpo y el ambiente en el que se encuentra a partir del 1,5[m] en adelante. Es claro que, a una distancia mayor, se podrá tener más visión del ambiente en donde se ubica la mascota, pero ésta se verá cada vez más pequeña y alejada conforme se distancie, por lo que, para el monitoreo a la mascota, el poder observar lo que sucede en una distancia de 2.5 [m] hasta 1[m] es adecuado. En cuanto a la resolución de la imagen, si puede alcanzar una resolución de 1280 x 720 píxeles, podrá soportar una calidad menor en el caso de que se desee reducir los valores.

Por lo tanto, la *webcam* que se busca implementar resulta adecuada conforme las especificaciones de ángulo de visión, la distancia de separación de la mascota para poder verla y su entorno, con lo que se cumple la función de proveer una imagen de la mascota y lo que la rodea.

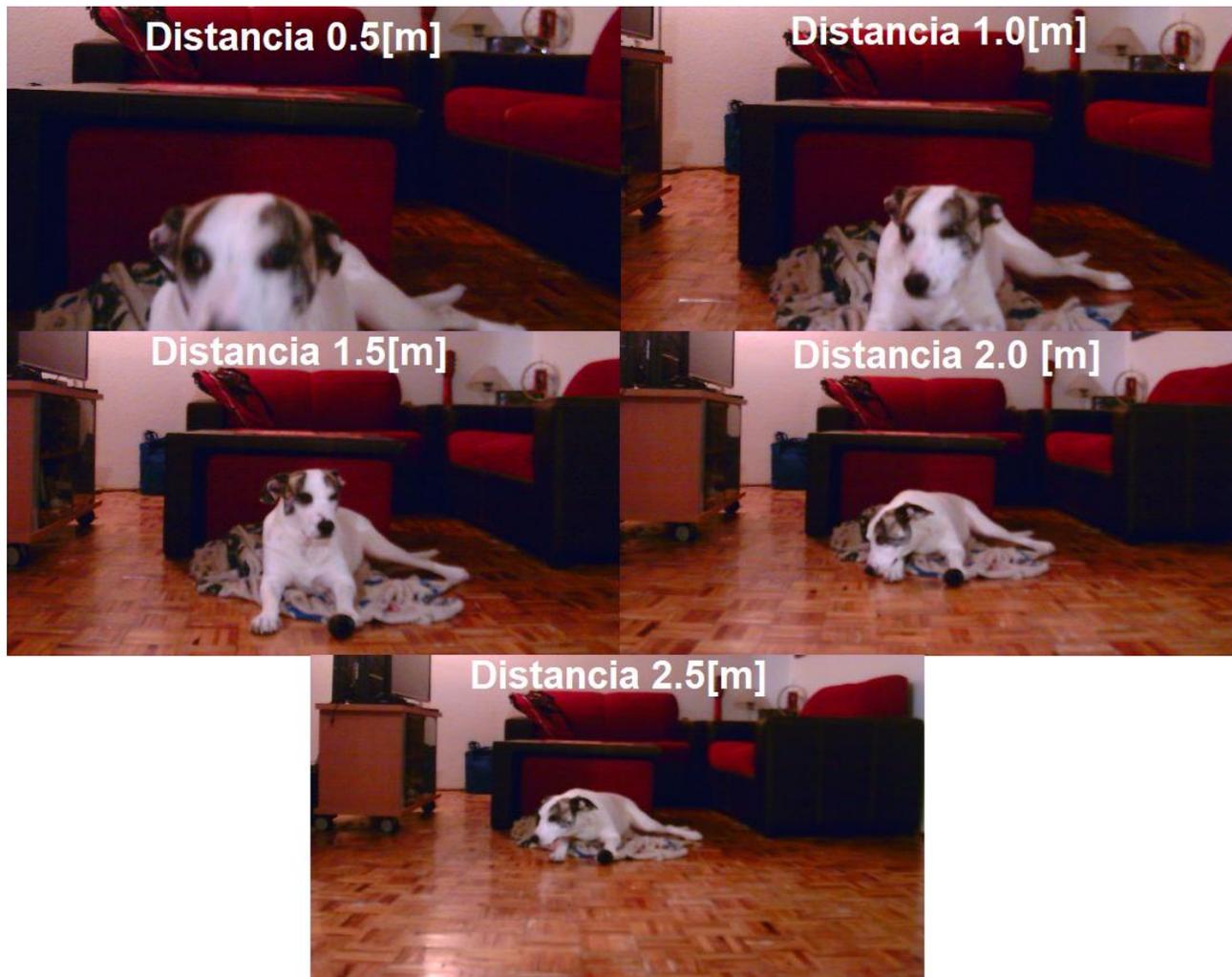


Figura 3.4. Fotografías tomadas a diferentes distancias de la mascota.

III.3 Subsistema de audio

Para el sistema de audio, se tienen dos elementos fundamentales para poder proveer al sistema la capacidad de emitir y recibir sonido de la y hacia la mascota, los cuales fueron seleccionados en el capítulo anterior como un micrófono de solapa y una bocina de 8 $[\Omega]$ a 1.5 $[W]$ de 2 $[in]$ con una potencia de sonido de 83 $[dB]$ –adecuada ya que es un valor inferior a los 90 que es el valor máximo de exposición al sonido para humanos y caninos-, que de acuerdo con las especificaciones ofrecidas por el proveedor [292], esta última resulta ser adecuada para el sistema conforme a las especificaciones establecidas, como también por su pequeño tamaño.

En cuanto al micrófono de solapa propuesto, se utilizó el modelo NW-805 de la marca *Neewer*, que es un micrófono omnidireccional con entrada *Jack 3.5 [mm]* y con el cual se contaba de antemano, y al ser de pequeñas dimensiones es compatible con el sistema. El micrófono es aproximadamente un cilindro con diámetro de 0.7 [cm] y altura de 2 [cm].



Figura 3.5 Micrófono de solapa *Neewer* y bocina 1.5 [W] [292].

Para el micrófono no existen ningún inconveniente para ser implementado a la *Raspberry Pi*, ya que es más que suficiente conectarlo en una terminal *Jack 3.5 [mm]* para utilizarlo sin la necesidad de instalar algún conector *software* o biblioteca especial.

Por el contrario, sí se presenta un problema para poder utilizar la bocina, primeramente, porque es necesario contar con una tarjeta de sonido que pueda ser conectada al sistema de control, la cual puede ser especial para la *Raspberry* o utilizar una de conexión *USB*. Por otro lado, al proponerse el uso de una bocina, será necesario contar con amplificador de audio para acondicionar la señal emitida por ésta.



Figura 3.6. Tarjeta de sonido *USB* [293].

Para la tarjeta utilizada para el sistema no se tuvo preferencia alguna debido a que la mayoría posee las mismas características funcionales y de dimensiones. La tarjeta que se muestra en la

figura 3.6, fue implementada a la *Raspberry Pi* por uno de los dos puertos *USB* restantes. Este tipo de tarjeta *USB* es compatible con sistema operativos basados en *Windows*, *Linux* y *Mac OS*, y cuenta con entradas *Jack* 3.5 [mm], lo que permitirá conectar tanto el micrófono como la bocina.

Con respecto al amplificador de audio para la bocina propuesta, al no ser el objetivo principal el diseño de una, el equipo de trabajo investigó en distintas fuentes [294-297] diferentes circuitos para esto, y se decidió se implementar uno basado en el uso del integrado LM386, el cual se recomendaba para el tipo de bocina que se propuso al poder alimentarse con 5[V] (por lo que se puede utilizar la energía del sistema de dosificación) sin implicar mucho consumo al tratarse de un amplificador de baja potencia, tampoco ocupa un gran tamaño y por no tener una gran cantidad de componentes para su implementación. Así, se probó el circuito que se muestra en la figura 3.7 y al tener resultados satisfactorios, se procedió a ensamblarse en una placa fenólica.

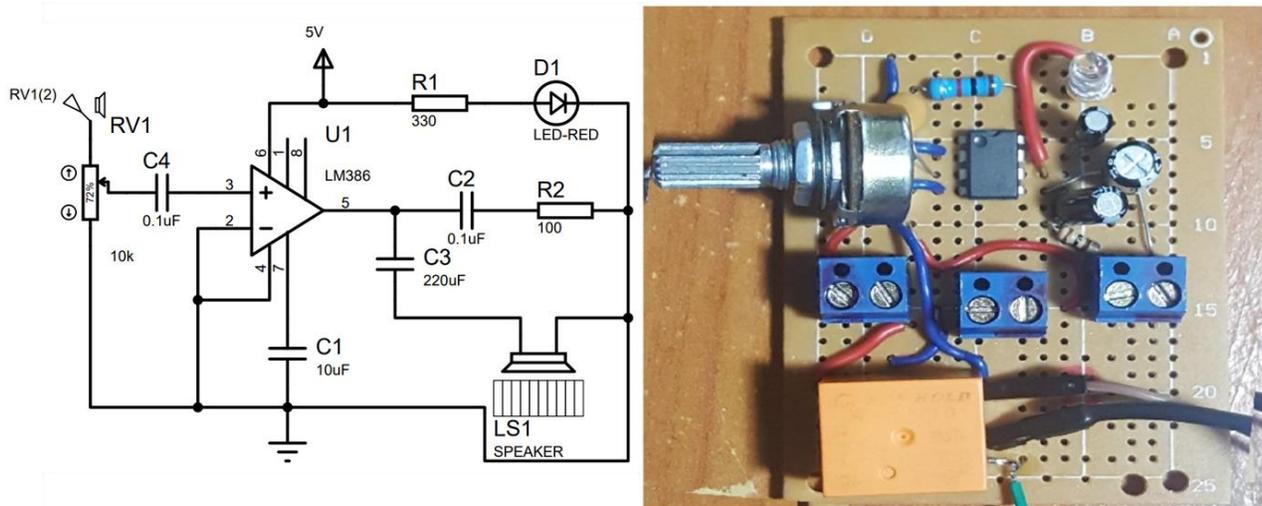


Figura 3.7. Tarjeta de sonido *USB* [294].

Como se puede ver en la figura 3.7, se implementó un relevador junto con un transistor con el fin de poder controlar por medio de la *Raspberry Pi*, como también para la etapa de potencia del amplificador de la bocina. De esta forma se puede controlar el encendido y el apagado del amplificador, al alimentarse solo cuando se hace uso de ella.

De acuerdo con las pruebas realizadas con la bocina y el amplificador de sonido implementado, las cuales consistían en reproducir sonidos y la voz de su dueño sin que éste se encontrar cerca, se observó que en efecto la mascota respondía a los sonidos producidos y movía la cabeza, también cuando se reproducía su nombre, la mascota se acercaba a la zona donde se encontraba.

Por lo tanto, solo queda incluir una entrada hembra *Jack* 3[mm] en la entrada de sonido del amplificador para poderse conectar directamente a la tarjeta de sonido instalado en la *Raspberry*.

III.4 Subsistema de detección

III.4.A Uso y adquisición de la señal RSSI de los *Beacons*

Uno de los elementos que se seleccionó para el sistema de detección capaz de determinar la distancia existente entre el sistema y la mascota, fue el dispositivo llamado *Beacon*, el cual es un pequeño dispositivo *BLE*, que como sus siglas indican utilizan la tecnología *Bluetooth* con un consumo de energía bajo. Los *Beacons* utilizan las señales *Bluetooth* para enviar de manera intermitente (proceso conocido como *Advertising*) una señal única que puede contener información no mayor a 20 [bytes] [298], como puede ser para entretenimiento, viajes, compras, como también su número de identificación o *ID*, por lo que es posible determinar de dónde proviene la señal, lo que permite evitar que se pueda confundir con alguna de otros dispositivos.

Según el *Beacon* es posible cambiar el tiempo en el que se realizará el *Advertising* lo que determinará la duración de la pila, sin embargo, el emitir esta señal no implica un gran consumo, lo que permite el funcionamiento del *Beacon* durante meses o inclusive años.

La señal producida por el *Beacon* es posible detectarla con cualquier receptor *Bluetooth* 4.0, por lo que generalmente son utilizados en centros comerciales o aeropuertos para promoción o dar información turística al ser detectadas las señales de éstos por medio de los celulares al pasar cerca de uno de estos dispositivos, debido a que no es necesario establecer una conexión entre ambos dispositivos previamente, sino que la señal se encuentra propagada en el ambiente y son los celulares por sus receptores quienes la captan y muestran la información.

Sin embargo, con el fin de poder utilizarlos para determinar distancias, se hace uso de la intensidad de la señal y del número de identificación del *Beacon* también conocido como identificador único universal o *UUID*, el cual consta de 32 valores hexadecimales. Adicionalmente al *UUID*, la información del *Beacon* incluye los valores conocidos como *Major* y *Minor*, los cuales son los números que permitirán distinguir a un único *Beacon* (*Minor*) de un grupo determinado de éstos (*Major*) del conjunto total a utilizar (*UUID*) [299].

Por lo tanto, será necesario poder determinar los valores *UUID* y *Major* de los *Beacons* para trabajar con un grupo determinado de *Beacons*. De esta manera, será posible determinar el valor de la intensidad de la señal o *Received Signal Strength Indicator* (*RSSI*).

Los *Beacons* que se utilizarán para el sistema son los del paquete de desarrollo de la compañía *Estimote* y contiene 3 diferentes. Además, es posible por medio de su aplicación desarrollada para celulares (a la cual solamente se pudo acceder por medio de una tableta de la marca *Apple*) cambiar el tiempo de transmisión de la señal y el valor de la intensidad de la señal, conocido como *Transmission Power* (*Tx*), el cual determina el área en la que se podrá detectar la señal. Así mismo, si se llega a modificar el valor de *Tx*, otro valor conocido como *Messured Power* también lo hará. El *Messured Power*, es el valor de la intensidad aproximada de la señal a un

metro de distancia [300-301], valor que se utilizará más adelante para calcular la distancia del *Beacon* al sistema.



Figura 3.8. Paquete de desarrollo de la empresa *Estimote*. [302].

La intensidad de la señal de los *Beacons* va desde los -30 [dBm] hasta los 4 [dBm], lo cual implica una potencia débil y fuerte respectivamente. Estos valores también permiten determinar el rango máximo del área en la que se puede detectar la señal, lo que sería aproximadamente de 1.5 [m] hasta 70 [m] respectivamente. Para el sistema se va a utilizar una intensidad de -12 [dBm] –que es el valor de fábrica– lo que equivale a un área con un radio de aproximadamente 15 [m]. Con este valor de intensidad de la señal se tiene *Measured Power* de -74 [dBm].

Por otro lado, se establece el intervalo de *Advertising* que será cada 100 [ms], y sería el más corto que puede disparar un *Beacon*, sin embargo, este valor se puede modificar hasta cada 2000 [ms]. Entre más corto sea el intervalo se tendrá mayor precisión y sensibilidad a las señales, lo que afectará en la vida de la batería del *Beacon*.

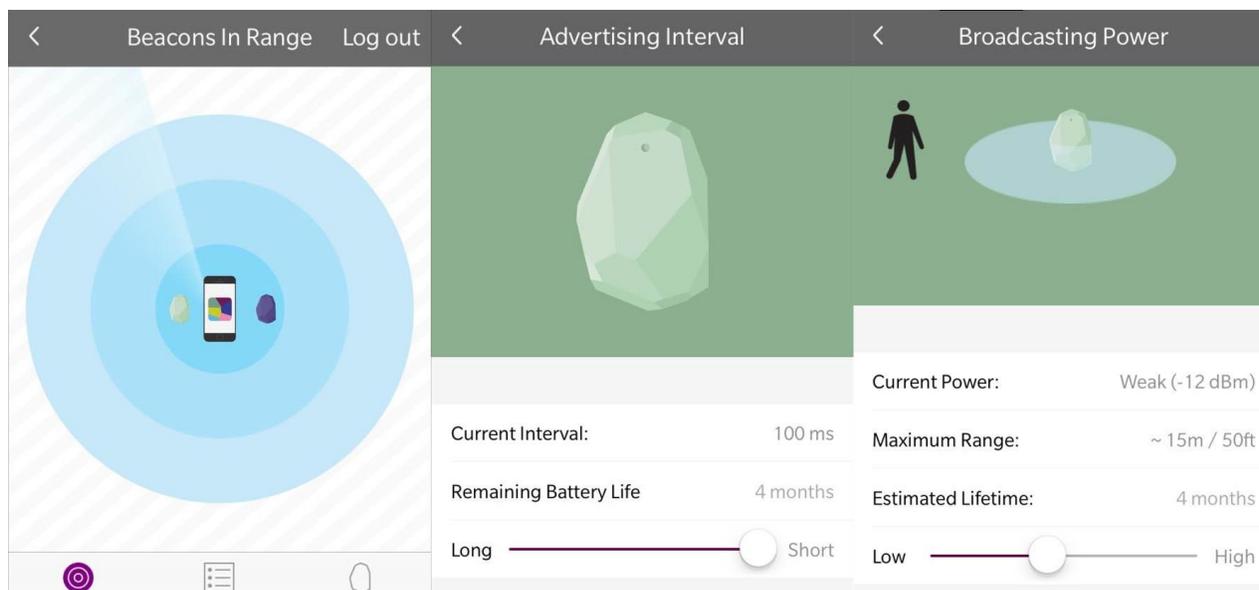


Figura 3.9. Modificación de los valores de los *Beacons* desde la Aplicación.

Como ya se comentó, para determinar la distancia entre un *Beacon* y un receptor se utiliza el valor del *RSSI*, el cual varía con respecto a la distancia debido que la señal emitida se debilita al “viajar” por el aire debido a la interferencia, la absorción y la difracción. El valor de *RSSI* se encuentra expresado en [dBm] el cual es una unidad de medida de potencia para hablar de decibeles relativos a un milivoltio. Estos valores van desde los 0 [dBm] hasta los -100 [dBm], donde 0 [dBm] es equivalente a 1 [mW] [301]. Entre mayor sea el valor del *RSSI* más fuerte es la señal emitida por el *Beacon* por lo que se encontrará más cerca de éste. El valor de *RSSI* de la señal es proporcionada por todos los adaptadores *Bluetooth*, por lo que será fácil obtenerlo al acceder a las lecturas de este elemento.



Figura 3.10. *Beacons* de la marca *Estimote* por adentro.

La *Raspberry Pi* posee la tecnología *Bluetooth* 4.1, por lo que no es necesario implementar un elemento adicional (*Dongle Bluetooth*) para poder captar la señal de los *Beacon*. Sin embargo, para poder capturar y utilizar la información de la señal de un *Beacon*, se utilizó una biblioteca llamada *Bluez* [303] que permite presentar los valores de *UUID*, *Major*, *Minor*, *RSSI*, *Txp* entre otros. Esta biblioteca captura la información de las señales *Bluetooth* del ambiente y de acuerdo con el orden de detección son expuestas. Así mismo, se debe especificar cuántos elementos serán presentados.

Por lo tanto, se desarrolló un código para utilizar dicha biblioteca y poder extraer la información únicamente de un cierto *Beacon* al obtener el valor *Major* desde la aplicación de *Estimote*. Se utiliza *Major* ya que como no se va a manejar un número mayor a uno de dispositivos *Beacon*, y dado que los valores de *Major* y *Minor* son diferentes en los tres dispositivos con los que se cuenta, es indiferente el uso de uno u otro.

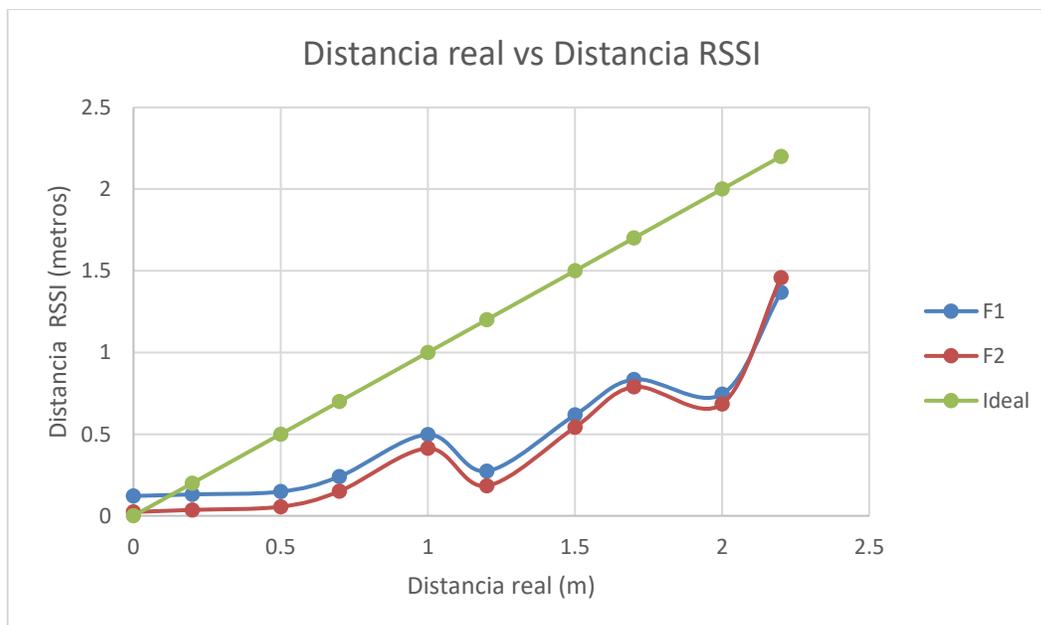
Así, con el fin de determinar si es posible calcular la distancia entre la *Raspberry Pi* y la mascota, se procedió a realizar ciertas pruebas, en las cuales se alejó gradualmente al *Beacon* (alimentado por medio de un *Arduino mega*) de la *Raspberry Pi* entre 0.2 [m] y 0.3 [m] hasta

llegar a los 2.2 [m]. Por lo tanto, se colocó una cinta métrica sobre una superficie plana y la *Raspberry Pi* se situó en el extremo indicado con 0 [m]. Para cada distancia medida se recopilaron valores de *RSSI* en un intervalo de tiempo hasta recopilar 35 muestras para cada distancia, y se promediaron los valores obtenidos con el fin de observar si efectivamente el valor de *RSSI* representa la distancia real que se busca. Estos resultados se pueden observar en la gráfica 3.1 como también en tabla I del apéndice IV en donde se puede notar que los valores obtenidos (F1 y F2) se encuentra separados del valor de *RSSI*. Es importante mencionar que los valores de *RSSI* que se muestran en la gráfica y se representan como F1 y F2, provienen de las fórmulas utilizadas (3.1 y 3.2, respectivamente) en los foros de *Estimote* para convertir el valor de *RSSI* a distancia en metros [304-305].

$$d = (0.89976) \left(\left(\frac{RSSI}{Txp} \right)^{7.7095} + 0.111 \right) \quad (3.1)$$

$$d = 10^{\frac{Txp - RSSI}{20}} \quad (3.2)$$

Donde *d* es distancia en metros, *Txp* es el *Messured Power* [dBm] y *RSSI* es el promedio de las lecturas en [dBm]. Se utilizaron estas fórmulas para despejar el *RSSI* esperado para una determinada distancia, al conocer el valor de *Txp* (-74 [dBm]), valores que se pueden encontrar en la tabla IV del apéndice IV.



Gráfica 3.1 Resultados obtenidos de *RSSI* con un *Beacon*.

Es notable cómo se presenta una gran variación en los valores obtenidos de *RSSI* por parte de un solo *Beacon* y la *Raspberry Pi*. Sin embargo, este programa se implementó para realizar 10 lecturas de señales de *Bluetooth* y si en una de ella se encontraba el *Beacon* se tomará el valor de *RSSI*, sin importar si se detectaban dos señales del *Beacon*.



Figura 3.11. Pruebas realizadas con un solo *Beacon*.

Por otro lado, se implementó un adaptador *USB* de *Bluetooth 4.0* de la marca *UGREEN*, con el fin de descartar que el problema sea por las malas lecturas provenientes del receptor *Bluetooth* de la *Raspberry Pi*. Para este elemento, se realizó la misma experimentación para las lecturas de *RSSI* de los *Beacons* por medio del adaptador *Bluetooth* de la *Raspberry Pi*. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla II del apéndice IV, en donde se puede observar que los valores tienden a ser más estables que los obtenidos en la tabla I, aun cuando difieren del valor esperado para cierta distancia y que geoméricamente fue muy parecido a la gráfica 3.1.

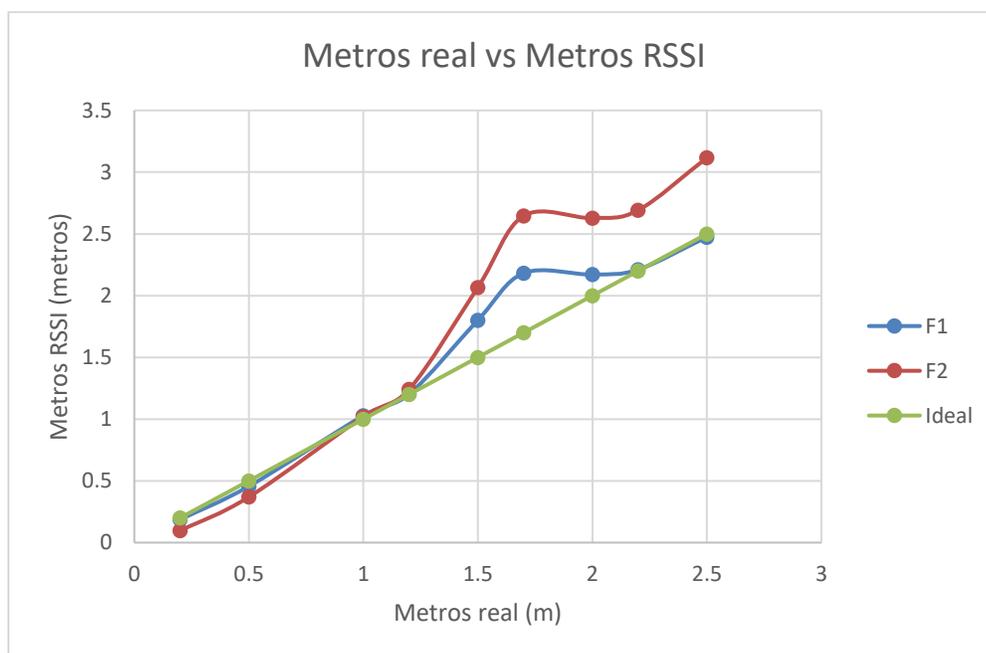
Para evitar que haya una gran variación en las lecturas, se procedió utilizar un segundo *Beacon*, dado que, si ambos elementos se encontraran a una misma distancia del sistema, se tendrá una mayor probabilidad de que en lecturas se presente el valor determinado de *RSSI* para esa distancia. Además, se redujo en la programación el número de muestreo de señales de *Bluetooth* captadas a 6 con el fin de obtener valores de *RSSI* más rápido, al tomar en cuenta en esta experimentación si se presentan varias señales de cada uno de los *Beacons*. Normalmente en estas lecturas se podrían conseguir hasta más de 2 valores para el *Beacon1* y *Beacon2*, por separado.



Figura 3.12. Pruebas realizadas con un dos *Beacons*.

Así, del número de valores de *RSSI* obtenidos para cada *Beacon* por separado en cada lectura de señales de *Bluetooth*, se suman y se promedian conjuntamente para obtener un único valor promediado el cual se almacena en un arreglo de 5 elementos. Así, este arreglo se llenará de todos los promedios obtenidos de las lecturas realizadas para posteriormente volver a promediar los valores del arreglo de manera continua, lo que implica que haya un corrimiento de valores cuando se llene, y se reemplace el promedio más viejo por el más nuevo.

Las pruebas fueron realizadas con el mismo procedimiento, se colocó a la *Raspberry Pi* en el extremo de la cinta métrica en 0 [m] y se desplazó al conjunto de *Beacons* (unidos con silicón) en distancias de 0.2 [m] y 0.3 [m] hasta llegar a los 2.5 [m]. Los resultados obtenidos en cuanto a los valores *RSSI*, que se pueden observar en la tabla III del apéndice IV, muestran un mejoramiento en la estabilidad de los valores y una tendencia a ser muy próximos en las mediciones realizadas desde 0 [m] hasta 1.5 [m], lo cual se puede observar en la gráfica 3.2. Sin embargo, posterior a 1.5 [m] el valor obtenido varía por lo que la distancia tiende a no ser exacta para algunos muestreos.



Gráfica 3.2 Resultados obtenidos de *RSSI* con dos *Beacons*.

Sin embargo, los valores obtenidos durante esta experimentación se pueden considerar útiles, dado que, con base en las especificaciones planteadas, se espera que la mascota se encuentre distanciada del sistema entre 1 [m] y 2 [m] por lo que es muy importante que el sistema pueda determinar si está muy próximo o cercano a la mascota, ya que así evitará lastimarla y realizar correctamente su supervisión al abarcar en su ángulo de visión tanto a la mascota como lo que hay a su alrededor respectivamente. En caso de encontrarse lejos, no corre ningún riesgo la mascota por parte del sistema, por lo que la variación de las lecturas a estas distancias no será tomada en cuenta.

Aunque se preferirá para la implementación optar por utilizar zonas o anillos de aproximación al trabajar con ciertos intervalos de *RSSI* y no un valor de distancia determinado, como puede ser 1 [m]. Esto debido a las variaciones que aún se puedan presentar durante las mediciones, de manera que se podrá parametrizar un cierto intervalo de valores de *RSSI* con una cierta tolerancia, y al estar dentro de cada intervalo se podrá efectuar tres acciones diferentes:

- 🐾 Si se encuentra en el anillo “Cerca”, el sistema deberá retroceder hasta llegar al anillo “Adecuada”, con el fin de distanciarse.
- 🐾 Si se encuentra en el anillo “Adecuada”, el sistema se detendrá, ya que representa la zona segura tanto para la mascota como la óptica con el fin de poder visualizarla completamente.
- 🐾 Si se encuentra en el anillo “Lejos”, el sistema deberá acercarse hacia la mascota hasta llegar a la zona “Adecuada” una vez que haya sido detectada su presencia.

Así, se establece la zona “Cerca” desde 0 [m] hasta 1 [m], es decir desde 0 [dBm] hasta -74 [dBm] de *RSSI*. Por otro lado, para la zona “adecuada”, se utiliza los valores de -74 [dBm] hasta -80.8 [dBm] que es aproximadamente de 1 [m] hasta 1.5 [m], y finalmente la zona “Lejos” con aquellos valores superiores a -80.8 [dBm].

La selección de los valores de *RSSI* se encuentra basada en la tabla III que fue obtenida durante la experimentación, mientras que los anillos se determinaron con respecto a las especificaciones del sistema, como también por pruebas realizadas con la cámara para determinar si la mascota se podía visualizar completamente.

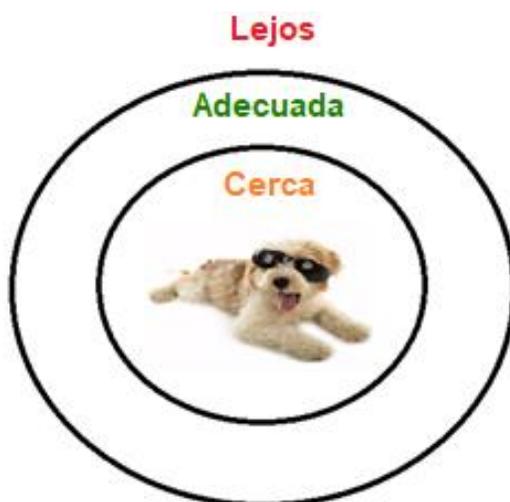


Figura 3.13. Representación gráfica de las zonas o anillos de aproximación.

De igual forma, la selección de los anillos de aproximación que se implementarán para determinar la distancia del sistema coincide con los valores obtenidos durante las pruebas de video de la *webcam*, por lo que encontrarse el sistema a una distancia de 1 [m] hasta 1.5 [m] permitirá visualizar correctamente a la mascota durante la supervisión.

Además, los *Beacons* al ser de un tamaño pequeño (aprox. 4 [cm] de largo por 2 [cm] de ancho), se podrán implementar en el collar descrito en el capítulo anterior para los sensores de signos vitales, y no consumen una gran cantidad de energía (si se utiliza una pila de 3.3 [V] a 1000 [mA] puede durar con el intervalo de *Advertising* hasta 4 meses) ni de espacio, como tampoco aportarán un peso considerable.

Por otro lado, para la *Raspberry Pi* no implicará realizar conexiones por medio de cables, ya que al ser el *Dongle Bluetooth* con entrada *USB*, se podrá conectar rápidamente en el último puerto *USB* que aún quedan disponibles en el sistema de control, sin ocupar demasiado espacio dentro de la carcasa del sistema (menos de 1 [cm] sin incluir la entrada *USB*).

III.4.B Visión artificial

Con lo anterior realizado se puede saber a qué distancia se encuentra la mascota del sistema, sin embargo, no se sabe dónde se encuentra posicionado en el espacio, es decir, la mascota puede estar a una determinada distancia, pero puede encontrarse adelante, atrás o a los lados del sistema. Para resolver este problema, el sistema se apoyará en la visión artificial para buscar, localizar y así poder seguir a la mascota una vez que haya sido reconocida, con ayuda de los anillos de aproximación para su supervisión.

El reconocimiento y localización de objetos en el ambiente es posible a través de la visión para el ser humano, lo cual se logra al procesar y analizar las imágenes captadas por los ojos. Este análisis y procesamiento es hecho por los humanos de forma natural y es una tarea a la que estamos acostumbrados, por lo cual no implica un gran esfuerzo para distinguir información útil y relevante a partir de las imágenes [306-307].

Por lo tanto, la visión artificial o visión por computador es la capacidad de procesar y analizar una imagen capturada a través de una cámara o secuencia de video, para extraer información de los objetos o del entorno, al traducirla en valores numéricos o información simbólica [308-310], ya que se intenta replicar la visión de las personas.

De lo anterior, es posible identificar dos subsistemas fundamentales, el que permite captar la información del mundo real por medio de una imagen, y aquel para analizar las imágenes y extraer información [310]. Estos dos subsistemas representan la analogía entre la visión humana y la artificial donde el ojo y la cámara son los encargados de obtener imágenes y posteriormente, el cerebro y un *software* se encargan de la interpretación de ellas y de extraer la información [306, 310-311].

Dentro del campo de la visión artificial, el reconocimiento es la tarea más utilizada y se trata del procesamiento de imágenes para determinar si en ella se encuentra un objeto, una cierta característica o una actividad; a través de él es posible distinguir objetos, caras, colores, formas y

caracteres. Este procesamiento depende de ciertas condiciones adecuadas como son principalmente, la iluminación y la posición relativa de la cámara [309].

El reconocimiento a través de visión artificial es una tarea compleja ya que puede variar los resultados según estas condiciones, cuya adaptación a ellas es trivial para la visión del ser humano, pero no para una máquina, que trata de imitarla [306, 309].

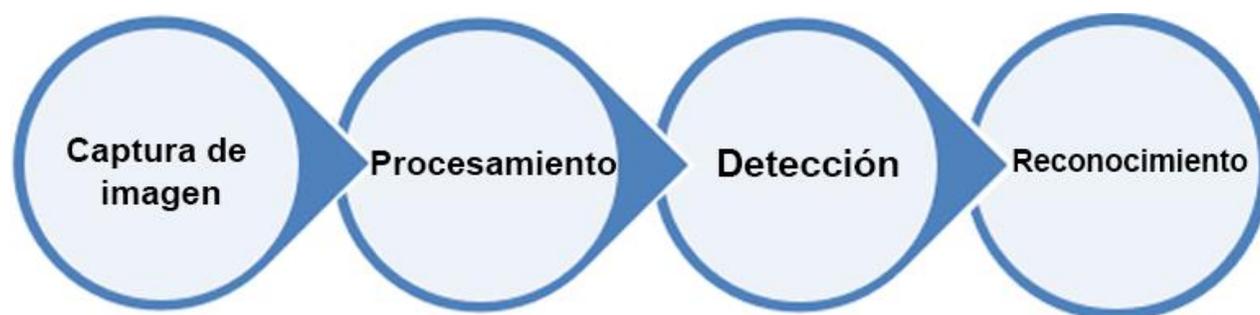


Figura 3.14. Fases para el reconocimiento por imágenes [309].

En la figura 3.14 se presentan la estructura básica para el reconocimiento de imágenes por medio de la visión artificial. Cada una de ellas se caracteriza de la siguiente forma [306-307, 309, 312]:

Captura de la imagen

Es la primera etapa para el reconocimiento, en donde se realiza la adquisición de una imagen a partir de una fotografía o un video (secuencia de fotografías) para realizar el análisis sobre ésta.

Procesamiento

En esta segunda etapa, se hace alguna modificación de la imagen para adaptarla y facilitar su análisis e interpretación al obtener información de los objetos en ella. Algunas técnicas para modificarla imagen son la transformación de modelos de color, histogramas, suavizador, difuminado, agudizamiento, filtros de color, dilatación, erosionado, transformación a escala de griseases, entre otras.

Detección

La siguiente etapa del reconocimiento consiste en la identificación y extracción de las características de la imagen procesada que sean de interés y que sean útiles para el reconocimiento al permitir su diferenciación dentro de un grupo de objetos. Esta identificación se basará de los datos obtenidos a partir del procesamiento. Algunas técnicas para la detección en una imagen son la detección de vértices por filtros de Canny, variaciones entre píxeles (color, grupos, distancia o proximidad), entrenamiento por formas, búsqueda de contorno, tratamiento de texturas, segmentación, entre otros.

Reconocimiento

Finalmente, en la etapa de reconocimiento se ubica el objeto deseado y se asegura su identificación con base en la interpretación de las características obtenidas de las etapas anteriores, además se determina su posición dentro de la imagen. Algunas técnicas utilizadas para el reconocimiento son por medio de la igualación de vértices, igualación de escala de grises, igualación de gradientes, búsqueda y comparación de base de datos de modelos, árboles de interpretación, hipótesis y test, consistencia de poses, *clustering* de poses, entre otros.

La primera etapa del reconocimiento por visión artificial se puede realizar por medio de alguna videocámara digital, *webcam*, cámara térmica, cámara infrarroja, entre otras, la cual deberá encontrarse comunicada con un microprocesador, el cual será el encargado de realizar las siguientes etapas del reconocimiento, con base en ciertos algoritmos determinados para el tratamiento de la imagen [306].

Por lo tanto, para poder realizar la detección de la mascota a través de la visión, se necesita contar con una videocámara con el fin de obtener de un video la secuencia de imágenes para poder analizar y determinar donde se encuentra ubicada la mascota en el espacio. Pero, aunque en el sistema de video se planteó el uso de una *webcam*, ésta estará limitada a ser utilizada para la transmisión, por lo que será necesario implementar otra cámara para el sistema de detección.

Para ello se optó en utilizar el módulo de cámara para la tarjeta de *Raspberry Pi*, conocida como *Raspberry Pi Camera Rev. 1.3* la cual se puede conectar fácil y rápido al puerto serie para cámara que cuenta la tarjeta, al utilizar un cable plano flexible de 15 pines, pues ya se tienen ocupados los puertos *USB*, además de que su tamaño es pequeño y es ligera (2 x 2.5 x 0.9 [cm], 3 [g]). Esta cámara posee una resolución máxima de 1920 x 1080 píxeles y un ángulo de visión de 60 [°] [313].

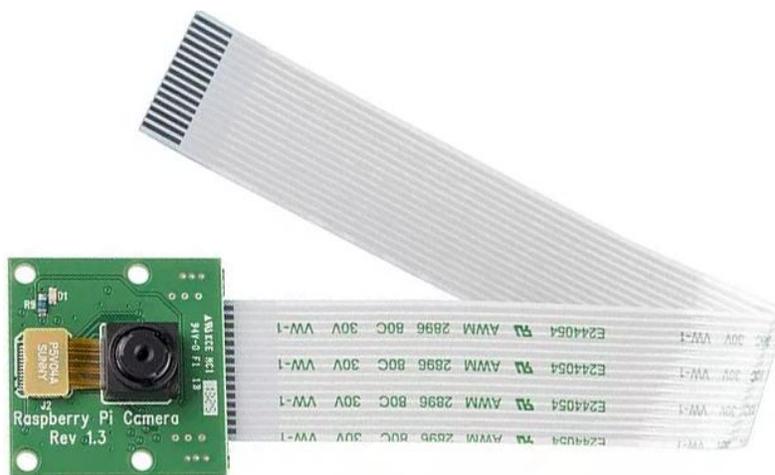


Figura 3.15. *Raspberry Camera Rev. 1.3* [314].

Para poder realizar las siguientes etapas del reconocimiento, es necesario el uso de diferentes tipos de algoritmos que se encarguen de manipular y tratar las imágenes obtenidas desde el módulo de la cámara. Para ello se utilizó la biblioteca libre de visión artificial *OpenCV* (*Open Source Computer Vision Library*) que incluye más de 2500 algoritmos sobre visión [315].

Estos algoritmos permiten realizar la detección y reconocimiento facial, identificar objetos, clasificar acciones humanas en videos, seguir objetos en movimiento, extraer modelos 3D de objetos, puntear imágenes juntas para producir una imagen de alta definición de una escena completa, transformaciones sobre la imagen, conversiones del espacio de colores, encontrar imágenes similares de una base de datos, remover los puntos rojos en los ojos de imágenes capturadas con flash, seguir movimientos oculares, reconocer escenas y establecer marcadores para recubrirlos con realidad aumentada, etcétera. Además, existe una gran comunidad y documentación en relación con *OpenCV*, sobre el uso e implementación de estos algoritmos para las diferentes etapas del reconocimiento de objetos en imágenes [315].

Así mismo, se utilizó esta biblioteca ya que es compatible con el sistema operativo del microcontrolador, así como con el lenguaje de programación usado que es *Python*, sin embargo, no viene incluido en el sistema operativo de la *Raspberry Pi*. *OpenCv* se puede aplicar tanto para fotografías, como también en dispositivos de video, como diferentes modelos de *webcams* y el módulo de cámara de la *Raspberry Pi* en tiempo real.



Figura 3.16. *OpenCV Python* [316].

Ahora se debe plantear cómo se realizará el reconocimiento de la mascota a través de la visión artificial. Hay muchas formas de reconocer objetos y algoritmos para ello, y, en primer lugar, el equipo planteó que fuera a través de la forma; sin embargo, al existir tantas variedades de perros, por sus diferentes razas, tamaños, color y tonalidades de pelaje, complexión, se necesitaría un procesamiento muy complejo para abarcar todas las posibilidades y que el sistema sirviera para todo tipo de perro.

Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que, si se utilizaba un reconocimiento por medio de una característica que fuera constante y distinguible en todos los perros o algo que pudieran usar y estén acostumbrados a ello, sería más sencillo. Es así como se planteó la idea de una prenda auxiliar y que a través de su color se hiciera el reconocimiento, ya que así no se tienen tantas características como forma o tamaño que pueden cambiar.

En conclusión, será necesario contar con algún objeto auxiliar al perro para poder distinguirlo al aplicar el filtro de colores. Para ello, se plantean diferentes posibilidades como el uso de un chaleco o un collar.

Para el caso del chaleco, podría resultar una opción viable ya que, como se comentó en el estado de la técnica, existen chalecos calmantes para la ansiedad en las mascotas. Sin embargo, como se planteó la posibilidad de la detección de signos vitales por medio de un collar instrumentado, se opta por utilizar esta prenda como auxiliar para el filtro de colores.

Sin embargo, al tratarse de un filtro de colores, se espera que haya una gran variedad de éstos dentro de un hogar, ya que tanto los muebles, paredes, decoraciones, entre otros objetos suelen ser siempre de distintos colores y es impredecible para el sistema los que se encontrarán en las casas. Por lo tanto, se deberán utilizar colores que no sean comunes y resalten dentro del hogar, como son los neones.

Por otro lado, al tratarse de visión artificial, los objetos pueden ser visualizados con diferentes tonalidades de color de acuerdo con la luz que se refleja sobre ellos, por lo que los cambios de iluminación pueden afectar directamente a la detección de objetos por color. Existe el caso en el que la mascota se encuentre en una habitación con poca luz o no se haya dejado alguna luz encendida en la tarde-noche y la mascota se encuentre junto con el sistema en un ambiente con muy poca visibilidad. Por lo tanto, se optó por el uso de collares de colores iluminados con *LEDs* como los presentados en la figura 3.17.



Figura 3.17. Collares iluminados por *LEDs* de diferentes colores [317].

Otra ventaja del uso de estos collares es que, al tener *LEDs*, pueden mantenerse iluminados durante todo el día, por lo que la variación de luz que puede afectar al filtrar los colores se verá reducida, y será una opción viable para lograr el funcionamiento de la detección de la mascota.

En una primera fase de pruebas para el collar se utilizó uno solo para detectar a la mascota, sin embargo, no fue suficiente ya que no se cubría toda la circunferencia del cuello con la parte iluminada. Esto desembocó en el planteamiento del uso de dos collares unidos para poder cubrir

una iluminación alrededor del cuello y que si el perro volteaba no hubiera un espacio sin mandar señales al sistema de detección. Por otro lado, la mascota que lo usaba para las pruebas no tenía un pelaje largo ni esponjado, pero hay perros que sí, por consiguiente, se añadieron dos collares más, solo que esta vez no a lo largo sino a lo ancho, para abarcar de esta manera un área más grande a ser detectada. Esto se puede observar en la figura 3.18, en donde del lado izquierdo se observa el cuello de la mascota iluminado solamente la parte superior.



Figura 3.18. Expansión del collar con *LEDs* en ancho y largo para cubrir el cuello de la mascota.

Experimentalmente, se probó realizar el reconocimiento de la mascota con un collar a través de la *webcam*, sin embargo, fue la cámara del módulo de la *Raspberry Pi* la que detectó de mejor forma los colores, en comparación a la *webcam* que llegaba a saturar el brillo proveniente del collar por lo que no se podía detectar correctamente el color ya que lo mostraba como blanco.

Es importante mencionar que la resolución de la imagen con la que se trabajará para su procesamiento es de 480x360 píxeles, lo cual se decidió para que la captura, el procesamiento y finalmente la detección de la información deseada sea rápida y no tome mucho tiempo al sistema durante su funcionamiento al no ser muy pesada, pero sin dejar de obtener una buena captura del entorno en donde se pueda encontrar la mascota.

Para poder obtener la captura de la imagen de video a través de *OpenCV* de la cámara de *Raspberry Pi*, se utiliza la función *VideoCapture (0)*, en donde el 0 indica la asignación que le da la *Raspberry Pi* a la cámara, ya que 1 indicaría la *webcam*. Además, se utiliza la función *set(a,b)*, para indicar las dimensiones de la imagen, donde “a” determina la propiedad de la imagen indicada con un entero – 3 y 4 para modificar ancho y alto- y “b” es el valor deseado -480 y 360 respectivamente- para la resolución de la imagen [318].

Una vez seleccionado el auxiliar de detección y al contar con una cámara para la obtención de imágenes, se procede a plantear la forma en qué se realizará el reconocimiento de la mascota a través de los collares y al utilizar la *Raspberry Pi*, *Python* y *OpenCV*.

Ya que se cuente con la captura de una imagen a través de la cámara, se procede a modificar el modelo de color de *RGB* a *HSV*. Lo anterior se hace ya que el primer modelo es utilizado por las cámaras, mientras que el segundo está orientado al procesamiento de imágenes y visión [307, 319-321, 326].

Para empezar, el modelo de color *RGB* se refiere a la combinación aditiva de colores rojo, verde y azul (*Red, Green, Blue*), el cual está basado la percepción humana y son éstos los colores conocidos como colores primarios, de cuya combinación se pueden percibir los demás colores conocidos [307, 309, 321-323, 326].

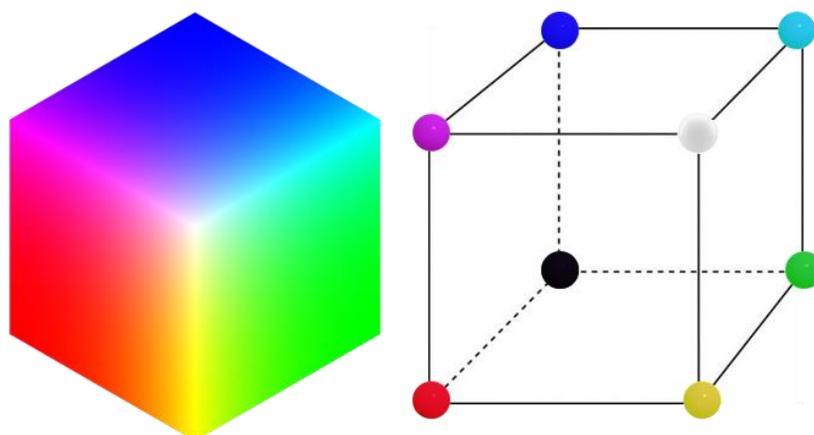


Figura 3.19. Representación geométrica del espacio de colores *RGB* [324].

Como se puede observar en la figura 3.19, este modelo de color se representa geoméricamente con un cubo unitario, de manera que los colores son representados por medio de coordenadas dentro de él [307]. En el vértice $(0,0,0)$ u origen, se tiene el negro que sería la ausencia de color, mientras que en el vértice $(1,1,1)$ se tiene el blanco que sería la combinación de los tres colores primarios, la diagonal entre estos dos vértices sería la escala de grises. A partir del origen, se desprenden tres vectores que serían los colores primarios azul $(0,0,1)$, rojo $(1,0,0)$ y verde $(0,1,0)$. De esta forma, cada color dentro de este modelo se representa por medio de un vector, como sucede por la suma de los vectores de los colores primarios para obtener los colores secundarios magenta $(1,0,1)$, amarillo $(1,1,0)$ y el cian $(0,1,1)$ [307, 309].

Este modelo de color trabaja con la luz transmitida, por lo tanto, se utiliza en monitores y cámaras; las luces rojas, azul y verde se combinan para crear la variedad de colores y cuando éstas son mezcladas en su máxima intensidad producen el blanco para la percepción de las personas, ya que no se puede distinguir a distancia cada uno de los píxeles al estar muy juntos y se interpreta como un color sólido, pero en realidad son rojo, azul y verde [307, 322, 326].

Físicamente, cada píxel de una imagen se representa por medio de la cantidad de intensidad de cada color *RGB* la cual va desde 0 hasta el 255, en donde 0 representa la ausencia de color o negro y 255 la presencia de todos los colores o blanco. Por lo tanto, actualmente se tienen imágenes de 24 [*bits*], ya que equivale a la multiplicación de 8 [*bits*] por cada color primario, lo anterior da como resultado la reproducción de más de 16,7 millones de colores por cada píxel [306, 319, 322, 325-326].

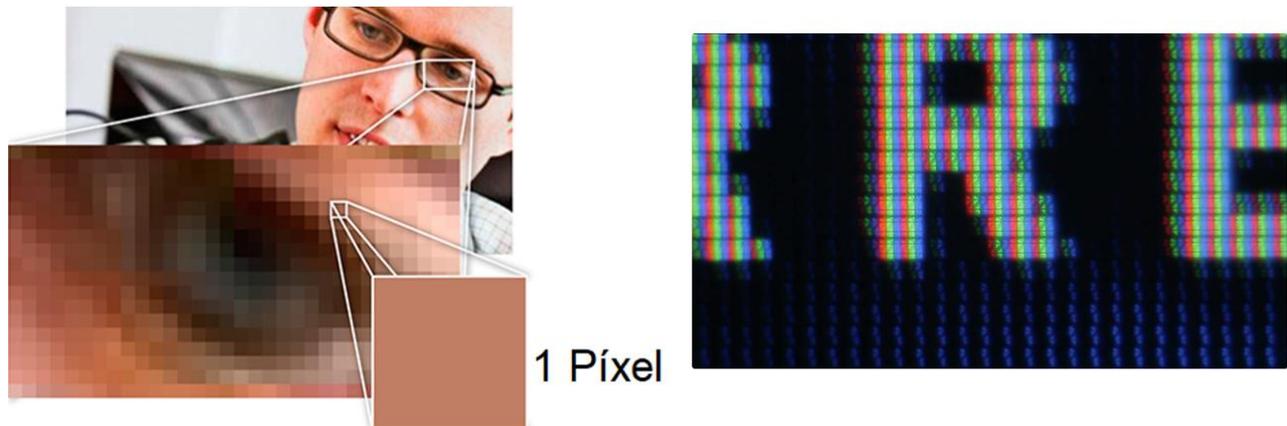


Figura 3.20. Imagen conformada por píxeles [327], y éstos por sus componentes *RGB* [328]

En este sentido, la intensidad cero para cada componente de color *RGB* da la ausencia de color o negro, mientras que una intensidad completa de cada uno da el blanco. Cuando las intensidades de los tres componentes son iguales, esto da resultado a un tono gris, que será más claro o más oscuro según la intensidad de estos componentes, mientras que si se tienen diferentes intensidades se tiene un tono coloreado, donde la saturación de éste de nuevo depende de la diferencia de intensidades de los colores *RGB* [326].

Aunque el modelo de color *RGB* resulta práctico y eficaz para la representación de imágenes en pantallas y su captura por cámaras, cuando se busca trabajar con imágenes en visión artificial este modelo no es útil, lo anterior debido a que como es un modelo basado en la mezcla de colores al momento de tratar la imagen y querer aplicar alguna técnica sobre el color, no se podrá distinguir entre colores parecidos, ya que no es clara la diferencia entre colores adyacentes [306, 321, 329-330].

Por lo tanto, se opta por el modelo *HSV* (*Hue*, *Saturation*, *Value*) que se basa de los atributos de tono, la saturación y el valor de los colores, aunque este último también se conoce como brillo (*brighthness*) y puede ser representado el modelo con las siguientes siglas *HSB* [307, 309, 329].

La representación geométrica del modelo de color *HSV* se basa en la proyección del cubo *RGB* sobre un plano perpendicular (conocido como plano cromático) a la diagonal trazada del vértice negro del cubo hasta el vértice blanco. De esta proyección se obtiene un hexágono como se puede apreciar en la figura 3.21. En los vértices de este hexágono se encuentran los colores azul, magenta, rojo, amarillo, verde y cian [321].

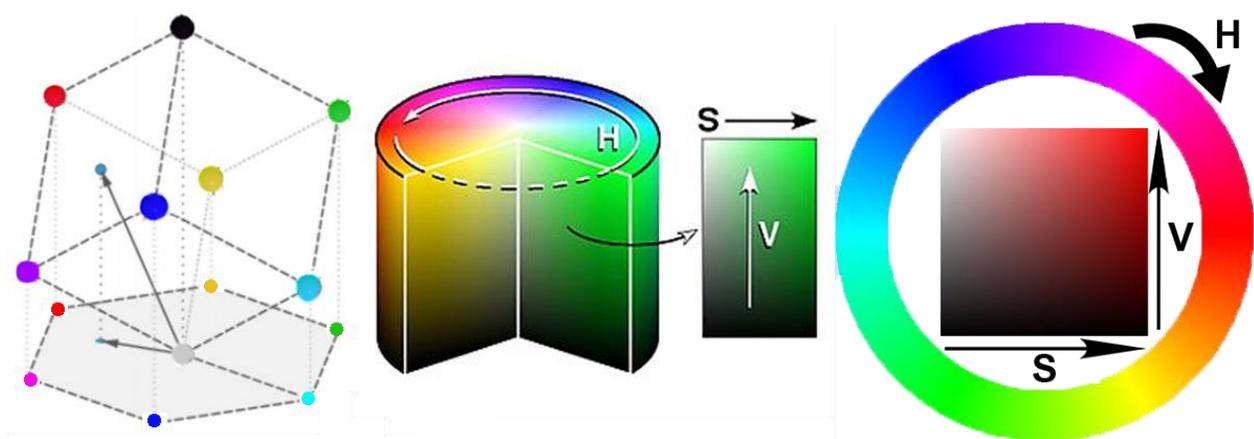


Figura 3.21. Representación geométrica del modelo *HSV* desde la proyección del cubo *RGB* [321, 323, 331].

Las tres componentes del modelo *HSV* en su representación geométrica permiten identificar el color deseado. En sí, el tono se define a partir de un ángulo del vector que apunta a un color sobre el plano cromático, por lo tanto, si se dividen los 360 [°] entre los tres colores primarios se obtiene que para cada uno habría una separación de 120 [°] y entre éstos, cada 60 [°] se encontrarían los secundarios [306, 309, 319, 323], donde cada grado corresponde a cada tono como se puede apreciar en la figura 3.22.

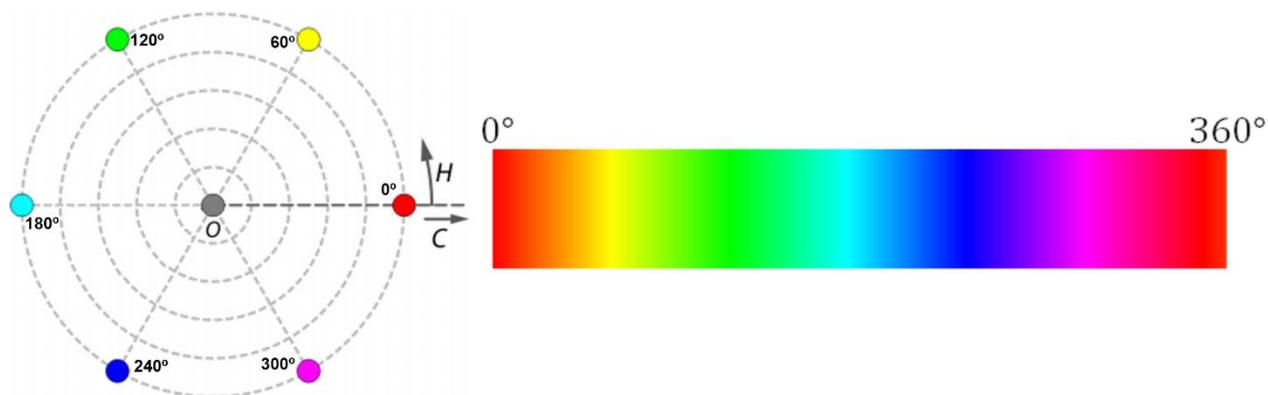


Figura 3.22. Ángulos para determinar el tono dentro del modelo *HSV* [319, 321].

Por otro lado, la saturación es la distancia desde el centro o eje blanco-negro sobre el tono seleccionado, es decir, la distancia perpendicular al eje. Esto nos permite indicar qué tan vivo o apagado será el color, es decir, su pureza; esto depende de la cantidad de color del eje blanco-negro que contendrá, como se puede ver en la figura 3.23 para el color rojo (ubicado en el grado 0 y con un valor de 100%) [306, 319, 321-323].

Hay que tener en cuenta que cuando se hace la representación geométrica del modelo *HSV* a partir de la representación del modelo *RGB*, el cubo se transforma en un hexágono, lo que daría como resultado su proyección como un prisma hexagonal, sin embargo, si se mantiene esta

representación para el modelo *HSV*, no habría un valor igual para los colores en cuanto a la saturación, es decir, para las puntas del hexágono sí, pero para los colores intermedios haría falta. Por lo tanto, el hexágono se escala a medida de un círculo unitario y el prisma se convierte en un cilindro, donde el radio será la saturación para cada color, la cual va de los valores del 0 al 1, aunque se representa en porcentaje del 0% al 100% [321, 323].



Figura 3.23. Saturación en *HSV* para un tono 0[°] con brillo de 100% [319].

Finalmente, el valor o brillo representa los valores de altura del eje blanco-negro, es decir, la iluminación que tiene un color. Los valores al igual que para saturación varían del 0% al 100%; cómo se puede apreciar en la figura 3.24, para el color cian que corresponde al grado 180, cuando se tiene una saturación de 100%, es decir, un color puro [306, 319, 323].



Figura 3.24. Valor o brillo en *HSV* para un tono 180 [°] con saturación de 100% [319].

Para las siguientes etapas de visión, es más eficiente el modelo *HSV* para el procesamiento de imágenes, ya que como se mencionó anteriormente, este modelo en comparación con *RGB* puede percibir las diferencias entre colores adyacentes al tener en cuenta el tono o “color” (*H*), la luminosidad de la imagen (*V*) y la intensidad de los colores (*S*) de manera independiente, lo cual resulta de gran utilidad para la visión artificial al poder distinguir cada color, ya que, por ejemplo, un verde azulado que se encuentra conformado en su mayoría por los colores azul y verde en proporciones iguales se puede confundir con alguno de ellos en *RGB*, mientras que para *HSV* éste será un color único definido por el parámetro *hue* o tono.

Además, como la imagen capturada por el módulo de cámara viene por defecto en el espacio de colores *RGB*, ésta se ve afectada por el cambio de la iluminación ya que este modelo no identifica ese parámetro como independiente como *HSV*, así que no es el adecuado para ser usado en el reconocimiento a través de *OpenCV*, ya que en el entorno del proyecto donde desarrollará su función habrá cambios de iluminación que podrían afectar al grado de no detectar el objeto cuando se quiera identificar por su color. Por lo tanto, al utilizar *HSV* se puede identificar un color y separar su brillo, por lo que si hay una sombra sobre un color este modelo puede cambiar en los valores de brillo, sin embargo, el color es el mismo [306, 328, 330, 332].

Para realizar la transformación de modelos de color en *OpenCV* se usa la función *cvtColor*, en donde se ingresa la imagen y el modelo de color a transformar que para *OpenCV* sería *COLOR_BGR2HSV* [330, 333-337].

Es importante recalcar que en *OpenCV* los valores de *HSV* para el tono (*hue*) se convierten de 0 [°] a 360 [°] en 0 a 179, ya que al trabajar con 360 [°] se superaría el valor de 255, ya que es el valor máximo de un píxel en el formato *uint8* (8 [bits]), que utiliza la biblioteca. De igual forma, para saturación (*S*) y valor (*V*) se utilizarán valores enteros del 0 al 255, que representan el rango de porcentaje del 0% al 100% [306-307, 319, 333-334, 337-338].

Ahora, para realizar la detección del color del collar que usará la mascota y así sea localizada se determina un rango de valores *HSV* altos y bajos relacionados para el color amarillo del collar y se obtenga su identificación por medio de *OpenCV*. Lo anterior se hace ya que el color no será homogéneo ya que depende de la iluminación, por lo tanto, se van a considerar las variaciones de valores que tengan los píxeles del color deseado de la imagen sobre el collar [306-307].

Es así como este rango de valores se usa para la creación del filtro de color al tener el umbral en el que se puede encontrar el color, entonces se convierte la imagen a blanco y negro -llamada máscara-, donde el negro representará todos los píxeles del color que no sea el deseado y el blanco serán los píxeles del color que entra en el umbral determinado para el color amarillo, lo que facilitará su ubicación al separar el objeto a localizar por su color del fondo [306-307, 333, 336, 338].

$$mascara = minH \leq imgHSV_0 \leq maxH \ \& \ minS \leq imgHSV_1 \leq maxS \ \& \ minV \leq imgHSV_2 \leq maxV \quad (3.3)$$

La biblioteca con la que se trabaja (*OpenCV*) se basa en la expresión matemática (3.3) para su función *inRange*, donde se ingresan 3 valores para los mínimos y máximos de cada componente del modelo de color *HSV*, para crear la máscara que identifique el color deseado [306, 330, 333, 336-338].

Con el fin de obtener el rango de valores para el color del collar, se utilizó un programa en donde se podrá variar los valores de *HSV* máximos y mínimos (indicados en el programa con un 2 y un 1 respectivamente) en tiempo real por medio de barras deslizantes como se muestra en la figura 3.25 [333]. De esta forma, al variar los valores por medio de las barras, el programa crea una máscara de blanco y negro con base en los valores indicados, sin embargo, para visualizar mejor el color y no confundirse, se implementa la máscara sobre la imagen capturada para poder ver el color filtrado en lugar de blanco.

Además, durante la experimentación se buscarán los valores para crear una sola máscara que pueda detectar al collar con diferente iluminación, esto para cuando la habitación tenga una iluminación proveniente de la luz solar a través de la ventana, y la segunda cuando haya solamente luz artificial, ya que en caso de estar completamente a oscuras, la luz de los *LEDs* mantendrá los valores aproximadamente parecidos a este último caso además de que será el color mayormente iluminado de toda la habitación.

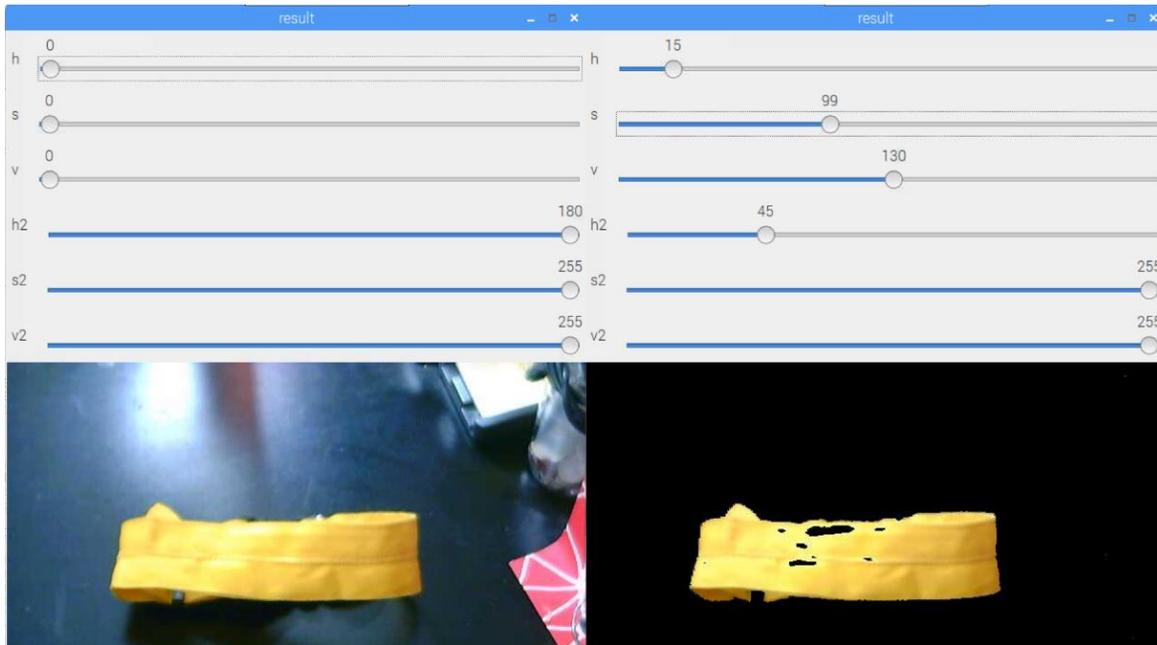


Figura 3.25. Determinación de valores máximo y mínimo *HSV* para la detección de un color.

Como se puede ver en la imagen 3.26, cuando se experimentó con el color amarillo se pudo detectar correctamente al collar iluminado por medio del programa para detectar los valores de *HSV*, sin embargo, en ambientes más poblados de colores, que en el caso de la experimentación fue una sala, para el filtrado del color amarillo con los valores obtenidos (con diferente iluminación) se detectaban otros objetos además del collar, por lo que si fuera necesario cerrar aún más el intervalo para detectarlo únicamente, se detectaba una zona muy pequeña de éste, y podía llegar a perderse o ser indistinguible a la distancia mayor a 1.5 [m], o en caso contrario detectar otros objetos que no fueran a la mascota y hacer un seguimiento erróneo.

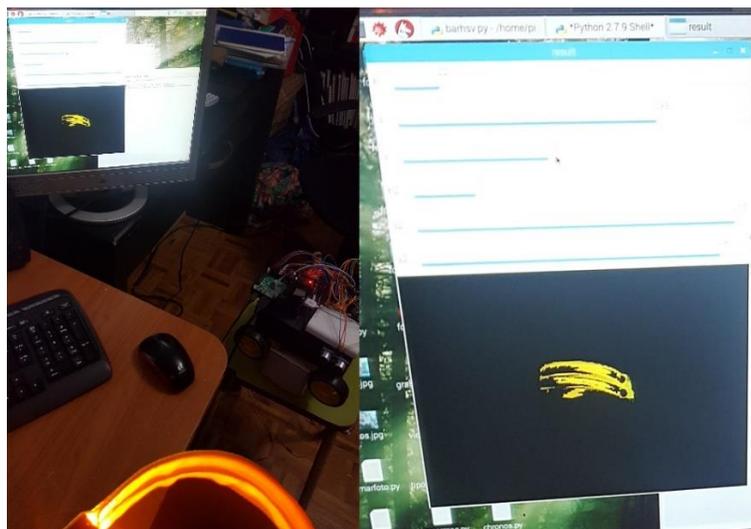


Figura 3.26. Filtrado del collar amarillo con luz para determinar los valores máx. y mín. de *HSV*.

Por lo anterior, se optó por utilizar otro color diferente al amarillo propuesto para el collar, además de utilizar a partir de este momento un patrón de identificación basado en la presencia de dos colores diferentes al mismo tiempo, es decir, cuando se detecten ambos colores en el mismo momento será cuando se detecte a la mascota, lo que permitirá no hacer tan cerrado el intervalo de valores *HSV* y así poder detectar una mayor área de color perteneciente al collar. En la figura 3.27 se presentan los modelos utilizados como collar durante todo el periodo de experimentación.



Figura 3.27. Collares utilizados durante la experimentación con uno y dos colores.

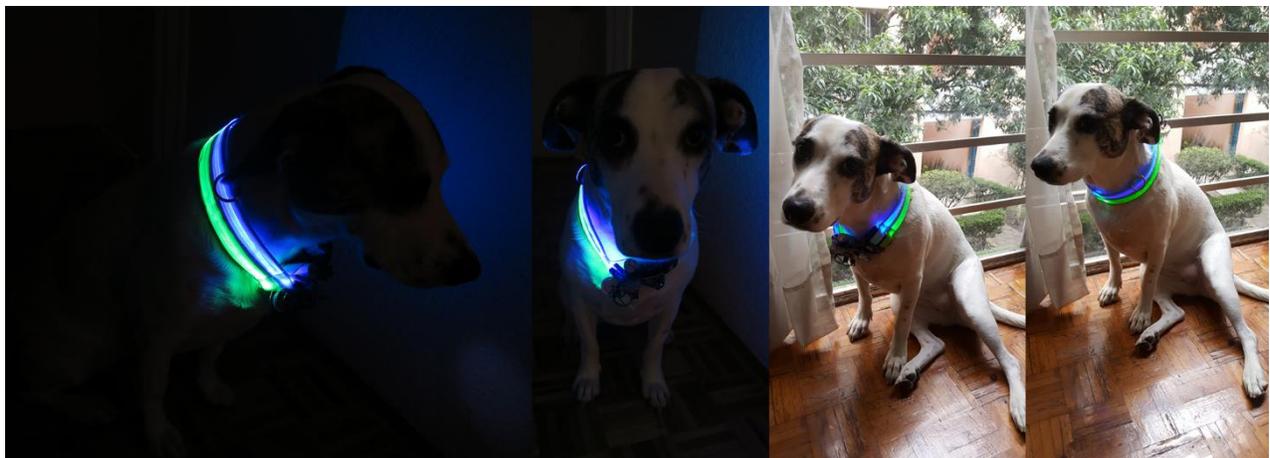


Figura 3.28. Combinación de dos colores para el collar utilizado por la mascota.

De nueva cuenta se realizó la búsqueda de los valores máximos y mínimos de *HSV* para la nueva combinación de collares tanto en un entorno con iluminación solar, como también en ambientes con luz artificial como se puede apreciar en la figura 3.29 y 3.30 para la combinación de colores azul y verde, los cuales fueron probados a distancias entre 1 [m] y 4 [m] y se obtuvieron muy buenos resultados en comparación con la combinación azul y rosa, los cuales, aunque se podían detectar a distancia, el área detectada para el color verde era mayor a la del color rosa, por lo que se optó por utilizar esta última combinación para el desarrollo del sistema.

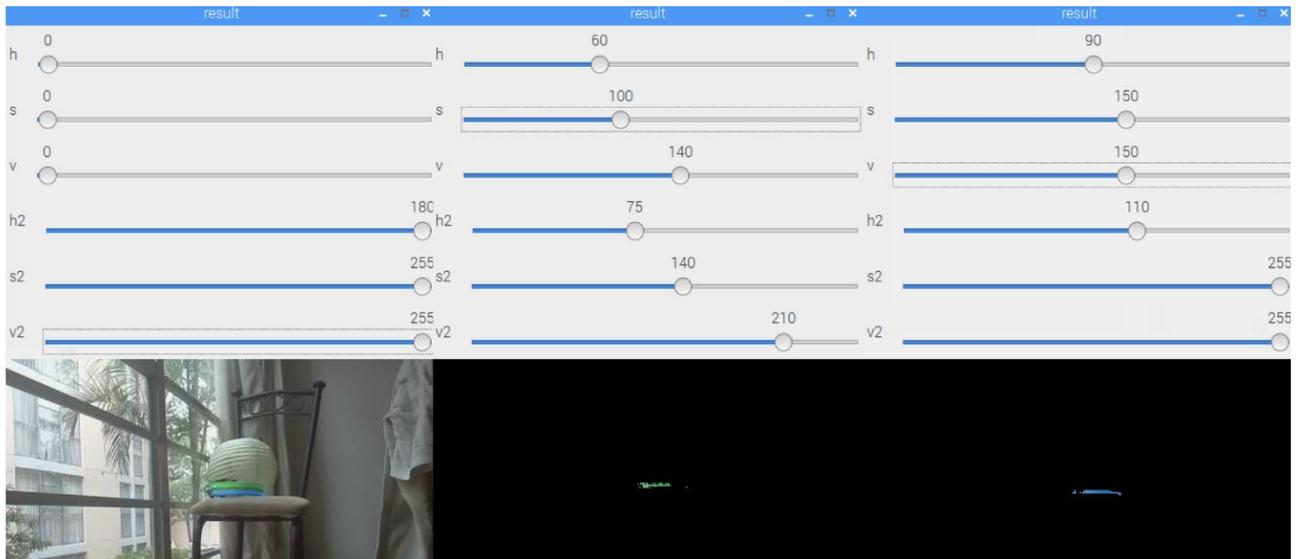


Figura 3.29. Determinación de valores *HSV* para los colores del collar con luz solar.

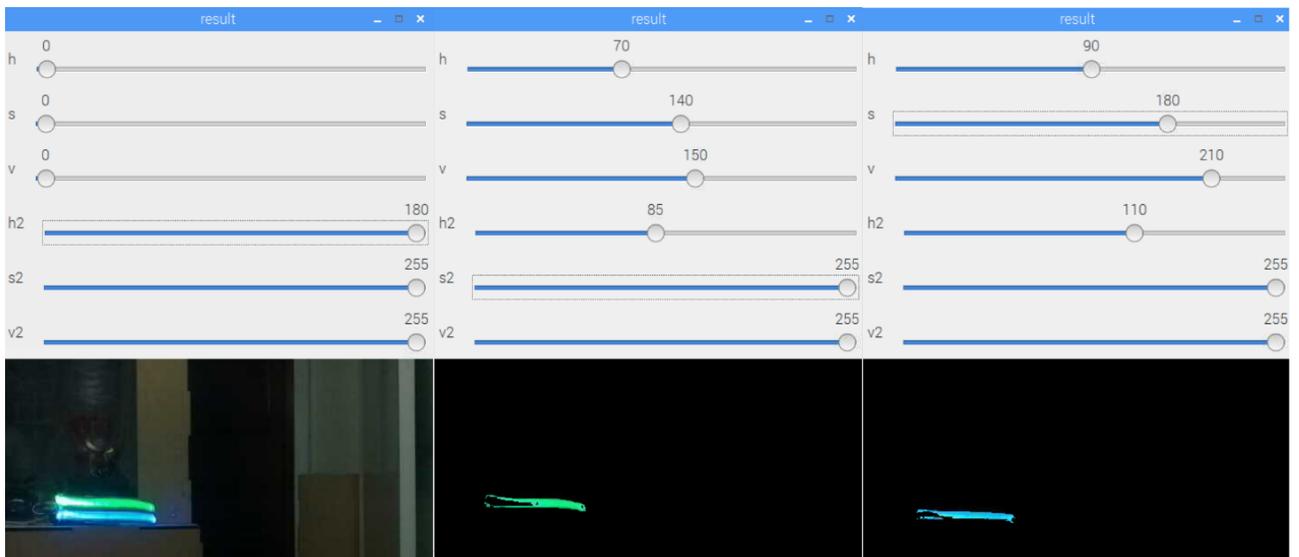


Figura 3.30. Determinación de valores *HSV* para los colores del collar con sin luz solar.

Una vez finalizadas las pruebas para la determinación de los valores de *HSV* para el collar de la mascota, el resultado de la etapa de procesamiento de la imagen es la obtención de la máscara para cada uno de los colores del collar, la cual contendrá cada una el intervalo de valores de los colores *HSV* para los diferentes tipos de iluminación como se comentó anteriormente.

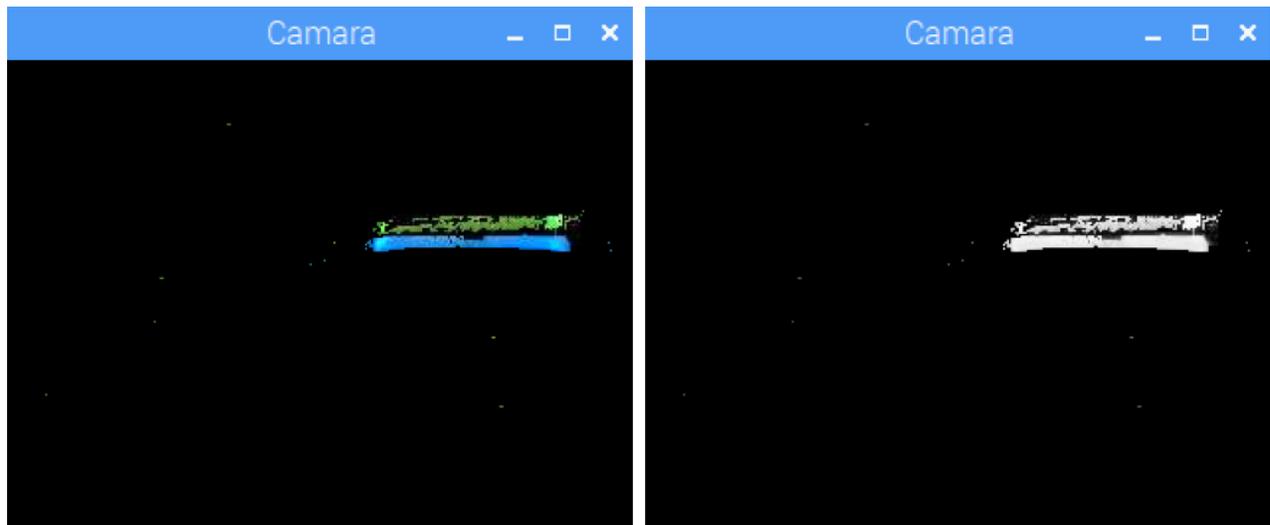


Figura 3.31. Máscara en blanco y negro para los colores del collar con luz solar.

Ya que se tiene una imagen procesada nueva por medio de la máscara para resaltar la característica deseada, que en este caso son los colores de cada collar, se procede a la siguiente etapa para el reconocimiento a través de visión artificial que sería la etapa de detección, la cual se realizará por medio de la segmentación.

La segmentación es un proceso para extraer información de una imagen ya procesada, donde se obtendrán datos de interés. Este proceso puede ser realizado principalmente con base en dos enfoques: regiones o bordes. Para el sistema se ocupará la segmentación basada en regiones (criterios de similitud), de color específicamente, por lo tanto, se trabajará sobre los píxeles que se encuentren en el umbral *HSV* provenientes de la máscara obtenida durante el procesamiento de la imagen [307, 323].

La segmentación por regiones se enfoca en identificar los agrupamientos de píxeles del mismo color en una imagen que, para el caso del sistema a desarrollar, la región blanca es para los colores del collar y la región negra para el fondo que se obtienen a partir de la máscara de la etapa de procesamiento, como se puede observar en la figura 3.31.

De esta forma, las regiones blancas de la máscara son el área de interés de la imagen, de manera que al conocer el valor del área de esta región se podrá determinar si se ha encontrado o no a la mascota a través del collar, ya que, como se puede observar en la figura 3.31, la agrupación de píxeles blancos es grande, por lo que a través de la segmentación se define que solo le interesarán al sistema los objetos que cumplan con el valor de área establecido y evitar así detectar otros objetos del entorno.

La biblioteca *OpenCV* a través de su función *moments()* permite calcular los diferentes momentos de imagen hasta el tercer orden de un polígono, en este caso, de la región obtenida por medio de la máscara, los cuales los calcula de acuerdo con la fórmula 3.4 donde $(j + i)$ determinan el orden del momento geométrico de dos dimensiones [306, 333, 339-342]. Esta

función nos permite obtener información de gran interés como el área de la región, o para el cálculo de los centroides de ésta, el cual es almacenado en un diccionario llamado *moments* [333, 339, 343].

$$m_{ji} = \sum_{x,y} array(x,y) x^j y^i \quad (3.4)$$

Donde *array(x,y)* es la imagen binaria, *x* y *y* son los ejes de la imagen binaria, *j* es el orden *x* e *i* es el orden *y* (lo que determina la potencia de estos elementos) y la suma de *j + i* indican el orden del momento [306, 333, 339-342].

Donde para la imagen binaria, la función que describe a la imagen de píxeles se obtiene a partir del arreglo de dos dimensiones que ofrece la máscara obtenida [339, 344-346], donde:

$$f(x,y) = array(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{Collar (Blanco)} \\ 0 & \text{Fondo (Negro)} \end{cases} \quad (3.5)$$

Ahora, para realizar el cálculo del área de la región de píxeles blancos de la máscara, se utiliza la función *moments()* para obtener el valor del momento cero (m_{00}) de la imagen, el cual equivale al área de la región. Para el momento cero ($j = 0, i = 0$) de una imagen binaria como la máscara, se hace la suma (3.6) de todos los píxeles blancos a los que se les asigna el valor de 1 como se muestra en la fórmula (3.5). De esta forma se puede obtener el valor del área de la región blanca al indicar la clave del momento m_{00} del diccionario como *moments['m₀₀']* de la función *moments()* de *OpenCV* [333, 339, 340-344, 347]

$$m_{00} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x,y) \quad (3.6)$$

De esta forma, para evitar detectar otros objetos por el posible ruido que pueda entrar por medio de la máscara -los pequeños puntitos que se pueden observar en la figura 3.31- se determina un valor de área mínimo de manera que, si la agrupación de píxeles blancos no es lo suficientemente grande a este valor de área, no será interpretado como el collar y así se evitará detectar otros objetos. Es importante mencionar que el cálculo del área de los píxeles blancos se hace tanto para la máscara del color verde, como también de la máscara del color azul, de manera que se tienen al final dos valores de áreas.

Por otro lado, el punto cuyas coordenadas son \bar{x} y \bar{y} es conocido como centro geométrico o centroide de un área, es decir, un punto en el objeto que sirve de referencia ya que su proporción es la misma en cualquier dirección [340, 347-350]. De esta forma, si se conocen los primeros momentos del área con respecto al eje “y” y el eje “x” (fórmulas 3.7 y 3.8), se puede obtener el valor de las coordenadas del centroide a través de la fórmula 3.9 y 3.10, en donde se presentan de igual forma el cálculo de las coordenadas del centroide del objeto con respecto a los datos que regresa la función *moments()* de *OpenCV* [339-340, 343, 347-348, 350].

$$Q_y = m_{10} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} x f(x, y) \quad (3.7) \quad Q_x = m_{01} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} y f(x, y) \quad (3.8)$$

$$\bar{x} = \frac{Q_y}{A}, \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (3.9) \quad \bar{y} = \frac{Q_x}{A}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3.10)$$

Donde A o m_{00} es el área de la región detectada en la máscara como el collar, Q_y o m_{10} es el primer momento del área A con respecto al eje y , Q_x o m_{01} es el primer momento del área A con respecto al eje x , y N y M son el número de todos los píxeles dentro de la región sobre los ejes x y y [339-340, 343, 347-348, 350].

El primer momento de área, *OpenCV* lo calcula al sumar las coordenadas de todos los píxeles blancos tanto para “ x ” y para “ y ”, que tienen valor de 1 de acuerdo con la función de la imagen binaria de la fórmula (3.5) [341, 350]. De esta forma, una vez que contamos con la suma de las coordenadas de varios píxeles tanto de “ x ” como de “ y ”, para obtener las coordenadas del centroide, se hace la división de estas sumas con respecto al número total de píxeles, que en este caso sería el área de la imagen o el momento cero que ya se calculó [341, 350].

Lo anterior es posible calcularlo al utilizar de nuevo los resultados que nos ofrece la función *moments()* de *OpenCV*, de manera que podemos obtener los primeros momentos m_{10} y m_{01} al indicar la clave de éstos en el diccionario como *moments['m₁₀']* y *moments['m₀₁']*. Posteriormente, al conocer también el valor del área de la región, es posible aplicar las fórmulas (3.9) y (3.10) para conocer el centroide de cada una de las regiones para cada color [306, 333, 339, 340-344, 346-347].

Sin embargo, como se habla de una figura compuesta por las áreas de cada uno de los colores del collar, es necesario realizar el cálculo del centroide de la región compuesta (\bar{X}, \bar{Y}) al sumar las propiedades correspondientes de cada una de las partes de acuerdo con las fórmulas (3.11) y (3.12) [339, 343, 348, 351].

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.11) \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.12)$$

De manera que al desarrollar la fórmula (3.11) para dos regiones o áreas se obtiene que:

$$\bar{X} = \frac{\bar{x}_1 A_1 + \bar{x}_2 A_2}{A_1 + A_2} = \frac{Q_{y1} + Q_{y2}}{A_1 + A_2} = \frac{m_{10,V} + m_{10,A}}{m_{00,V} + m_{00,A}} \quad (3.13)$$

Donde los subíndices V y A indican el primer momento de área para el color verde y azul respectivamente. Por lo que la fórmula (3.13) nos permitirá obtener la coordenada sobre el eje x del centroide. De esta misma forma se puede calcular el centroide para \bar{Y} pero se utilizan en su caso los valores del primer momento de área de los colores m_{01} de *OpenCV*.

De esta forma, al conocer las coordenadas del centroide del área, es posible determinar la posición del collar en la imagen de video y poder distinguir si se encuentra a la izquierda o derecha del centro de la cámara (donde el origen de coordenadas es la esquina superior izquierda) [306], con lo cual será posible poder seguir a la mascota si ésta deja de encontrarse en el centro de la cámara, al tener en cuenta que el centro de la imagen cuya coordenada es (240,180) y el valor más importante para determinar lo anterior es el ancho de la imagen, es decir, se utilizará como dato de mayor interés el valor de la coordenada \bar{X} del centroide para determinar si el collar se encuentra o no en el centro de la imagen.

Como se puede observar en la figura 3.32, se tiene el collar identificado -collar azul y rosa, este último usado únicamente durante el periodo de prueba del sistema de visión- con un rectángulo que indica el centro de la región identificada en la máscara por sus colores. Sin embargo, la imagen que se muestra en la figura fue utilizado durante el periodo de pruebas para visualizar la correcta identificación y el posicionamiento del collar en la imagen, ya que durante el funcionamiento del subsistema de detección únicamente son necesarios los valores.

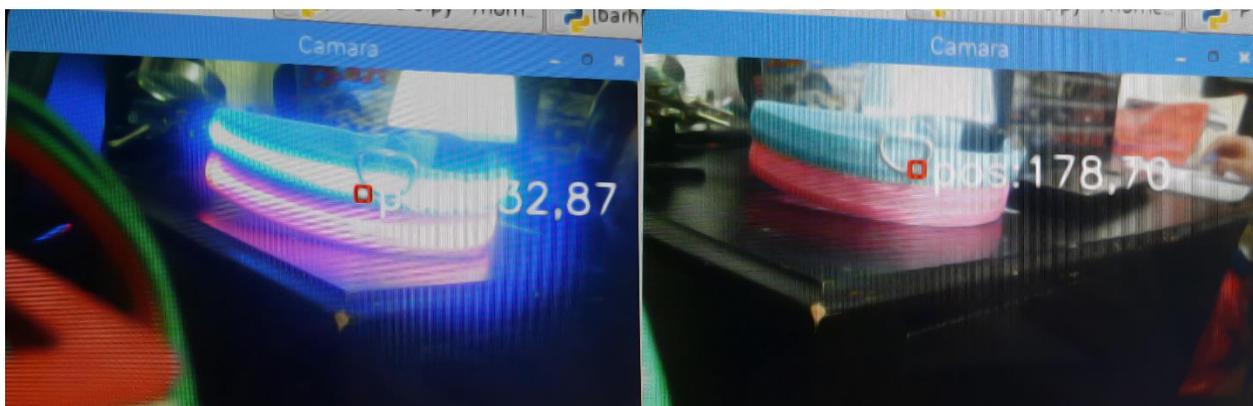


Figura 3.32. Posicionamiento del collar en la imagen tras ser detectado a través de visión.

Finalmente, se llega a la última etapa del reconocimiento de objetos por medio de visión artificial, la cual es propiamente la etapa de reconocimiento. Ésta consiste en interpretar los datos obtenidos de las etapas anteriores, es decir, se tiene una representación del objeto con base en los parámetros establecidos, que para este caso será el área.

Se utiliza la descripción de la imagen y sus características para desempeñar la función de localizar a la mascota con la técnica de los modelos de dos dimensiones ya que se utiliza una imagen 2D y se ubican sus descriptores globales. Éstos últimos son propiedades de una imagen que sirven para su reconocimiento, como por ejemplo el área que será la utilizada en este sistema [307].

Al localizar a la mascota dentro de la imagen de video, se inicia el planteamiento para su seguimiento a través de la cámara al utilizar las características obtenidas por medio de la visión artificial, es decir, se utilizarán las coordenadas del centroide del collar en la imagen para mantener centrada la vista sobre el collar y por lo tanto sobre la mascota. Para ello será

necesario incorporar dos elementos necesarios para realizar esta función los cuales son un servomotor y el *driver PCA9685* para la etapa de potencia de éste.

Un servomotor es un dispositivo electromecánico, es decir, un actuador eléctrico que transforma la energía eléctrica en mecánica de tipo rotacional; su característica principal es su capacidad de controlar la posición de su eje dentro de un intervalo de operación. El servomotor se encuentra integrado de un motor eléctrico *DC* (corriente directa) para generar el movimiento, el cual se encuentra acoplado a un juego de engranes (sistema de regulación) que funcionan como reductores de velocidad y amplificadores de fuerza (*torque* o par), lo que le permitirá mantener la posición del eje fija en cualquier momento. Además, el servomotor cuenta con un circuito de control (servomecanismo) el cual manipula y determina el movimiento y posicionamiento del eje del motor. Por otro lado, la velocidad con la que gira el motor es proporcional a la diferencia de potencial [352-357].

El circuito de control cuenta con un potenciómetro (resistencia variable) que se encuentra conectado al eje central del motor, el cual permite al circuito de control supervisar el ángulo del servomotor, y corregirlo en caso de encontrarse mal posicionado. De esta manera, el circuito compara la referencia de la señal de entrada, que sería el ángulo deseado, con la posición actual determinada por la medida del potenciómetro que, cuando el eje empieza a moverse se modifica el valor del potenciómetro hasta que se encuentre en el ángulo deseado. La diferencia entre la posición actual y la deseada se amplifica y se utilizada para activar al motor en la dirección correcta para así disminuir el error [353, 355-359].

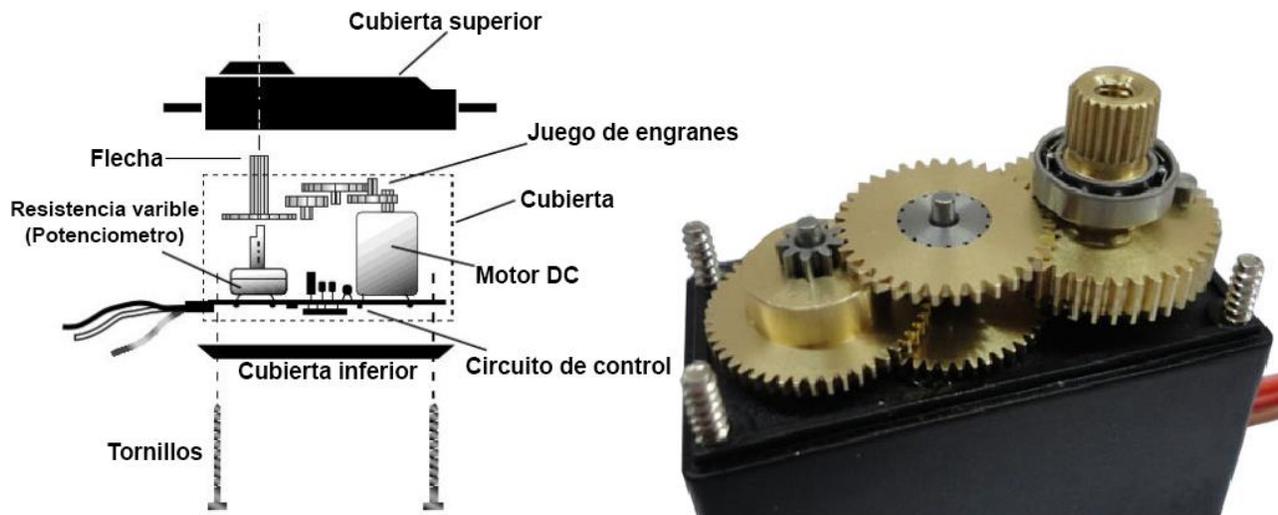


Figura 3.33. Componentes de un servomotor e interior del *TowerPro MG99* [352, 360]

En la mayoría de los servomotores, el giro del eje que realizan es de 180 [°] aunque puede llegar en algunos casos hasta 210 [°], por lo que se encuentran limitados en cuanto a su rotación, pero es posible realizar con facilidad ciertas modificaciones internas con el fin de tener un giro libre de 360 [°] continuo como lo hace el motor *DC*, pero mantiene las características de un servomotor [352-355, 357-359].

Los servomotores para robótica y modelismo poseen tres cables, de los cuales dos son utilizados para alimentación -con colores rojo para voltaje y negro o café para tierra- que normalmente suministra un voltaje entre 4.8 [V] y 6 [V], mientras que el tercero es para la señal de control del servomotor -cuyo color puede llegar a ser naranja, blanco o incluso amarillo- el cual indica la posición que se busca mediante una señal modulada por ancho de pulso o *PWM* (*Pulse Width Modulation*) [352 ,354, 357, 361].

Las señales *PWM* utilizadas para controlar el movimiento del servomotor son pulsos positivos, cuya duración es proporcional a la posición que se busca del servomotor. Estos pulsos poseen una duración y una frecuencia específica, esta última es comúnmente de 50 [Hz], es decir, se repiten los pulsos en ciclos cada 20 [ms]. Con el fin de que se pueda mantener fijo en una posición al eje del servomotor, es necesario que las señales de *PWM* se envíen de manera periódica, ya que, en caso contrario, se puede llegar a mover con alguna fuerza externa que se le aplique [352-355, 357].

La duración del pulso -tiempo en nivel alto- es el valor que se varía para determinar el ángulo o posición del eje del servomotor, los cuales tienen una relación proporcional [352, 362]. Como se puede apreciar en la figura 3.34, se ejemplifican los diferentes anchos de pulso para posicionar el eje del servomotor a 0 [°], 90 [°] y 180 [°].

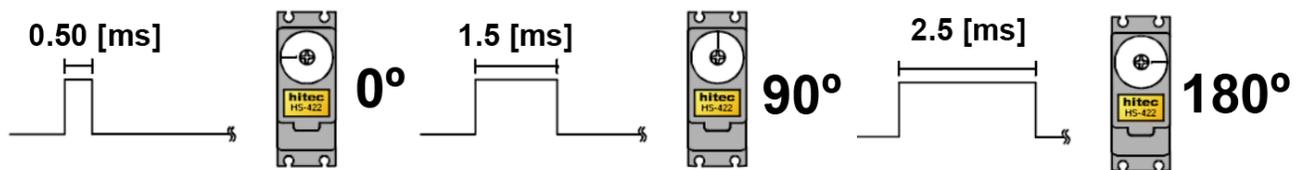


Figura 3.34. Posicionamiento del eje del servo con respecto al *PWM* [357]

Por otro lado, el ciclo de trabajo del servomotor es la relación expresada en porcentaje (fórmula 3.14) entre el ancho del pulso de la señal (τ) con respecto al periodo, el cual tiene una duración para estos servomotores de 20 [ms] como ya se mencionó [361, 363].

$$\text{Ciclo de trabajo} = \frac{\tau}{T} 100 \% \quad (3.14)$$

Por lo tanto, para un servomotor se tiene:

$$\text{Ciclo de trabajo}_{servo} = \frac{\tau}{0.02} 100 \%$$

Como se puede observar a partir de la fórmula presentada, el ciclo de trabajo para los servomotores de robótica y modelismo no supera del 10% al 12.5% del ciclo de trabajo [361, 364].

Es importante señalar que antes de utilizar un servomotor se tiene que experimentar para saber su rango de movimiento [357, 359, 365], ya que a partir de la experimentación se conocerán los valores del ancho de pulso para lograr los diferentes ángulos de posicionamiento el servomotor, los cuales para el servo motor utilizado en el proyecto el ciclo de trabajo fue de 2% con un ancho de pulso de 0.4 [ms] para 0 [°], 6.5% con 1.3 [ms] para 90 [°] y 11% con 2.2 [ms] para 180 [°]. De esta forma, al utilizar los valores anteriores, se puede obtener la fórmula (3.15) que sirve para determinar el ciclo de trabajo en porcentaje dado un ángulo (α) deseado.

$$\text{Ciclo de trabajo} = \frac{9}{180} \alpha + 2 \% \quad (3.15)$$

Ahora, la señal de *PWM* que se envía al servomotor es recibida por la tarjeta electrónica del circuito de control, la cual la interpreta y la traduce en movimiento del motor *DC* para llevar al eje del servomotor al ángulo especificado. Como ya se mencionó, al eje del motor *DC* se encuentra acoplado un potenciómetro, el cual se utilizó como señal de retroalimentación de la posición del eje al ser utilizado como un divisor de voltaje, de manera que la diferencia de potencial a su salida varía en función del posicionamiento del eje del servomotor [353-354].

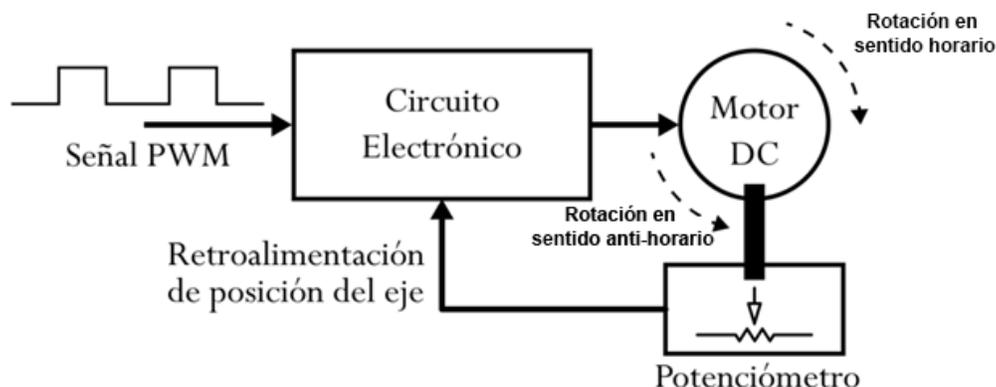


Figura 3.35. Diagrama de bloque del servomotor [354].

De esta forma, el circuito electrónico al recibir la señal de *PWM*, convierte la señal de ancho de pulso a una señal de voltaje. De esta forma esta diferencia de potencial entra junto con la señal de retroalimentación, proporcionada por el potenciómetro, a un circuito comparador, el cual contrasta los valores recibidos y determina el error entre la posición actual del servomotor y la que se desea. Por lo tanto, en el caso de que el error sea diferente a 0, el motor girará en el sentido correspondiente con el fin de reducirlo y al llegar a la posición deseada [353-354, 358, 365-369].

Para el sistema, se utilizará un servomotor modelo *MG995* de la marca *TowerPro*, el cual cuenta con engranes de metal de aluminio con un rango límite de 180 [°], un par de 9.4 [kg/cm] a 4.8 [V] hasta 11 [kg/cm] a 6 [V] con una velocidad de operación de 60 [°] por 0.20 y 0.16 [s] respectivamente, consumo de corriente máxima con carga de 1.2 [A], un peso de 55 [g] y con dimensiones de 40.7 [mm] de largo, 19.7 [mm] de ancho y 42.9 [mm] de alto [370-372]. Esto con

el fin de poder tanto mover la cámara, como los demás objetos que se integren al cargo de éste y la estructura donde serán posicionados, además de que este modelo de servomotor nos ofrecía mayor durabilidad al ser los engranajes de metal, en comparación con los de plástico que de acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo estos últimos tienden a desgastarse o fracturarse con mayor facilidad; esto último ya que estará en uso continuo de acuerdo con la función del subsistema.



Figura 3.36. Servomotor modelo *MG995* de la marca *TowerPro* [373].

Sin embargo, durante las pruebas realizadas para el control del servomotor al utilizar las señales de *PWM* emitidas por la *Raspberry*, se observó que se presentaba ruido de manera que el movimiento del servomotor producía cierto temblor y su posicionamiento era inestable, este problema que se presenta en las *Raspberry* es debido que el *PWM* generado no es estable [361, 374-376]. Para solucionar lo anterior, se propuso el uso del *driver PCA9685*, con el cual se podrá tener una señal *PWM* más estable para el control de los servomotores.

Además, se utilizará este *driver* para poder alimentar correctamente al servomotor, es decir, como etapa de potencia, con la cual se logrará su correcto y un preciso funcionamiento. Esta etapa de potencia consiste en proporcionar corriente de forma externa a los elementos que lo necesiten en cantidades altas, para evitar un daño en los componentes que no soporten esa cantidad de corriente, que en este caso serían las terminales de la *Raspberry* [377-380].

El *driver PCA9685* puede generar señales de *PWM* en sus 16 terminales con una misma frecuencia en cada una de ellas, la cual puede ser establecida entre los 24 [Hz] y 1526 [Hz], que pueden ser controladas individualmente con un ciclo de trabajo ajustable del 0% hasta el 100% [381-383, 378]. Así mismo, este *driver* posee un reloj propio y cuenta con la electrónica para generar las señales *PWM* en cada terminal, esto significa que la *Raspberry* puede ocuparse en otras tareas al liberarla de generar continuamente esta señal [383-384].

Las conexiones del *driver* se presentan en la figura 3.37, donde *Vcc* es la alimentación para la parte lógica del *driver* -el cual es de 3.3 [V]-, mientras que la alimentación de los servomotores, que se obtiene del subsistema de alimentación del sistema, el cual se es conectado en la entrada o *borne* de color verde en la parte superior central del *driver* [364, 377-378, 382-383]. La conexión para cada uno de los servomotores se realiza en los pines de conexión inferiores, los cuales son numerados desde el 0 hasta el 15 y se conectan las terminales del servomotor de acuerdo con el código de colores.

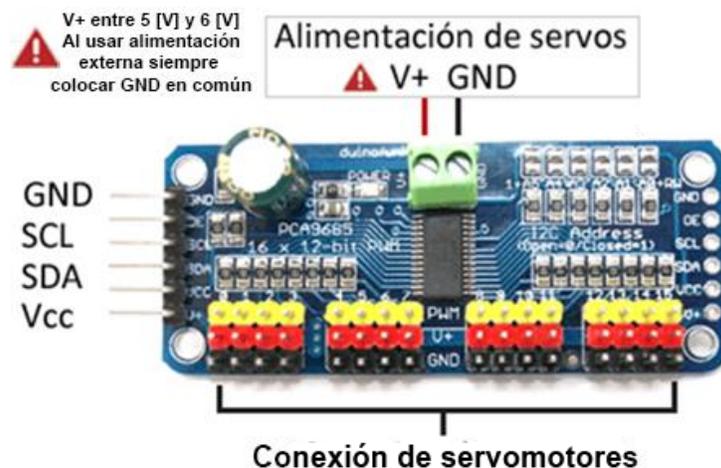


Figura 3.37. PCA9685 utilizado para la etapa de potencia de los servomotores [384].

Además, la comunicación entre la *Raspberry Pi* y el *Driver* se da por medio del *bus* de comunicación I^2C y se puede llegar a controlar los 16 canales – y por lo tanto 16 servomotores – de *PWM* al utilizar únicamente dos pines [378, 381-383]. En pocas palabras el *bus I^2C* permite la comunicación entre dos dispositivos para la transferencia de información, en este caso, entre la *Raspberry Pi* y el propio *driver*, este último como todos los demás dispositivos conectados a la *Raspberry* poseen una dirección única de que los identifica y por medio de la cual es posible establecer la comunicación. El *bus I^2C* es síncrono ya que existe un reloj que gobierna todas las actividades del *bus* al utilizar para ellos la conexión de dos líneas para la comunicación semibidireccional de datos de 8 *bits*, la línea de datos (*SDA*) y la línea de la señal de reloj (*SCL*) las cuales se conectan a los pines 3 y 5 de la *Raspberry* dedicados para este *bus* de comunicación [364, 378, 385-387].

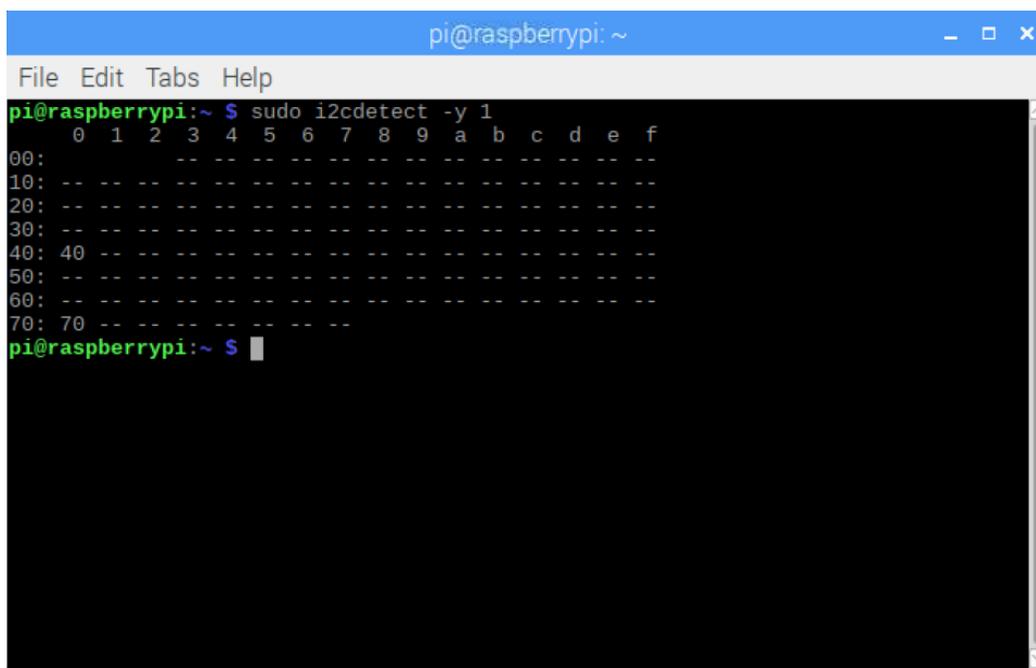
Dentro de la comunicación entre dispositivos, aquel que inicia y controla la transferencia de datos es el “maestro”, mientras que el dispositivo que recibe la transferencia es conocido como “esclavo” [388]. En nuestro caso, el “maestro” resulta ser la *Raspberry*, mientras que el “esclavo” el *driver*. De esta forma, la línea de conexión *SDA* (*Serial Data*) puede ser utilizada por el emisor de datos, el cual puede ser tanto el “maestro” como el “esclavo”, mientras que la línea *SCL* (*Serial CLock*), al ser una señal de sincronía que, valida la información, solo puede ser generada y gobernada por el “maestro”, donde para él será una salida y para el “esclavo” una entrada [385, 388].

El proceso de comunicación empieza cuando el maestro produce una condición de inicio (*start condition*) que le indica al esclavo que una transacción de datos está por iniciar. El “maestro” indica mediante un *byte* de información la dirección del dispositivo esclavo en los primeros siete *bits*, mientras que en el último se encuentra la operación a realizar, la cual puede ser lectura de datos proveniente del “esclavo” (1) o escritura de datos hacia el “esclavo” (0). Enseguida la dirección es comparada por el “esclavo” con su propia dirección, y si estas coinciden el “esclavo” es reconocido por un *bit* de reconocimiento (*acknowledge*, *ACK*) y se identifica la acción a

ejecutar, por lo tanto, si es el caso de lectura se considera al “esclavo” como transmisor, o en caso de escritura se considera al “esclavo” como receptor. Posteriormente, procede al envío de datos ya sea desde o hacia el “esclavo” siempre seguido de un *bit* de reconocimiento (*ACK*) para dotar al protocolo de un mecanismo de seguridad. Por último, cuando se termina la comunicación el “maestro” transmite una condición de paro (*stop condition*) y se libera el *bus* [385, 387, 389]

Por otro lado, para poder realizar la manipulación del servomotor por medio de la *Raspberry Pi*, es necesario descargar la biblioteca del *driver* conocida como *Adafruit_Python_PCA9685*, la cual nos permitirá establecer las características de la señal *PWM* y enviarla, con la posibilidad de cambiar en cualquier momento el ancho de pulso para el ángulo deseado [389].

Además, para poder hacer uso del *driver* será necesario primero, configurar la *Raspberry Pi* para activar el *bus I²C* lo cual permitirá conectar los múltiples dispositivos, cada uno con una diferente dirección. Lo primero se logra al acceder a la interfaz de configuración avanzada de la *Raspberry* y simplemente aceptar la activación del *bus* además de verificar que los módulos *i2c-bcm2708* e *i2c-dev* sean inicializados durante el arranque. Además, para conocer la dirección de los dispositivos conectados al *bus I²C* se utiliza el comando “*i2cdetect -y 1*”, que para el caso del *driver* resulto tener la dirección 0x40 y 0x70 como se muestra en la figura 3.38 [364, 380, 390].



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~$ sudo i2cdetect -y 1
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40: 40 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
70: 70 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
pi@raspberrypi:~$
```

Figura 3.38. Dirección *I²C* del *driver PCA9685*.

De esta manera, dentro de *python* al importar de la biblioteca llamada *PCA9685* las funciones de *PWM*, es importante tanto indicar la dirección de *driver* obtenido en el paso anterior por medio de la función *PWM(bus, dirección_ I²C)*, donde *bus* es el puerto de *I²C* en la *Raspberry Pi* para ser utilizado, el cual se indica como *SMBus(1)* y es importada de la biblioteca *smbus* incluida en la *Raspberry* [361, 364, 376].

La señal de *PWM* al utilizar la biblioteca, se indica por medio del ciclo de trabajo de esta (fórmula (3.14) y (3.15)) y cuyos valores para el servomotor del proyecto son de 2% para 0 [°], 6.5% para 90 [°] y 11% para 180 [°], el cual se indica con la función *setDuty*(canal, ciclo de trabajo) de la biblioteca del *driver*, donde el canal es el puerto en le *driver* al que se encuentra conectado el servomotor -canal 15 para el servomotor del subsistema de visión artificial. Además, es importante tener en cuenta que el valor de la frecuencia que se establece por medio de la función *setFreq*(50) va a ser la misma para todos los canales del *driver*, que para este caso va a ser de 50 [Hz] al controlar servomotores [361, 364, 376].

Finalmente, para poder utilizar al servomotor que realizará el movimiento de la cámara utilizada para la detección de la mascota, con el fin de mantener a ésta centrada en la imagen de video – gracias al centroide obtenido anteriormente- será necesario poder informar al motor en qué posición se encuentra y, con respecto a ésta saber cuánto le falta girar para poder situar a la mascota en el centro del video.



Figura 3.39. Cálculo para centrar el collar de la mascota en la imagen de video de detección.

Para ello, se necesita implementar un tipo de control para el movimiento del servomotor de la cámara, en donde, con base en el error calculado entre la posición actual (x) del centroide del collar con el valor (x_0) horizontal del centro de la imagen -que para el proyecto en cuestión es 240-, logre mantener a la mascota centrada y poder visualizarla completamente, como también mantener el seguimiento y registro de su actividad todo el tiempo. El error recién mencionado deberá disminuir y acercarse cada vez más a 0, lo cual indicará que el collar se encontrará cada vez más próximo al centro. Lo anterior se ejemplifica en la figura 3.39, donde se muestra cómo internamente el subsistema de detección determina las coordenadas de posición del collar y calcula la desviación de éste con el centro de la imagen.

Un sistema de control es aquel que, con base en variables de control proporcionadas, puede influir en el funcionamiento de un sistema, al manipular sus variables de salida a través de ciertos elementos para que éstas alcancen valores deseados preestablecidos (también llamados consignas) [391]. Lo anterior es con el objetivo de manipular un sistema sin la necesidad de intervenir de manera directa.

Para la ejecución de un sistema de control se puede distinguir dos maneras de toma de decisiones en función de la información utilizada. La primera forma es cuando el sistema de control toma una decisión por medio de secuencias predefinidas con base en las variables de control proporcionadas y una estimación de las perturbaciones que se puedan llegar a presentar durante el funcionamiento del sistema, las cuales son eventualidades sobre las que no se tiene control; además para este tipo de control denominado de lazo abierto, no se toma en cuenta el estado actual del sistema [391-392].

Por el contrario, la segunda forma es cuando las decisiones son hechas con base en una retroalimentación del sistema, es decir, se hace uso de sensores para obtener datos sobre los cambios del estado del sistema, luego se hace una comparación de esta información con las consignas o respuesta deseada, es decir se hace una medición del error gracias a la diferencia entre la consigna y la salida del sistema en un determinado momento. En este tipo de control llamado de lazo cerrado, el error medido considera indirectamente los efectos tanto del ruido de los sensores y de las perturbaciones [391-393].

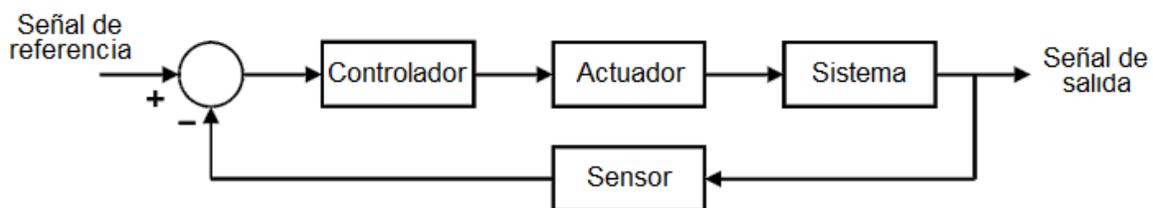


Figura 3.40. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado.

Por lo tanto, este tipo de control presenta una ventaja frente al de lazo abierto ya que puede reducir el efecto de las perturbaciones en la respuesta del sistema al minimizar el error, lo que le provee estabilidad sistema y hace que sea robusto frente a estas alteraciones sobre las que no se tiene control, ya que en un sistema de lazo abierto se tiene una falta de precisión debido a los errores por una insuficiencia en la estimación de las perturbaciones que no puede ser corregida por sí solo [391-392].

Como se muestra en la figura 3.40, dentro del control de lazo cerrado se tienen 3 elementos básicos para su funcionamiento, los cuales son controlador, actuador y sensor. El primer elemento es aquel que recibirá los datos obtenidos mediante los sensores y los valores prestablecidos, con los cuales determinará el tipo de acción requerida por parte del actuador para modificar las variables de control y obtener los valores deseados [391].

En vista de los beneficios otorgados por el control de lazo cerrado frente a perturbaciones, se ha preferido utilizar este tipo de control para proporcionar estabilidad al sistema y garantizar su funcionamiento de manera continua, gracias a la retroalimentación del error de la posición del collar con respecto al centro de la imagen. Además, dentro de la literatura sobre el tema, se destaca el control de lazo cerrado, que es actualmente el más implementado para diversas aplicaciones en la industria por las ventajas mencionadas.

Dentro de los sistemas de control de lazo cerrado se distingue el PID (Proporcional-Integral-Derivativo), ya que es utilizado ampliamente en control industrial y es el tipo de control de lazo cerrado con mayor implementación en la práctica, al abarcar más del 90% de los casos, además de su implementación sencilla debido al uso de lenguajes de programación de alto nivel, su respuesta rápida, un buen control de la estabilidad del sistema y un bajo error en régimen permanente [392, 394-396]. El nombre de este control proviene de la integración de las tres acciones de control con retroalimentación que son la acción proporcional, la integral y la derivativa [392-393].

Como se comentó anteriormente, gracias al control de lazo cerrado se obtiene la diferencia entre la variable de salida y la consigna, la cual es conocida como error $e(t)$. Este error en el control PID es utilizado para obtener una salida $u(t)$ la cual se encuentra formada por la suma de las 3 acciones mencionadas aplicadas a este error [397], como se muestra en la figura 3.41.

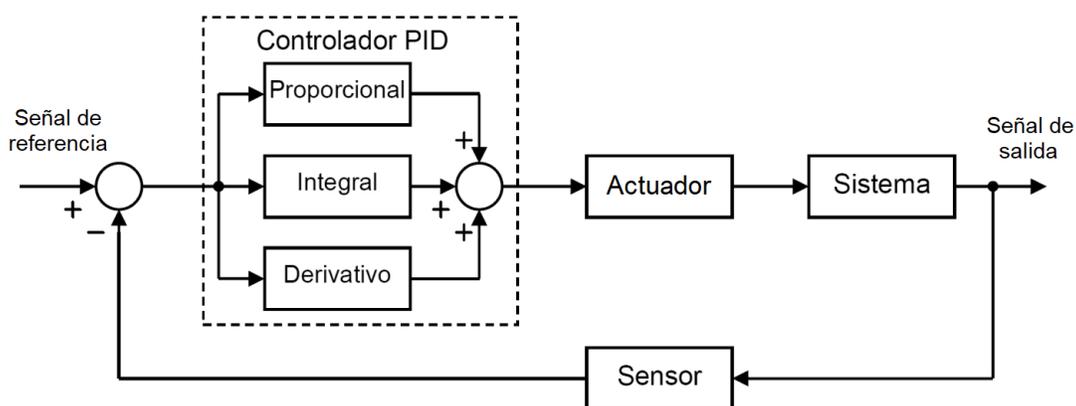


Figura 3.41. Diagrama de bloques de control PID.

A partir de lo desarrollado anteriormente, se obtiene la siguiente ecuación [392, 395-397], la cual es la ecuación general de un control PID:

$$u(t) = \underbrace{K_p}_{\text{Proporcional}} e(t) + \underbrace{K_i}_{\text{Integral}} \int_0^t e(t) dt + \underbrace{K_d}_{\text{Derivativo}} \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.16)$$

Donde, K_p es la constante de proporcionalidad, K_i es la constante de integración y K_d es la constante de derivación.

Cada apartado de la ecuación (3.16) se encarga de una acción de control, y para la parte de la acción proporcional se tiene el producto del error actual por la constante de proporcionalidad. Lo anterior tiene como resultado que, si se tiene un error grande, la acción de control lo será de igual manera hasta disminuir gradualmente conforme el error se aproxime a cero, es decir se acerque al valor de la consigna; sin embargo, el error en estado estable no se eliminará, sino se atenuará y en el caso de que la respuesta sea demasiado grande se pueden llegar a provocar

oscilaciones e inestabilidad. Asimismo, esta acción es de gran utilidad para corregir errores grandes, aunque para errores pequeños no es eficaz. [392-395, 397-399].

En cuanto al apartado de la acción integral, se tiene que es el producto de la constante de integración por la suma de los errores pasados, por lo tanto, tiende a disminuir y eliminar el error en estado estable al considerar el historial de errores. El valor de la acción integral aumentará de manera rápida en función de la magnitud del error, mientras que cuando el error sea más pequeño, se reducirá lentamente. Aunque, al tomar en cuenta los errores acumulados del pasado, se puede llegar a sobrepasar el valor de referencia al acelerar el movimiento del sistema debido a valores altos de error acumulados, por lo que se podría llegar a entrar en una oscilación que, en caso de tardarse mucho en atenuarse, se presentará una inestabilidad y se mantendrá la oscilación de manera continua [392-393, 395, 397, 399].

Por último, para la acción derivativa se tiene el producto de la constante de derivación por la variación del error en cada instante, es decir, su derivada con respecto al tiempo. La utilidad de esta acción de control es que produce un amortiguamiento ya que responde a la velocidad de variación del error, al actuar de manera rápida, por lo que reduce la inestabilidad del sistema al incidir en las oscilaciones causadas por una acción integral, aunque no incide directamente en el error en estado estable. En consecuencia, se dice que la acción derivativa hace una predicción de un error futuro, sin embargo, esta acción es sensible al ruido y puede provocar la amplificación del error, lo que desembocaría en una oscilación intensa. [392-395, 397-399].

En resumen, las constantes de ganancia (K_p , K_i , K_d) de cada una de las acciones de control que se muestran en la ecuación (3.16) tendrán diferentes efectos sobre la respuesta del sistema conforme los valores que éstas tengan. Estos efectos se muestran en la siguiente tabla:

Constantes	Tiempo de subida	Sobrepaso	Tiempo de asentamiento	Error en estado estable
K_p	Disminuye	Aumenta	Cambio pequeño	Disminuye
K_i	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Cambio pequeño	Disminuye	Disminuye	Sin cambios

Tabla 3.1 Efectos de las constantes de ganancia del control PID [396, 398].

Por otro lado, para poder aplicar los efectos del control PID en el sistema es necesario trabajar con señales discretas y finitas. Entonces, la ecuación (3.16) se debe discretizar con el fin de poder utilizar los valores de error durante el muestreo y los valores anteriores a éstos [392-393, 395]. De esta forma se obtiene la siguiente ecuación (3.17), donde T_d es el tiempo de muestreo, y será utilizada para la implementación del algoritmo de control en el sistema.

$$u(i) = K_p e(i) + K_I \sum_{k=0}^i e(k) T_d + \frac{K_D}{T_d} (e(i) - e(i-1)) \quad (3.17)$$

Entonces, una vez que se tiene la ecuación con la que se trabajará se procede a ajustar los valores de las constantes de ganancia. Lo anterior es posible por medio de diferentes métodos

matemáticos como es el método de Ziegler-Nichols, que a través de cálculos se obtienen valores para cada constante que permitirán obtener la respuesta deseada. Sin embargo, para la implementación del control, se usará en este caso el método heurístico, es decir, con base en prueba y error. Para este método se experimentará con distintos valores hasta que se obtenga la respuesta deseada; para ello se recomienda seguir una serie de pasos hasta llegar a los valores para obtener la respuesta deseada [393, 395-396, 398-401].

- 🐾 En el caso de la acción proporcional, se aumenta el valor de la constante K_P hasta que disminuya el error y se aumente la velocidad de respuesta; en el caso de que se vuelva inestable, se procede a aumentar la acción derivativa.
- 🐾 Para la acción integral, en el caso en que el error sea grande, se aumentará la constante hasta que se reduzca el error con la velocidad deseada. De igual forma, si el sistema se vuelve inestable se procederá a aumentar la acción derivativa.
- 🐾 En cuanto a la acción derivativa, ésta se aumentará ligeramente en los casos en que la respuesta del sistema sea inestable.

Por lo tanto, para el giro de la base de la *Raspicam* se considera la aplicación de un control PID para que, a partir de los datos obtenidos desde ésta, se pueda determinar el movimiento requerido por parte del servomotor para poder centrar a la mascota rápidamente en la imagen del video por medio de la suma de las tres acciones de control (PID) y generar una señal de *PWM* que servirá para el giro del servomotor y así permitir el seguimiento de la mascota por el sistema y su correcta visualización.

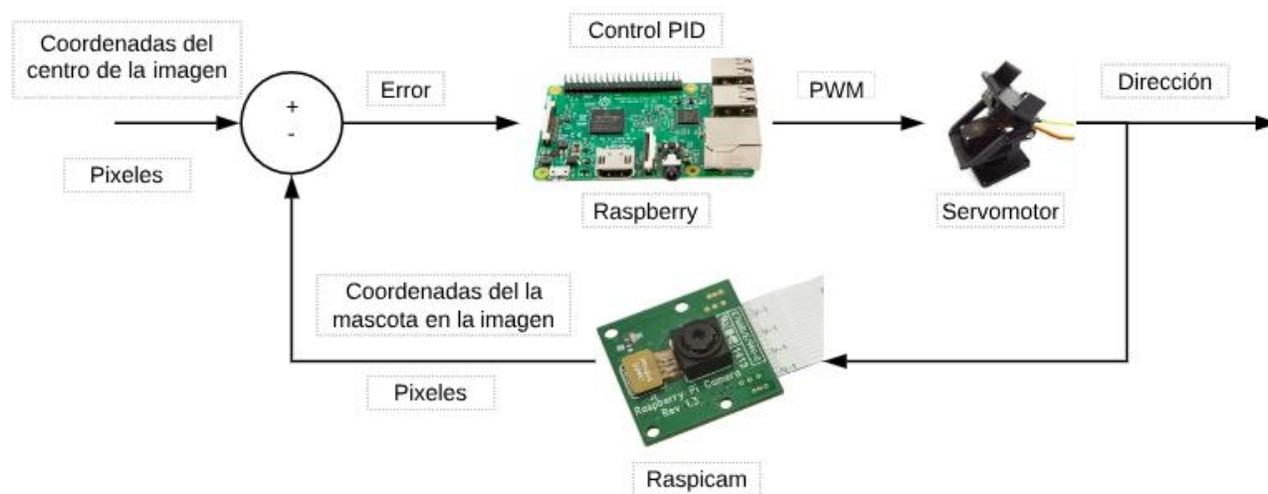


Figura 3.42. Diagrama del control PID para centrar a la mascota en la imagen [402-404].

Para poder lograr centrar a la mascota en la imagen de video, como se puede observar en la figura 3.42, la *Raspberry Pi* será quien determinará el valor del *PWM* necesario para que el servomotor tome una dirección en función del error que presenta la posición de la mascota -su coordenada "x"- con respecto al valor del centro de la imagen -con valor de $x=240$ para la detección por visión artificial-, el cual se obtiene por medio de la retroalimentación proporcionada

por la *Raspicam* y el procesamiento de la imagen en visión artificial. El error anteriormente mencionado será calculado por la *Raspberry Pi* además de ser quien aplicará el algoritmo de control *PID* con el fin de corregirlo e indicar el ciclo de trabajo necesario de la señal *PWM* para hacer girar al servomotor.

El algoritmo para el control *PID* del sistema se realizó en el lenguaje de programación *Python* con base en la ecuación (3.17) en donde solamente se deberán indicar las constantes de proporcionalidad de las tres acciones de control, el tiempo de muestreo para una ejecución correcta en intervalos regulares -con el fin de evitar fallas con las acciones dependientes del tiempo-, y el valor de la consigna -para este caso el centro de la imagen-, además de definir dónde se almacenarán los valores de los errores pasados para la acción integral, lo cual será por medio de un diccionario para guardar 5 valores de errores pasados.

Como se comentó anteriormente, de acuerdo con el ciclo de trabajo que se envíe al servomotor por medio de la *Raspberry Pi*, éste realizará un giro dentro de su rango de 0 [°] a 180 [°], por lo que el control *PID* indicará cuántos grados deberá girar el servomotor con el fin de poder disminuir el error con respecto a la posición de la mascota y el centro del video, al girar a la izquierda para valores de ciclo de trabajo superiores a 6.5% y a la derecha para valores inferiores a ese valor. Sin embargo, el giro del servomotor no puede superar un ángulo mayor a su límite físico -para evitar daños sobre el actuador- por lo que deberá operar dentro de este límite o rango de valores del ciclo de trabajo, los cuales serán 2.5% y 10.5%.

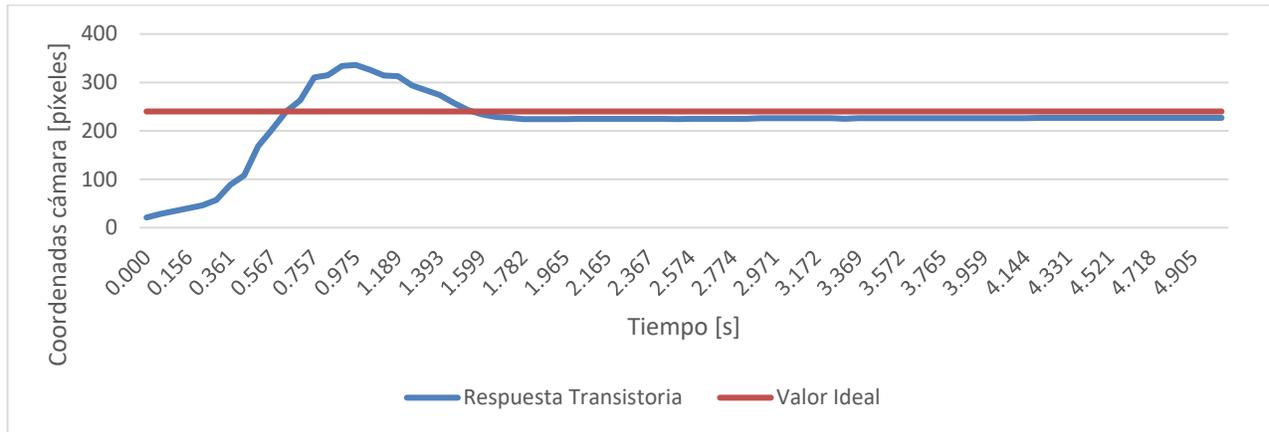
Por lo tanto, para poder implementar y realizar pruebas para comprobar el funcionamiento del algoritmo de control *PID* para la detección de la mascota, se utilizó en esta etapa de desarrollo el servomotor comentado anteriormente, junto al *driver* PCA9685 y la *Raspicam*, la cual se montó sobre una base que se podía unir al eje del servomotor y por lo tanto brindarle la capacidad de girar a la cámara para realizar el posicionamiento de la mascota en el centro de su imagen.

De esta forma, una vez que se contaba con el algoritmo implementado y el subsistema de reconocimiento montado sobre el servomotor, se procedió a realizar el ajuste de los valores de las constantes de cada una de las acciones de control de manera experimental al usar los pasos ya comentados, hasta obtener después de ciertas iteraciones los valores que permitieran obtener la respuesta deseada para el subsistema.

Estas pruebas consistieron en observar cómo el servomotor permitía a la *Raspicam* posicionar a la mascota en el centro de la imagen una vez que fuera detectada mientras se ejecutara una rutina de búsqueda (mediante el giro del servomotor en todo su rango en ambas direcciones), y posteriormente en observar cómo se comportaba el sistema mientras se desplazaba el collar de la mascota hacia una dirección, por lo que la cámara en un momento giraba bruscamente y con mucha fuerza, así que se ajustó progresivamente para un giro continuo y suave mientras el collar se desplazaba en el rango de giro establecido para el servomotor.

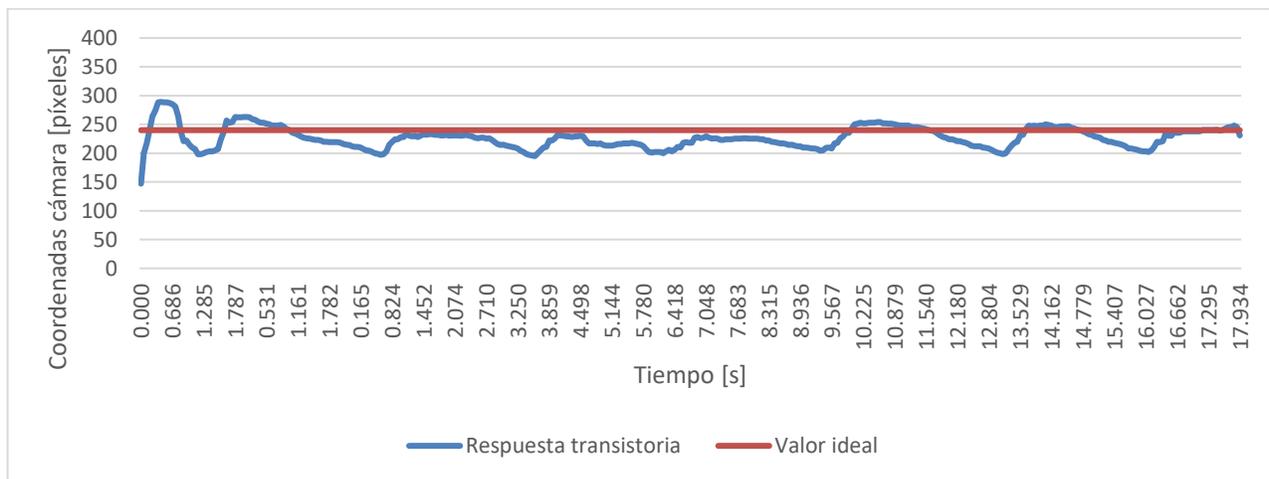
Debido a la distancia que se encontrará el sistema con respecto a la mascota y debido a que no se busca una gran precisión en cuanto al posicionamiento de la mascota en el centro de la imagen, se consideró un criterio de error de $\pm 6.25\%$ con respecto al centro de la imagen con el

fin de evitar que se llegue a un estado inestable, el cual se obtuvo de manera experimental ya que dentro de este rango se podía visualizar completamente a la mascota y su actividad. Lo anterior provocará que la respuesta del control nunca llegue al valor de la consigna debido al criterio de error.



Gráfica 3.3 Respuesta del control PID para centrar a la mascota en la imagen tras ser detectada.

Así, se obtuvo durante la experimentación dos gráficas -3.3 y 3.4- en donde se muestra en la primera el efecto del control PID sobre el sistema de detección para lograr mantener a la mascota centrada en la imagen de video, en la cual se observa la eliminación progresiva del error gracias al control y se llegó al valor deseado en un tiempo de asentamiento de aproximadamente 1.5 [s], al tomar en cuenta que es el tiempo en que el servomotor gira cuando el collar es detectado por uno de los límites de la imagen durante la rutina de búsqueda. Además, se puede apreciar cómo la respuesta del sistema se estabiliza sin presentar oscilaciones y con un ligero sobrepaso al principio para luego mantenerse en el valor deseado de manera estable una vez que se ha centrado a la mascota en la imagen de video, es decir, el control es robusto posteriormente al asentamiento y ha podido corregir el error.



Gráfica 3.4 Respuesta del control PID para centrar a la mascota en la imagen para seguimiento.

Por otro lado, en la gráfica 3.4, se muestra la respuesta del sistema mientras se da un desplazamiento al collar hacia un solo sentido una vez que ha sido detectado y se ha centrado a la mascota. En ella se aprecia cómo en el sistema cambia la posición del collar dentro de la imagen, por lo tanto, el valor de su coordenada "x" no se encuentra en el centro, entonces el sistema rápidamente corrige el error y se mantiene cerca del valor deseado con cierta tolerancia mientras realiza el seguimiento del collar, sin presentar grandes giros para cambios de coordenadas pequeñas cuando la mascota se encuentra en movimiento. Los sobrepasos que se pueden llegar a observar no son considerables para la función del sistema y se permite el seguimiento de la mascota, así como su posicionamiento en las coordenadas deseadas.

Físicamente, para esta acción del control sobre el giro del servomotor con la cámara, se observó un movimiento suave y continuo conforme el collar se desplazaba frente a la cámara sin presentar un giro brusco ni fuerte, tampoco se presentaron oscilaciones en el servomotor con el fin de corregir la posición del collar en la imagen, lo que indica que los valores definidos para cada constante son correctos.

Finalmente, aun cuando se haya concluido con el correcto funcionamiento del subsistema de reconocimiento y la implementación del control PID para centrar a la mascota en la imagen de video de la *Raspicam* y su seguimiento, será hasta la etapa de pruebas en donde se obtendrán los valores finales de las constantes de control del sistema, ya que será hasta entonces que se tendrán todos los elementos montados y trabajarán de manera conjunta, por lo que se tendrá un escenario diferente al que se experimentó en esta etapa de desarrollo.

III.4.C Detección y evasión de objetos

Finalmente, el último elemento que forma parte del sistema de detección es el cual permite al sistema identificar la presencia de objetos a su alrededor, con el fin de que se puedan evitar para que el sistema durante su movimiento no colisione y pueda dañar a la estructura y funcionalidad del proyecto.

Para ello se propuso la utilización de los sensores ultrasónicos, los cuales pueden determinar la distancia que hay entre ellos y un objeto por medio de las ondas ultrasónicas imperceptibles para el ser humano (aproximadamente por arriba de los 20 [kHz]) [352].

Este sensor utiliza un elemento ultrasónico (emisor) que emite una onda ultrasónica que es absorbida en parte y reflejada en parte por el objeto que medirá; a través de la medición de la atenuación de la onda percibida por el receptor, el tiempo que le toma a ésta ser percibida por el receptor, o por la presencia o ausencia de dicha onda en el emisor, se puede obtener características de la variable física que se desea determinar [352].

“El principio de funcionamiento [...] consiste en la emisión de una onda de manera cíclica, la cual es de alta frecuencia y corta duración, además de que se propaga en el medio. Al encontrar un

objeto a su paso, esta es reflejada y vuelve en forma de eco al receptor. El circuito de acondicionamiento tiene la tarea de determinar el periodo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción del eco” [352].

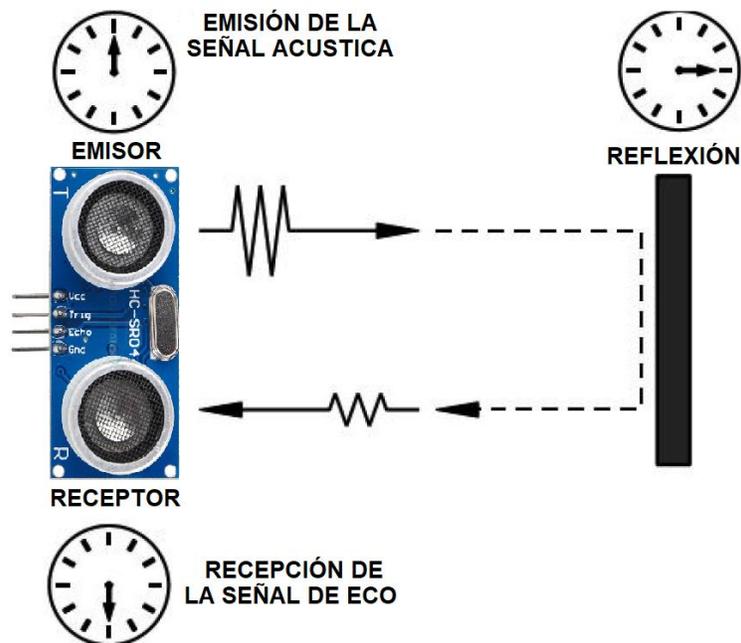


Figura 3.43. Medición del sensor ultrasónico [352, 405]

Como ya se mencionó, este tipo de sensores puede basarse en diferentes mediciones de acuerdo con la variable que se busque conocer, por lo tanto, para el sistema de detección se quiere determinar el tiempo del recorrido del sonido para así calcular la distancia de un objeto al sensor. Esta medición se ha elegido ya que es “difícil que el ruido de fondo influya en la medición” [352], en consiguiente, se obtendrán datos más limpios para poder trabajar de manera ideal.

El sensor ultrasónico por utilizar en el proyecto es el módulo HC-SR04 –el cual es un sensor para medir la distancia-, el cual se encuentra conformado de un emisor y un receptor ultrasónico. Las características de este sensor son las siguientes [352, 406]:

- 🐾 Voltaje operación: 5 [V]
- 🐾 Corriente de operación: 15 [mA]
- 🐾 Distancia de detección: 0.02 a 4 [m]
- 🐾 Apertura del pulso ultrasónico: 15 [°]
- 🐾 Frecuencia del pulso: 40 [kHz]
- 🐾 Dimensiones: 42 x 20 x 15 [mm]
- 🐾 Tiempo mínimo entre medidas: 20 [ms]

Este sensor dispara por medio del emisor (*trigger* en inglés) una onda ultrasónica (de 40 [kHz] para este sensor) la cual viaja hasta chocar con un objeto que la refleja, por lo que regresa en sentido opuesto al emitido y es detectado por el receptor (*echo* en inglés) del sensor. Este sensor contabiliza el tiempo en que la señal rebota sobre el objeto y regresa al receptor [407].



Figura 3.44. Sensor ultrasónico HC-SR04 [405]

La fórmula que se ocupa para calcular la distancia con base en los datos obtenidos [352] es la siguiente:

$$d = \frac{t}{2} v_s \quad (3.18)$$

Donde d es la distancia del sensor al objeto [m], v_s es la velocidad del sonido en el aire (34300 [cm/s]) y t es el tiempo transcurrido [s]. Dado que el tiempo en que se emite la señal ultrasónica y regresa al sensor implica la ida y vuelta de la señal, se debe dividir entre 2 para obtener así la distancia del sensor al objeto [352].

Para el sistema de detección, se plantea el uso de 6 sensores ultrasónicos alrededor de todo el sistema, 4 en cada una de sus esquinas y 2 más colocados uno en la cara delantera y otro en la trasera del sistema. Lo anterior, con el fin de poder detectar objetos en diferentes ángulos y así evitar colisiones al ir hacia adelante, hacia atrás y durante los giros.

Sin embargo, la salida del pin de *echo* del módulo es de 5 [V], lo cual es un problema para poder implementarlo a los pines de la *Raspberry* ya que solamente maneja niveles de 3.3 [V], de manera que es necesario implementar un divisor de voltaje para no dañarlos [408-409].

$$V_{GPIO} = V_{Echo} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.19)$$

Para ello, se utilizó la fórmula 3.19 para calcular el valor de la resistencia R_1 , se conoce R_2 de 1 [k Ω] para obtener así los 3.3 [V]. El valor calculado fue de 515 [Ω], pero solo se consiguió el valor comercial de 470 [Ω] el cual nos ofrece un valor muy aproximado al deseado, por lo cual fue implementado como se ve en la figura 3.45.

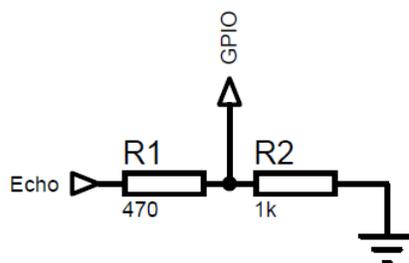


Figura 3.45 Divisor de voltaje para los sensores ultrasónicos.

Así, se procedió a realizar la implementación de las resistencias en una placa fenólica como se muestra en la figura 3.46. Estas placas estarán fijadas en las paredes internas de la carcasa del sistema, cerca de los sensores ultrasónicos, de donde saldrán los cables que serán conectados a la *Raspberry Pi*.

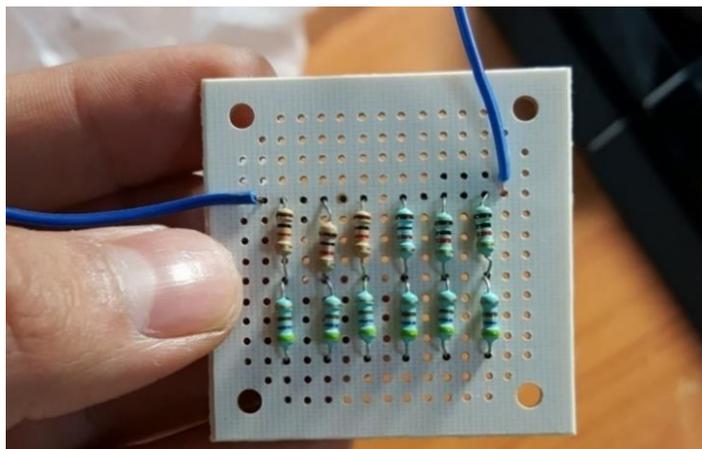


Figura 3.46 Divisores de voltaje para cada uno de los sensores ultrasónicos.

Los sensores ultrasónicos, como ya se mencionó, permitirán al sistema evadir objetos durante el seguimiento, como también no chocar con las paredes o salir de esquinas durante la búsqueda de la mascota. A partir de lo anterior, se plantea el funcionamiento de estos sensores dentro del sistema, el cual auxilia al sistema de movimiento para determinar hacia dónde dirigirse y qué acción tomar cuando un objeto se encuentre en su camino.

A grandes rasgos, los 3 sensores delanteros entran en acción cuando el sistema se encuentra en marcha hacia enfrente, los cuales determinarán si se debe girar hacia la izquierda o derecha con tal de evitar o alejarse de un objeto o pared durante la búsqueda o seguimiento de la mascota. Por otro lado, los ultrasónicos traseros determinarán cuándo se alcanza una distancia máxima si el sistema va marcha atrás, lo cual provoca que se detenga cuando éste se aleja durante la detección y seguimiento de la mascota.

Antes de finalizar con esta sección, cabe mencionar que se realizó una prueba de calibración en cada uno de los sensores ultrasónicos, la cual reveló que la variación de cada uno era de

aproximadamente 1 [cm], por lo cual no se estimó que sea necesaria aplicar dicha calibración en los sensores, sobre todo porque no se busca determinar una distancia tan exacta, sino determinar si se encuentra un objeto muy cerca dentro de un cierto rango, por lo que la calibración de 1 [cm] no implicaba gran diferencia. Estos sensores se probarán al implementarse juntos con los demás elementos en el chasis en el siguiente capítulo, para así determinar la distancia a la cual deba el sistema evadir un objeto o a la mascota.

III.5 Subsistema de dosificación

La solución planteada para el sistema de dosificación surge a partir del principio de funcionamiento de algunos pastilleros automáticos como se presenta en la figura 3.47. Estos pastilleros entregan la dosis de pastillas a una determinada hora, al desplazar las pastillas que se encuentran acomodadas en los diferentes espacios disponibles y acomodar el compartimento que contiene las pastillas a dosificar frente a un orificio por el que se expulsan cuando se vuelca el dispensador para dejar caer las pastillas.



Figura 3.47. Pastillero semanal automático [410].

Sin embargo, el sistema requiere que los premios -producto que será dosificado para el proyecto- sean expulsados sin la necesidad de algún tipo de ayuda o interacción por parte de la mascota.

Por lo tanto, la idea que fue planteada como carrusel motorizado, utilizará el mismo movimiento de los espacios destinados para colocar premios, para desplazarlos hasta un hueco en la base del carrusel que, por medio de la aceleración gravitatoria y de una rampa para guiarlos, los lleve hasta la salida del dispositivo por medio de un orificio tal y como se muestra en la figura 3.48.

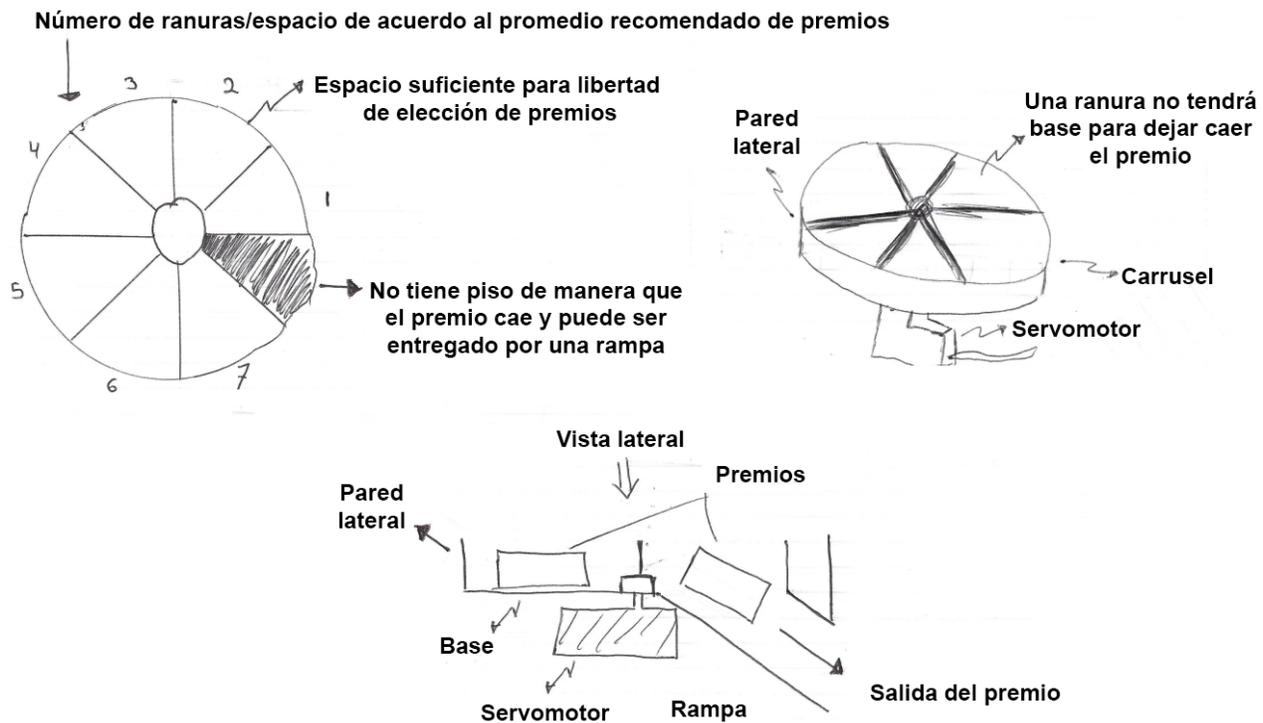


Figura 3.48. Bosquejo del diseño del carrusel para la dosificación de premios

Por otro lado, no será necesario contar con un gran número de espacios disponibles para premios, ya que como se comentó en el capítulo I en la sección sobre Premios, la dosis diaria de los premios de uso común para perros adultos ronda alrededor de los 5-6 máximo para perros de talla grande y gigante. Por lo tanto, se utilizará la dosis de 5 premios para determinar el tamaño de los espacios disponibles, con el fin de no limitar en gran medida la forma y tamaño de éstos, ya que como se vio, existe una gran variedad de éstos.

En el proceso de realización del sistema de dosificación, se acudió a varias tiendas comerciales dedicadas a las mascotas y se adquirieron 4 tipos de premios con diferentes formas y tamaños, que se consideraron adecuados para ser utilizados como base del diseño para el dosificador. Aun cuando se tiene en cuenta que el mercado de premios para perros es muy vasto, los premios seleccionados cuentan con las características necesarias ya mencionadas, y aun cuando se puede dedicar un mayor espacio dentro del sistema, se busca que las dimensiones del dosificador se ubiquen dentro de las establecidas en las especificaciones del proyecto para el sistema completo.

Una vez que se contó con una pequeña variedad de premios, se tomaron medidas del premio más grande (Churrasco de la marca *Purina Smoochies*) ya que fue el modelo para determinar las medidas de cada espacio dentro del carrusel. Las medidas del premio fueron 4 [cm] de largo con 3 [cm] de ancho y 2 [cm] de alto aproximadamente. Además, como se piensa dosificar 5 diferentes premios, se deberá contar con 6 espacios o divisiones, ya que uno será destinado para ser el orificio por el cual será expulsado el premio. Por lo tanto, al tomar como medida

mínima un radio de 4 [cm], se dibujaron diferentes círculos con radios desde 4.5 [cm] hasta los 6 [cm] con diferencia de 0.5 [cm] cada uno.



Figura 3.49. Círculo de 5[cm] de radio con 6 divisiones

Finalmente, se concluyó que el radio en el cual el premio más grande entraba sin ningún problema era de 5.5 [cm], al tener en cuenta que se deberá contar con un espacio adicional para ser colocado y no quedar muy justo, como también las dimensiones del material a utilizar para su manufactura (*MDF* de 3 [mm] y 6 [mm] de espesor). Además, el plantear un círculo de 11 [cm] de diámetro (sin considerar la orilla), es posible ya que sigue dentro de las dimensiones de las especificaciones.

Esta distribución se puede observar en la figura 3.49. Por lo tanto, los premios a ser utilizados en el sistema no deberán poseer el tamaño máximo que permita ser colocado en un triángulo con base y altura de 5 [cm].

Por otro lado, se debe plantear qué se utilizará como elemento para poder realizar el movimiento de las paredes de las divisiones y poder desplazar los premios hasta la salida. Para esto se planteó, con base en las soluciones propuestas en el capítulo anterior, el uso de un servomotor de 360 [°] o un motor a pasos, pero se descartó a este último por el peso que podría implicar además de que ya se contaba durante el desarrollo del proyecto con varios servomotores *TowerPro* MG995 disponibles iguales a los utilizados para el sistema de detección, del cual se pudiera aprovechar también el par que éste actuador nos ofrece debido a la carga que se le aplicará.

Así mismo, éstos cuentan con diferentes tipos de coples, lo que resulta ideal para ajustar las paredes del dispensador al servomotor. También, para el sistema de detección, se cuenta ya con un *driver* PCA9685 utilizado para la etapa de potencia al tratar de nueva cuenta a un actuador que tendrá una carga, ya que no es lo más adecuado alimentarlo por la *Raspberry*, como ya se comentó anteriormente.

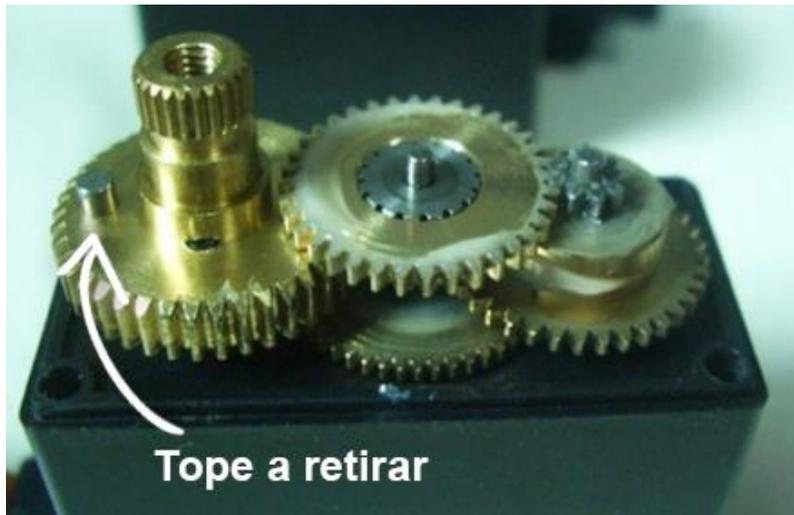


Figura 3.50 Engranajes de servomotor de 180 [°] modelo *TowerPro MG995* [411].

Los servomotores mencionados tienen la libertad de giro de su flecha hasta 180 [°], ya que, esto se encuentra limitado por un pequeño tope que impide que su giro continuamente al alcanzar los 180 [°]. Sin embargo, se puede retirar este elemento metálico para obtener un giro continuo de su eje [353, 355, 369]

Por otro lado, lo anterior implica no poder controlar su posición como se hace comúnmente debido a que será necesario también cortar y fijar el eje del potenciómetro que se encuentra dentro del servomotor a un valor conocido de ancho de pulso (normalmente se recomienda para una posición de 90 [°]) o cambiarlo por un par de resistencias fijas, todo con el fin de evitar que el circuito de control de servomotor interprete en un momento que se llegó a una posición deseada y poder así girar continuamente el servomotor. Hasta que se envíe la señal de control que se identifique con el valor de la resistencia ahora fija, se podrá detener el movimiento del motor, de manera que con la señal *PWM* se controlará la velocidad del motor y el sentido de giro, dado que entre más cerca se encuentre el ancho de pulso que se relaciona con la posición fija del potenciómetro, menor será la velocidad del motor [353-355, 369].

Por lo anterior, se debe contemplar el uso de un sensor adicional para el sistema de dosificación, que permita saber en qué posición se encuentra para poder detener al servomotor cuando se alcance la siguiente división. Como el dosificador se encontrará dentro de un ambiente cerrado y con muy poca luz, se podría hacer uso de un sensor óptico ya que no ocupan mucho espacio y existen diferentes configuraciones ideales para detectar objetos bajo estas circunstancias.

Una opción viable para la aplicación que se le busca dar al sensor, es el uso de un sensor óptico reflectivo como sensor de proximidad, ya que permite ser instalado en un espacio limitado como es el interior del sistema, puede ser ajustado fácilmente y permite la detección de objetos (en este caso las divisiones del carrusel) a corta distancia de separación, como lo permite el módulo TCR 5000.

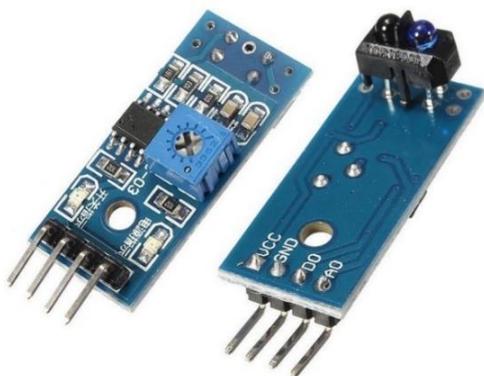


Figura 3.51 Sensor óptico TCRT5000 [412].

Este módulo se integra de un emisor infrarrojo y un receptor fototransistor (del tipo NPN) [413] posicionados en un molde de plástico en configuración de foco fijo, junto con un filtro que reduce las interferencias por la luz ambiental. Para la configuración de este sensor, la intensidad de la señal emitida es registrada por el receptor que es sensible a la luz, la cual depende de la proximidad del objeto al emisor, por lo que al estar más próximo se refleja con mayor intensidad en comparación si estuviera a una mayor distancia. De esta forma, el fototransistor genera una corriente en función a la intensidad de luz detectada [352, 414].

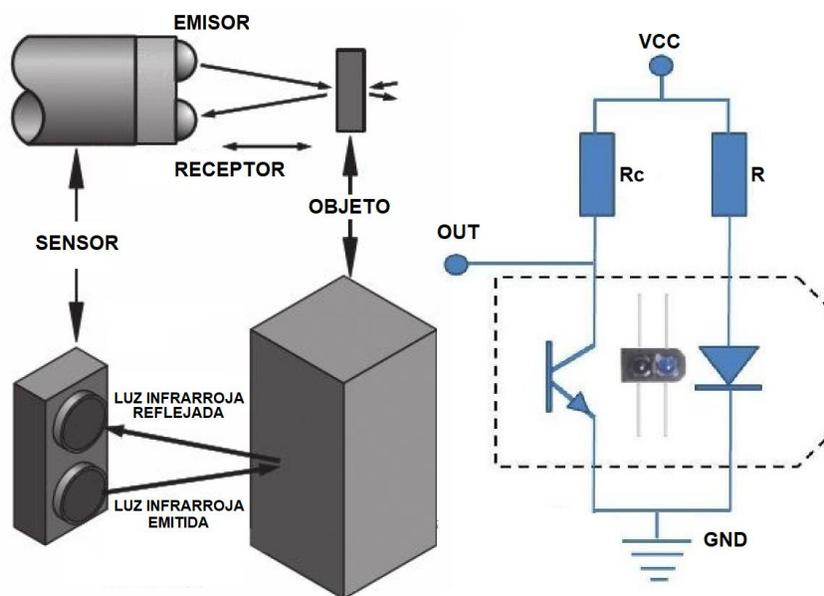


Figura 3.52 Funcionamiento y estructura del sensor óptico TCRT5000

El fototransistor en el módulo se encuentra en configuración emisor común [352, 414-416], de manera que al ser cada vez más excitado por la intensidad de luz deja pasar corriente de manera que entre su resistencia de carga y el fototransistor tendrá un voltaje que tenderá a 0 [V], mientras que en caso contrario cuando el fototransistor deja de ser excitado, el voltaje mencionado será el de alimentación [414, 416].

Así, el módulo cuenta con un comparador de voltaje (LM393) no inversor y un potenciómetro, que permite ajustar el nivel de referencia, el cual determina la distancia de detección deseada. Esto nos permite tener una señal digital, de manera que cuando el voltaje de entrada es superior al de referencia (cuando el sensor dejar de ser excitado) se activa la señal digital, mientras que al ser el voltaje de entrada inferior (al estar cada vez más excitado) se desactiva la señal [414, 417].

Las características de este sensor son las siguientes [417]:

- 🐾 Voltaje operación: 3.5 a 5 [V]
- 🐾 Corriente de operación: 60 [mA]
- 🐾 Distancia de detección: 0.2 a 2.5 [cm]
- 🐾 Distancia focal: 2.5 [mm]
- 🐾 Circuito Integrado: LM393
- 🐾 Dimensiones: 3.2 x 1.4 x 1.0 [cm]
- 🐾 Peso: 3 [g]
- 🐾 Salida: Digital (“1” y “0” lógico)

Finalmente, este módulo puede implementarse fácilmente al conectarlo a la *Raspberry Pi* por medio de su pin digital, aunque solo se utilizará la última mencionada [413], mientras que la alimentación se hará a través del sistema de distribución de energía a 5 [V]. Para determinar el valor de la resistencia, se realizará de manera experimental cuando se implemente todos los sistemas dentro de la carcasa cuando se tenga una distancia real entre las paredes del dosificador y el sensor.

Para su aplicación en el sistema, se busca determinar si se completó o no el desplazamiento de una de las divisiones, por lo que al detectar el borde de la pared de la siguiente división se deberá detener el motor. Para esto se deberá colocar al sensor sobre una de las paredes de la carcasa del sistema y posicionarlo con mucho cuidado para que quede correctamente alineado de acuerdo con las posiciones de las paredes sobre el círculo. Además, al igual que los sensores ultrasónicos, se deberá implementar un divisor de voltaje en su salida para ser conectado a un pin de la *Raspberry Pi*.

Como se puede observar en la figura 3.51, el emisor y receptor del sensor se encuentran en la parte posterior de la placa, por lo que fue necesario cambiar su posición de manera que tanto el potenciómetro, el emisor y el receptor estuvieran en la misma cara con el fin de que se pudiera ajustar al ras de las paredes internas del sistema, para contar con la mayor distancia posible entre el carrusel y el sensor y evitar que se toquen y dañen al sensor o interrumpir el funcionamiento del carrusel. Este módulo ofrece la facilidad de colocación al encontrarse integrado en una pequeña placa con un barreno para ser ajustado a una base con un tornillo.

De tal manera, al tener el tamaño del círculo del dosificador y los elementos adicionales para su movimiento, se procedió a realizar los planos para su manufactura por medio de corte laser con el material *MDF*. Se estableció el espesor de las divisiones de 3 [mm] con una altura mayor a 2.5

[cm], esta última medida fue elegida con el fin de no descartar la posibilidad de utilizar posteriormente premios que puedan entrar al ser cortados y se entregue la porción completa.

Un problema que surge con el uso de *MDF* y el corte láser es que no se cuenta con la posibilidad de manufacturar modelos tridimensionales en una sola pieza, por lo que será necesario desarrollarlo con base en capas de diferentes grosores del material, apilarlas una encima de otra y unir las con la ayuda de un pegamento. Por lo tanto, se utiliza para las divisiones 4 capas de 6[mm] y una de 3 [m] para lograr alcanzar la altura planteada al adicionar 2 [mm] adicionales para ello, que no implica ningún problema, e incluso podría beneficiar para la detección de las paredes por el sensor.

No obstante, se debe contar con otra capa de 6 [mm] que funja como base para así tener todos los lados de las divisiones, aunque esta base tendrá un hueco con forma y tamaño de una de las divisiones por donde caerán los premios al desplazarse hasta esa posición, que sería la salida.

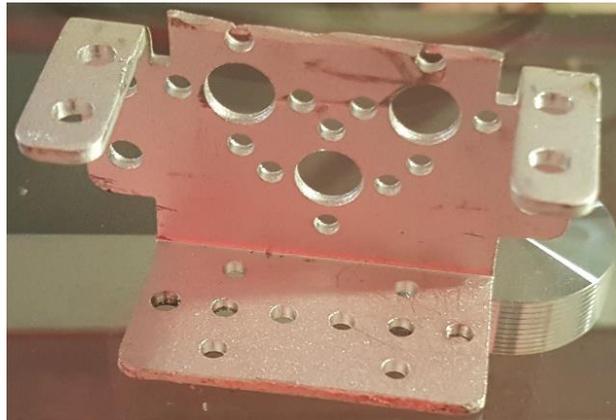


Figura 3.53 Soporte utilizado para el servomotor del dispensador.

Además, en la primera capa de 6 [mm] de las divisiones se hacen los barrenos necesarios con base en el cople circular, que permita utilizar tornillos para sujetar y unir ambas partes. Sin embargo, la base que se comentó hace un momento no se encontraría sujeta o adherida a ningún elemento, debido a que es una parte fija.

Para ello se optó por realizar capas circulares adicionales con sus respectivos barrenos para que pueda sujetarse la base al soporte del servomotor que se utilizó, por lo que se buscó que estas capas no superaran la altura en la que se encontrará el cople, con el fin de que no se presentara fricción por parte de la división móvil y la base, es por ello que se dejó una pequeña separación entre la superficie del cople y la de la base, la cual fue aproximadamente de 1.5 [mm] y derivó en la utilización de 5 capas de *MDF* de 3 [mm]. Además, será a esta estructura de capas en donde se colocará la rampa que guiará hasta la salida del sistema a los premios por alguna de las superficies de la carcasa.

Posteriormente al diseño de las piezas por medio del *Software CAD* (Diseño asistido por computadora) *NX10* de la empresa *Siemens*, se procedió a su manufactura por medio de corte

láser por los beneficios que ofrece previamente explicados; una vez que se contó con las piezas físicas, se unieron las capas con el adhesivo Resistol 5000, y así obtener las piezas como se pueden observar en la Figura 3.54 y 3.55. Para tener una mejor visualización de la forma, ensamble y medidas de las piezas que integran al carrusel y la rampa, éstas se pueden observar en el apéndice V.

Ya que se adhirieron todas las capas entre sí, y se fijaron la base al soporte del servo, y las divisiones al cople del servomotor, se hicieron pruebas de funcionamiento con los mismos premios mostrados en la figura 3.49, para observar que efectivamente el servomotor fuera capaz de desplazarlos y que pudieran ser dosificados al caer por el hueco de la base del carrusel, como se muestra en la figura 3.56.

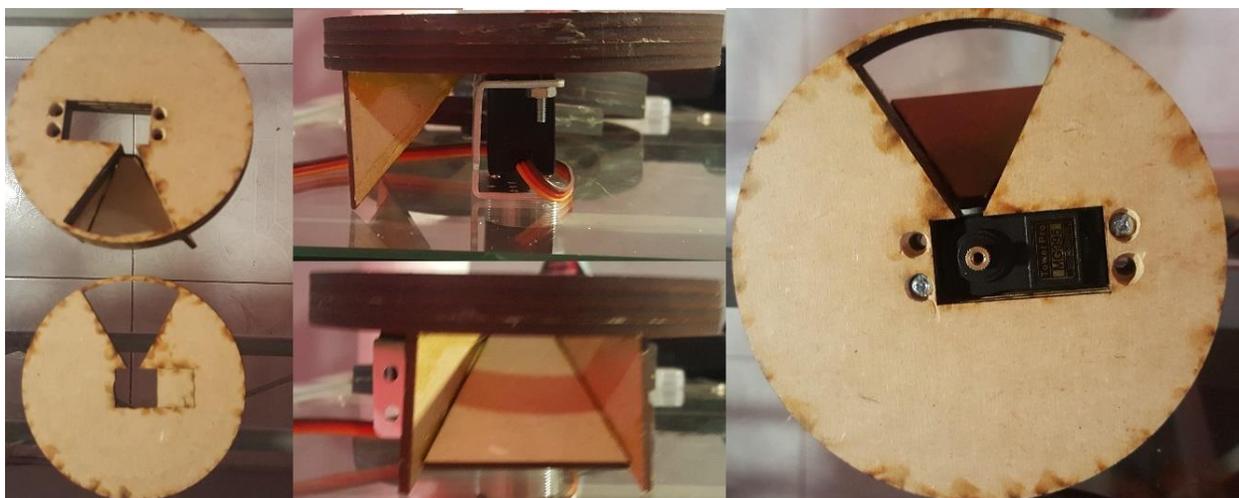


Figura 3.54 Elementos diseñados para la base del dosificador del carrusel motorizado.



Figura 3.55 Elementos diseñados para las divisiones móviles del carrusel motorizado.



Figura 3.56 Pruebas realizadas con premios.

Por último, después de realizar pruebas de desplazamiento con premios del mismo tipo y distintos, se concluye que el diseño realizado para el sistema de dosificación es capaz de cumplir su función al entregar premios sin importar el tamaño o forma de éstos.

Es importante mencionar que el sistema es capaz de girar en sentidos opuestos de manera continua, de igual forma como se realiza para un servomotor de $180 [^\circ]$ según el ciclo de trabajo de la señal de *PWM*, lo que se utilizará para poder cargar y descargar los premios. Lo anterior debido a que sería molesto tener que descargar los premios en el caso de que no se haya entregado todos y se quiera volver a reabastecer al sistema, por lo que girar en sentido opuesto tantos espacios vacíos haya podría ser una solución viable.

Aun cuando se comprobó el funcionamiento del carrusel, falta todavía implementar el sensor óptico para poder detener al servomotor durante la entrega de premios, lo cual se presenta en el próximo capítulo cuando se integren todos los subsistemas dentro de la carcasa del proyecto, además de fijar la base de la rampa en donde será posicionado el dosificador dentro del dispositivo.

III.6 Subsistema de iluminación

Para el sistema de iluminación del dispositivo, cuya función principal es la de proveer de luz a un ambiente oscuro -ya sea en horario nocturno o en ambientes muy oscuros- para poder visualizar correctamente a través de la *webcam* a la mascota o al entorno durante la supervisión en el periodo de funcionamiento manual. Para ello, se planteó el uso de *LEDs* debido a que no ocupan mucho espacio y existen lentes especiales para ellos que permiten tener diferentes ángulos de iluminación para propagar la luz de acuerdo con las especificaciones.

Como se mencionó en el análisis de conceptos, estos elementos pueden ser implementados desde la alimentación del sistema, son pequeños y pueden adaptarse fácilmente a una estructura, además de que no se fundirán por temperatura de funcionamiento o movimientos bruscos.



Figura 3.57. Lentes de 90 [°] para *LEDs* de potencia [418].

Por otro lado, estos lentes o lupas para *LEDs* que se pudieron conseguir se encuentran diseñados principalmente para ser utilizados por *LEDs* de potencia, debido a que se tiene un acople en la parte trasera del lente para su forma. Sin embargo, esto no implica un impedimento para su implementación ya que se pueden utilizar *LEDs* de potencia de 1 [W].

Sin embargo, es necesario colocar a cada uno de los *LEDs* su resistencia adecuada para limitar la corriente durante su alimentación, por lo que se calcula y se busca un valor comercial para su implementación, con base en su hoja de datos [419]. Adicionalmente, se implementa como se hizo con el amplificador de audio, un relevador para poder controlar la alimentación de estos *LEDs* en el caso de ser necesario durante la supervisión manual.

De acuerdo con los lentes para propagar luz, éstos dependen del ángulo, mientras más cerrado sea se iluminarán zonas más reducidas ya que se concentrará la intensidad en una zona específica, lo que provocará un efecto linterna; por el contrario, cuando el ángulo es más abierto se pueden iluminar zonas más amplias [420].

Como se puede observar en la figura 3.58, se presentan 4 casos en donde se utilizaron 2 tipos de lentes diferentes, uno de 10 [°] y otro de 90 [°]. Como se explicó, para el lente de 10 [°] se esperaba que la iluminación se concentrara en una zona determinada (efecto linterna), mientras que para el caso del lente de 90 [°] la iluminación se dispersa ya que el ángulo es más abierto e ilumina así una zona más amplia.

De igual forma, se volvieron a realizar las pruebas, pero ahora con dos lentes, que como se puede observar de nuevo en la figura 3.58 en su parte inferior, para los *LEDs* con lente de 10 [°] se tiene de nueva cuenta el efecto linterna, al concentrarse aún más la iluminación por lo que se ve más brillante la imagen y aumenta el área iluminada. Por otro lado, con los dos lentes de 90 [°] se puede observar cómo se ilumina completamente la zona sin concentrar una cantidad de luz en el centro.

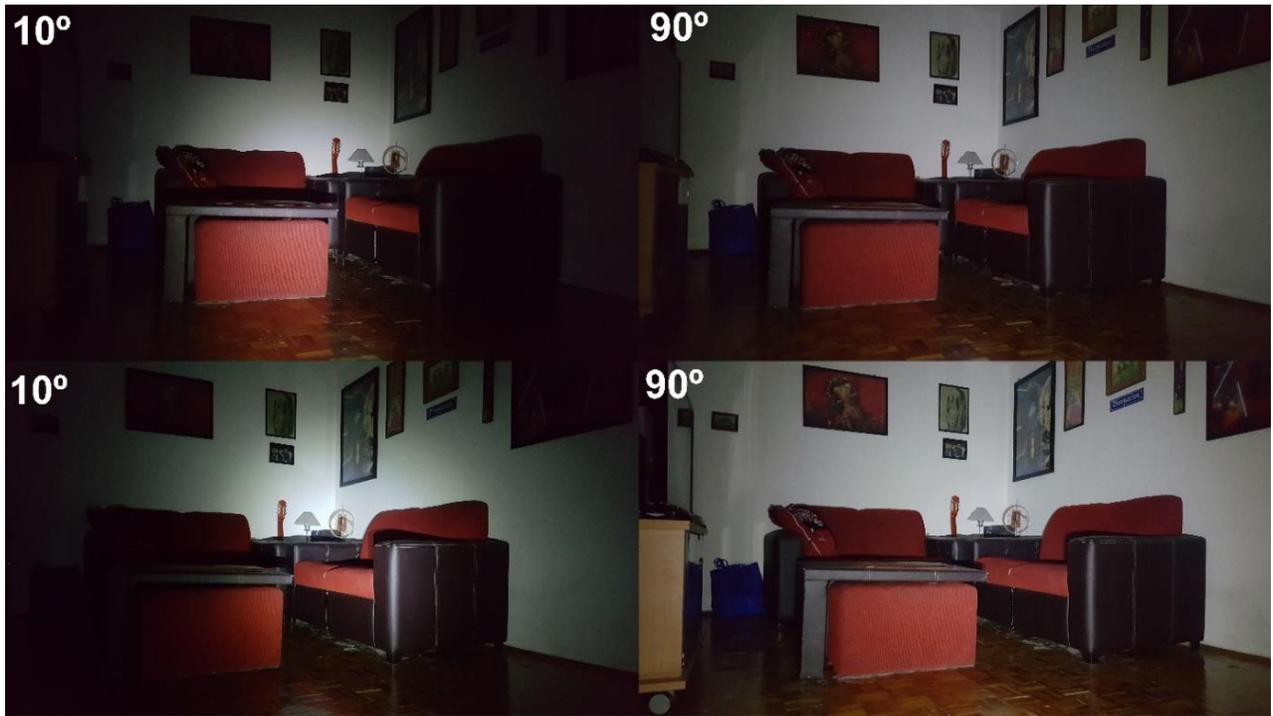


Figura 3.58. Pruebas con lentes de 10 [°] y 90 [°] visto desde cámara normal.



Figura 3.59. Pruebas con lentes de 10 [°] y 90 [°] visto desde webcam.

Sin embargo, como se puede observar en la figura 3.59, las mismas pruebas fueron realizadas, pero ahora con la *webcam* del dispositivo, para identificar la vista que se tendría con los diferentes lentes que servirán como auxiliares para la supervisión en ambientes oscuros.

En conclusión, aun cuando los dos lentes de 10 [°] concentran la iluminación y se ve puede ver con más claridad los objetos en el centro de la imagen, esto podría resultar dañino para la mascota, ya que se puede deslumbrar y afectar sus ojos, por lo que se opta por utilizar los dos lentes de 90 [°] ya que es suficiente para iluminar el ambiente y se puede visualizar lo que hay alrededor y durante la vigilancia de la mascota o al controlar al sistema manualmente, lo que permite auxiliar a la visión de la *webcam*.

III.7 Subsistema de movimiento

Para cumplir el objetivo de supervisión de la mascota, se planteó que el dispositivo pudiera desplazarse para así cubrir en todo lo posible la actividad de ésta, es decir, al no estar en un punto fijo y moverse a la par de la mascota se podrá saber con más detalle dónde estuvo, qué hizo, cómo se comportó y lo que sucedió a su alrededor. Para ello será necesario contar con elementos que puedan otorgarle al sistema la capacidad de movimiento.

Como se comentó en el capítulo anterior en el concepto seleccionado para el proyecto, para el sistema de movimiento se utilizarán motorreductores, los cuales se encuentran conformados por un motor *DC* junto con un sistema de engranajes o reducciones, en donde la velocidad de giro de éstos es proporcional al voltaje suministrado al motor *DC*. Las reducciones o caja de engranajes que caracterizan a los motorreductores direccionados a la robótica provocan una reducción en las revoluciones (RPM, revoluciones por minuto) de su eje y aumentan el torque que éstos pueden ofrecer [421-423].

Por otro lado, el movimiento del sistema será de acuerdo con la configuración *Skid Steer*, en la cual se dispone de al menos dos ruedas de cada lado con su respectivo motor que se mueven simultáneamente. Esta configuración otorga estabilidad al sistema, además de poder cargar peso sobre las ruedas. Los giros se efectúan mediante la variación del sentido de rotación de cada motor como se muestra en la figura 3.60 junto con la variación de velocidad de los motores de cada lado, por lo tanto, se obtiene un movimiento controlado, así como poder girar sobre su centro [422, 424-426].



Figura 3.60. Sentido de giro de las llantas para generar los diferentes movimientos.

Para la adquisición de estos elementos, se realizó el cálculo del torque necesario de los motorreductores, el cual es la fuerza de rotación alrededor de su eje que permitirá otorgar de movimiento al sistema por completo con todos los subsistemas y su chasis. Para esto, es necesario primero conocer un aproximado del peso total del sistema, ya que es el factor que afecta su movilidad [427], el cual al realizar la suma de cada elemento se obtiene lo siguiente:

Elemento	Peso [g]
<i>Raspberry Pi 3 Modelo B</i>	42
Ultrasónicos x 6	60
Servomotores x 2	110
Bocina	14
Batería	287
<i>Raspicam</i>	3
<i>Webcam ATW-1200</i>	200
<i>PCA9685</i>	9
<i>L298N x 2</i>	52
<i>TCRT5000</i>	3
Tarjeta de sonido USB	35
Premios x 6	60
Motores x 4	400
Chasis + Carrusel (<i>MDF</i>)	1000
Elementos electrónicos y de sujeción	327
TOTAL	2600

Por lo tanto, la masa total aproximada de todo el sistema es de 2.6 [kg] en total, por lo que se realizará el cálculo será de 3 [kg] debido a que aún no se conoce exactamente el peso de los motores, como también del chasis final del sistema y cualquier otro elemento que se pueda agregar a futuro dentro del rubro de elementos electrónicos y elementos de sujeción. Así mismo, este peso se utiliza para evitar un sobreesfuerzo de los motores, al tomarse como un valor con factor de seguridad para el cálculo del torque.

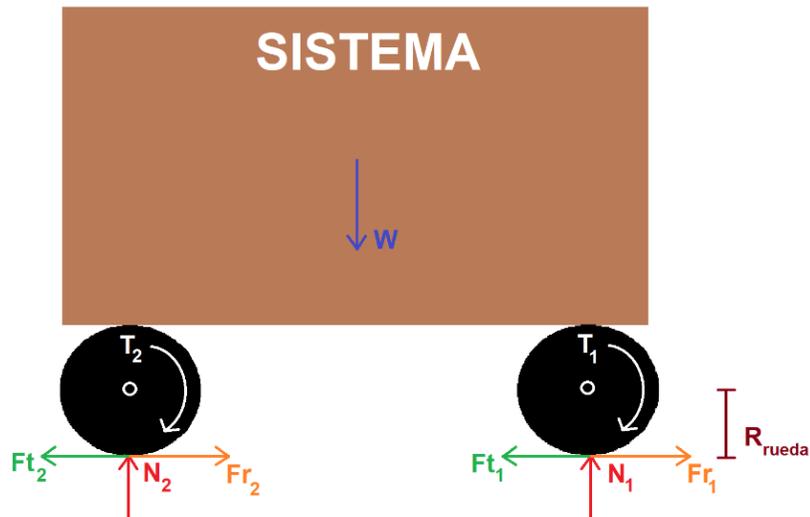


Figura 3.61. Diagrama de cuerpo libre del sistema

De esta forma, se realiza un análisis sencillo con base en el diagrama de cuerpo libre del sistema que se muestra en la figura 3.61, en donde se considera que el peso se distribuye uniformemente y no existe fricción entre el eje del motor y la rueda. En consecuencia, si se toma en cuenta que existen 4 motores, entonces se tienen 4 puntos de apoyo en donde en cada uno de éstos se ejerce una fuerza (W) debido a la masa, equivalente a un cuarto de la masa del sistema (m) en cada una de las llantas.

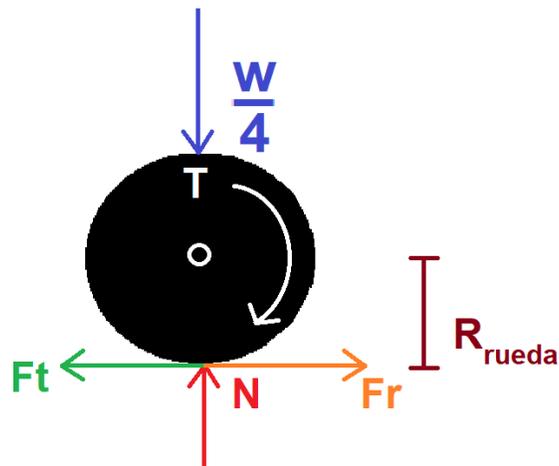


Figura 3.62. Diagrama de cuerpo libre de una llanta del sistema.

Entonces, se procede a realizar el cálculo con base en el diagrama de cuerpo libre de una de las llantas por separado del sistema [422, 428-430], como se muestra en la figura 3.62, en donde W es el peso del sistema completo [N], N la fuerza de reacción normal [N], Fr la fuerza de fricción estática [N], T el torque del motor [N·m], Ft la fuerza par aplicada por el motor [N] y R el radio de la rueda [m].

Para iniciar, se procede a hacer el cálculo del peso total al utilizar la ecuación (3.20), donde m es masa [kg] y g es la aceleración debido a la gravedad, la cual se toma como $9.78 \text{ [m/s}^2\text{]}$ en la Ciudad de México, y como se realizará el análisis sobre una sola llanta, el resultado que se obtenga, se dividirá entre 4 en los cálculos posteriores.

$$W = m g \quad (3.20)$$

$$W = m g = (3) (9.78) = 29.34 \text{ [N]}$$

Así, al realizar la suma de fuerzas en el eje Y o vertical, se obtiene la ecuación (3.21), de la cual se despeja la variable N , que es utilizada para el cálculo de la fuerza de fricción como se muestra en la ecuación (3.22).

$$\sum F_y = N - \frac{W}{4} = 0 \rightarrow N = \frac{W}{4} \quad (3.21)$$

$$F_r = \mu_e N \quad (3.22)$$

Por lo tanto, se utilizan los valores de peso y el coeficiente de fricción estático, el cual se toma de $\mu_e = 1$ [422, 431] que es el coeficiente entre el hule y el concreto, ya que no se conoce el tipo de superficie de cada uno de los hogares en los que se podrá en operación el sistema. De esta forma al sustituir estos valores en las ecuaciones (3.21) y (3.22) se obtienen los siguientes resultados:

$$N = \frac{W}{4} = 7.34 \text{ [N]}$$

$$F_r = (1)(7.34) = 7.34 \text{ [N]}$$

Finalmente, se realiza la suma de fuerzas ahora sobre el eje X u horizontal, con lo que se obtiene la ecuación (3.23), en donde se tiene tanto la fuerza de fricción y la fuerza del par aplicado por el motor, de la cual se busca despejar el torque al sustituir en la ecuación (3.23) la ecuación (3.24), para obtener así la ecuación (3.25) que se puede utilizar para buscar un motor con un torque (T) con base en el radio de la rueda (R) a utilizar.

$$\sum F_x = F_t - F_r = 0 \rightarrow F_t = F_r \quad (3.23)$$

$$T = R F_t \quad (3.24)$$

$$T = R F_r = (7.34) R \text{ [N} \cdot \text{m]} = (0.75) R \text{ [kg} \cdot \text{cm]} \quad (3.25)$$

Por otro lado, se debe considerar la velocidad deseada del sistema dado que éste se encargará de realizar un monitoreo constante de la mascota, por lo tanto, hay que tener en cuenta cómo se mueven los caninos.

Los perros cuando caminan lo hacen de manera lenta y tranquila, ya que tienen 3 de las 4 patas apoyadas en el piso para sostener el cuerpo y mueven una por una al desplazarse [432]; sin embargo, al “trotar” (*pace* en inglés) la velocidad va desde los 0.98 a los 2.84 [m/s], según sus características (raza, tamaño y tipo de paso al trotar) [433]. Por lo tanto, la velocidad que se planteó para el sistema tenía que ser menor a los 0.98 [m/s] con el fin de poder moverse más lento que la mascota y ésta no interpretara un movimiento veloz como incitación a jugar, lo que la excitaría en lugar de relajarla.

Así mismo, se plantea una velocidad aproximada a caminar y “trotar”, para poder visualizar mejor y seguir a la mascota, sin presentar movimientos bruscos que desestabilicen al sistema, que afecten a la imagen del sistema de video y provoque el movimiento de elementos internos, así como no espantar a la mascota al dirigirse hacia su posición de manera muy rápida o darle a pensar que se quiere iniciar un juego de persecución. Por otro lado, no puede ser tan lento, ya que perdería de vista a la mascota la mayoría de las veces al no poder seguirle el paso, aunque la mascota solo camine y no se desplace a una velocidad mayor.

Con base en la información expuesta en los párrafos anteriores se ha tomado la decisión de elegir la velocidad del dispositivo de acuerdo con la experimentación, para determinar una velocidad que sea útil para el seguimiento de la mascota y el correcto funcionamiento de los demás subsistemas, dentro del rango de velocidades por debajo de 1 [m/s], donde se buscará un valor intermedio entre caminar (que es muy lento) y el primer valor en el que se encuentra el rango de “trotar” en los perros.

Por lo tanto, se procedió a realizar la búsqueda de motores en venta junto con su rueda -ya que algunos motores poseen una flecha especial para un tipo de rueda- con el fin de tener el último parámetro necesario para la selección del motor, es decir, el diámetro de la rueda, el cual fue de 7 [cm] con un motor con torque de 3 [$kg \cdot cm$] de 8 [V] con reducción 100:1, dado que la ecuación (3.26) da como resultado el valor de torque 2.625 [$kg \cdot cm$], por lo que el motor seleccionado ofrece las características necesarias para poder realizar el movimiento del sistema, el cual se muestra en la figura 3.63. Además, el peso de los motores seleccionados es de 125 [g], por lo que 100 [g] adicionales al peso final aproximado no afecta en gran medida al cálculo debido a la consideración ya mencionada anteriormente.

La selección de estos motores junto con su rueda, con base en la ecuación (3.26) más la velocidad angular del motor la cual es de 120 [RPM], da una velocidad de:

$$V = \frac{2\pi R}{60} (RPM) \quad (3.26)$$

$$V = \frac{2\pi (0.035)}{60} 120 = 0.44 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Como el objetivo principal del cálculo es poder otorgar movimiento al sistema, la velocidad que estos motores pueden alcanzar se encuentra dentro del rango de velocidades que se había contemplado. Esto se debe a que tanto el torque como la velocidad resultan ser inversamente

proporcionales, es decir, si se busca tener valores grandes de torque se tendrán valores pequeños de velocidad y viceversa., lo anterior a causa de los trenes de engranajes que poseen los motorreductores [427].

Por lo tanto, queda experimentar con las diferentes velocidades que se pueden establecer con el modelo de motor seleccionado, con el fin de corroborar que los motores elegidos nos permitan lograr el correcto funcionamiento de los demás subsistemas y otorguen de movimiento al proyecto, sin buscar alterar o excitar a la mascota con movimientos veloces.



Figura 3.63. Motorreductores seleccionados para el sistema de movimiento.

Por otro lado, es necesario realizar el control del movimiento de estos motores, con el fin de poder realizar el avance y retroceso del sistema, como también los giros laterales para así lograr realizar búsqueda y seguimiento de la mascota correctamente. Para ello se decidió utilizar el *driver* o controlador *L298N* como se muestra en la figura 3.64, el cual utiliza el integrado doble puente H que lleva el mismo nombre [434].

La alimentación de este módulo se encuentra en un rango de voltaje para trabajar que va de los 5 a los 35 [V] con una capacidad de corriente de 2 [A] por cada canal, además de contar con un regulador *LM7805* para alimentar con 5 [V] la parte lógica del *L298N* y 8 diodos de protección por picos de corriente inversa producidos por las bobinas de los motores durante la conmutación de su giro. Así mismo el *driver*, para cada uno de ambos motores que soporta, posee dos pines de entrada para el control, un pin *Enable* para activar o desactivar la señal del motor -normalmente utilizados para el control de velocidad- y dos pines de salida que van conectado al motor [423, 434-439].

Como ya se mencionó. este *driver* posee un puente H *L298N*, con el cual es posible realizar el cambio de la polaridad del voltaje con el que se alimenta el motor y por ende lograr cambiar el sentido de giro del mismo, ya sea hacia adelante o hacia atrás gracias a cuatro transistores que funcionan como interruptores los cuales se abren o cierran en pares para alimentar al motor y con ello cambiar su polaridad [423, 434].

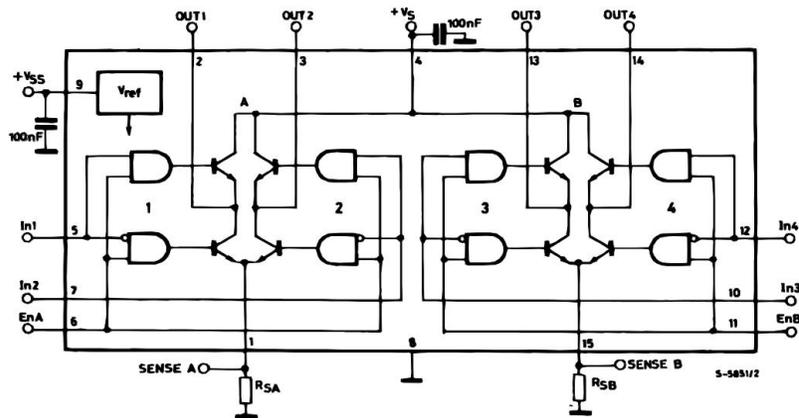
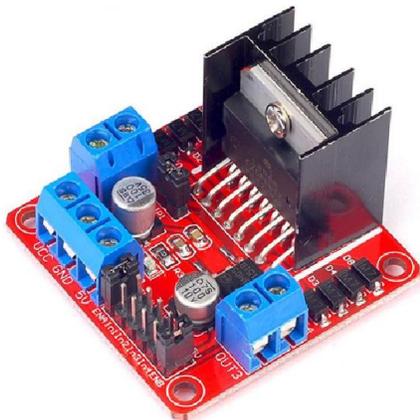


Figura 3.64. *Driver L298N* utilizado para el control de los motorreductores [440-441].

De esta forma, para los pines de control es necesario enviar una señal lógica en nivel alto o bajo en cada uno de los pines de control, en donde, si se llega a recibir la misma señal ya sea en alto en bajo en ambos pines, el motor se detendrá. Para determinar la combinación de señales adecuadas que se debe enviar a los pines de control desde la *Raspberry Pi* para lograr activar al motor hacia adelante o atrás, será necesario realizarlo de manera experimental ya que depende en qué forma se conectan las terminales de alimentación a los pines de salida del *driver*.

Por otro lado, los pines de *Enable* son aquellos que permitirán realizar el control de velocidad de los motores por medio de una señal *PWM*. Lo anterior se logra debido a que, como se comentó anteriormente, los motores *DC* internos de los motorreductores, cuanto mayor o menor sea el voltaje aplicado, incrementará o disminuirá su velocidad respectivamente [423, 439, 442].

Como ya se habló anteriormente, la señal *PWM* son pulsos positivos cuya duración es determinada por el ciclo de trabajo (D) el cual se expresa en porcentaje (3.14), en donde la frecuencia se mantiene constante (100 [Hz] recomendado para *Raspberry Pi*) y al variar el ancho de pulso de la señal se modifica el ciclo de trabajo. Por lo tanto, el *driver* alimenta al motor de acuerdo con la formula (3.27), en donde el ciclo de trabajo (D) determinará en qué proporción del voltaje de entrada (V) del *driver* se suministra al motor (V_m), y por lo tanto determinará la velocidad de éste [423, 439, 443].

$$V_m = D V \quad (3.27)$$

Así, si se llega a aplicar un *PWM* con un ciclo de trabajo de 50% desde la *Raspberry Pi* al *driver*, el motor girará a un 50% de la velocidad máxima, es decir, a media velocidad; por consiguiente, si se tiene un ciclo de trabajo de 25% se tendrá un cuarto de la velocidad máxima del motor [439, 442].

Lo anterior quiere decir que, si el ciclo de trabajo que manda cada pulso se reduce, esto impactará igualmente en la disminución de la velocidad; cabe destacar que el ancho de pulso se traduce en proporcionar voltaje y dejar de hacerlo -como un interruptor que se abre y se cierra-

pero, al ser esto tan rápido, parece que el motor gira continuamente y es por ello que se aplica en el pin de *Enable* [423, 442, 444].

Como ya se mencionó en la sección del subsistema de detección, con base en los valores de *RSSI* obtenidos por la *Raspberry Pi*, se podrán determinar los anillos de aproximación. Esto implica la intervención del sistema de movimiento para poder posicionar al sistema de manera adecuada, con el fin de acompañar a cierta distancia a la mascota y observarla junto a su actividad mientras el dueño no se encuentre junto a ella.

Sin embargo, en ciertos momentos el sistema y la mascota se encontrarán muy separados o muy cerca, por lo que será necesario tanto para continuar con el seguimiento y poder observar a la mascota, como también evitar cualquier posible inconveniente cuando el sistema pueda estar muy cerca de ésta, que el sistema pueda situarse dentro del anillo de aproximación “Adecuado” lo más rápido posible y mantenerse en él cuando se haya llegado.

Por lo tanto, se considera la implementación de un control PID que permita ajustar la posición del sistema dentro del rango de distancia del anillo “Adecuado” rápidamente con respecto a los movimientos que realice la mascota mientras ésta se encuentre sola, al controlar la velocidad de los motorreductores por medio de una señal de *PWM* generada por la *Raspberry Pi* gracias a la suma de las tres acciones de control PID y la retroalimentación de los *Beacons*.

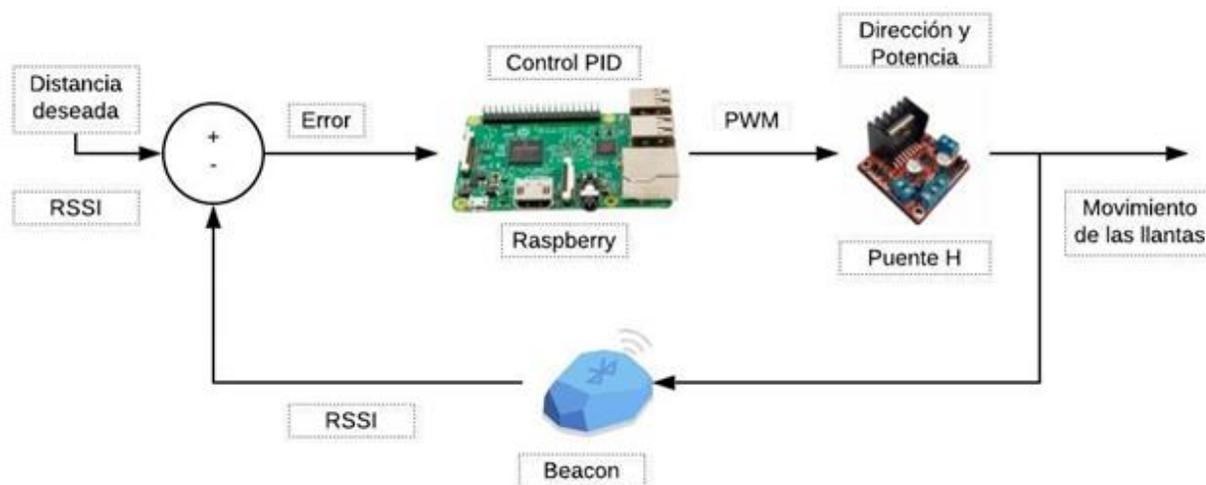


Figura 3.65. Diagrama del control PID para el posicionamiento del sistema [404, 440, 445].

Como se puede observar en la figura 3.65, de nuevo será la *Raspberry Pi* quien determinará el valor del ciclo de trabajo de la señal de *PWM* con el cual se podrá modificar la velocidad que ejercen los motorreductores para acercarse o alejarse con base en el error que se presenta entre el rango de valores de *RSSI* en el que se encuentra la mascota -obtenidos gracias a la retroalimentación dada por lo Beacons- y la consigna, que es el valor de *RSSI* que determine el centro del anillo “adecuado”, cuyo valor de *RSSI* es de -77 con un error permisible de $\pm 10\%$ del anillo en el cual se considera correcta la distancia entre el sistema y la mascota debido a la variación de valores de la señal de *RSSI* que se puede llegar a presentar. Así, el error anterior

mencionado tras ser calculado por la *Raspberry*, ésta aplicara el algoritmo del control PID desarrollado en la sección del subsistema de detección para corregirlo al mandar una nueva señal de *PWM* al *driver* L298N para determinar la velocidad de acuerdo con el caso en que las ruedas tengan que ir en el sentido de giro para avanzar o retroceder.

Por otro lado, otro elemento que influye en el movimiento de los motorreductores es el servomotor de la cabeza, el cual se encuentra conectado a la *Raspicam* y pertenece al subsistema de detección. Este elemento incide en el movimiento ya que, al tener ese servomotor un límite para el giro de su eje el cual va de 10 [°] a 170 [°], se debe plantear una posibilidad para continuar con el seguimiento de la mascota antes de que se superen estos límites. Por lo tanto, se ha decidido aplicar un control PID que gobierne el movimiento del sistema para que, una vez que el servomotor gire hasta cierto ángulo, el sistema comience a moverse en esa dirección y, por lo tanto, los motores actúen rápidamente hasta que alineen el sistema con el centro del servomotor o en una posición cómoda para mantener a la mascota visualizada correctamente.

De esta forma, este control funciona en conjunto con el implementado en el subsistema de detección para que una vez que el sistema empiece a girar, el servomotor mantenga a la mascota en el centro de la imagen de video, y así mientras se ajuste, el sistema girará hasta que sus centros estén aproximadamente alineados de nuevo.

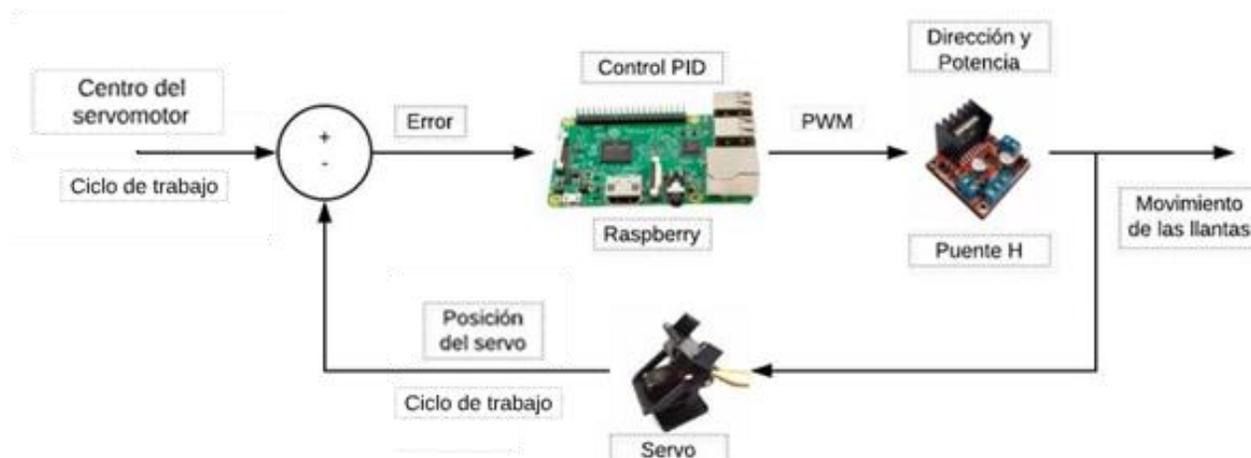


Figura 3.66. Diagrama del control PID para el posicionamiento del sistema [402, 404, 440].

En el diagrama de la figura 3.66 se puede ver cómo es la *Raspberry Pi* quien determinará el ciclo de trabajo de la señal de *PWM* con el que se modificará la velocidad de los motorreductores al momento de girar en un cierto sentido, ya sea hacia la izquierda o a la derecha de acuerdo con el error que se calcula entre la consigna, que es el valor del centro del servomotor -con un ciclo de trabajo de 6.5%- y la posición actual de éste durante el seguimiento de la mascota, cuyo valor se obtiene no del servomotor como un sensor, sino del valor obtenido desde el control PID del subsistema de detección que se le asigna.

Para este caso, el sistema iniciará el giro cuando el servomotor se encuentre en un ángulo superior a 120 [°] o inferior a 60 [°], al girar hacia la izquierda o derecha respectivamente. De esta forma se considera que el sistema ya se encuentra alineado con el servomotor cuando éste se encuentre dentro de los valores establecidos en el rango anterior, por lo tanto, se cuenta con un error permisible del $\pm 18.75\%$, ya que en este rango de valores se tiene una posición cómoda para la visualización de la mascota sin forzar al servomotor y con un ángulo de visión que le permita realizar su seguimiento.

Por último, tras calcularse el error mencionado por la *Raspberry*, se aplica el algoritmo de control PID ya implementado en los casos anteriores para determinar gracias a las acciones de control de éste la nueva señal de *PWM* que recibirán los motorreductores a través del *driver* L298N para alinear rápidamente la posición del sistema con el centro del servomotor.

Para ambos casos de control PID, ya que involucra a los motorreductores para el movimiento del sistema, el ajuste de los valores de cada una de las constantes de las acciones de control - mediante el método heurístico y los pasos mencionados anteriormente- se realizará en la etapa de pruebas en el capítulo V, pues será hasta ese momento que se tendrá ensamblado al sistema en su totalidad por lo que se podrá hasta entonces corroborar el correcto funcionamiento del control PID para desarrollar cada una de las funciones propuestas.

Finalmente, en el caso en que la mascota no fuera detectada por el sistema, se deberá implementar una rutina de búsqueda la cual se encuentre auxiliada tanto por los sensores ultrasónicos para evitar obstáculos y los *Beacons* para determinar qué tan lejos o cerca se está de la mascota, lo que facilitará la búsqueda. Cabe mencionar que, en la rutina de búsqueda, el filtrado de colores por medio de la visión artificial se mantendrá siempre activo para que, en el caso de visualizar a la mascota, se pueda dirigir hacia ella enseguida.

III.8 Subsistema de comunicación

Para que se pueda acceder de manera remota al sistema para su control y/o para poder realizar la supervisión de la mascota, tanto en modo manual como automático, es necesario establecer un medio de comunicación desde el sistema de control hacia cualquier otro dispositivo.

Para ello se propuso el uso de la señal *Wi-Fi* de la casa ya que como se mencionó anteriormente es una conexión accesible para establecerse en una vivienda. Además, la *Raspberry Pi* posee la capacidad de conectarse a una red de internet por medio de cable *ADSL* y por *Wi-Fi*, por lo que resultará sencillo poderse conectar, al evitar el uso de cables que puedan limitar o estorbar el movimiento del sistema, a un módem cuando se conozca la contraseña de éste.

Sin embargo, para poder visualizar la interfaz gráfica de la *Raspberry Pi* y así, poder tanto manipular los archivos y programas dentro de ella como también poder hacer la programación

necesaria para el proyecto, se necesitó hacer uso de un *software* de acceso remoto para poder visualizarlo por medio de una computadora de escritorio o un celular.

VNC Viewer resultó ser de gran utilidad, ya que al tratarse de un *software* de pantalla compartida permite acceder y manipular diferentes equipos como computadoras, celulares, tabletas, y como es el caso, la *Raspberry Pi*. *VNC* transmite datos de píxeles de pantalla de un equipo hacia otro, y envía a cambio eventos de control por medio de un protocolo propio de la empresa [446].



Figura 3.67 *VNC* permite visualizar y manipular diferentes dispositivos de manera remota [447].

Este *software* ofrece la facilidad de crear una cuenta a la cual se le relaciona la dirección *IP* (número de identificación de un equipo en una red de protocolo *IP*) del dispositivo al que se quiere acceder remotamente una vez que un *software*, en este caso *VNC Server*, es instalado en el equipo. Posteriormente, se accede y se inicia sesión con la cuenta creada para autenticar la conexión de manera remota. En sí, *VNC Server* es el encargado de capturar lo que sucede en el equipo en tiempo real y enviarlo [446].

Para poder visualizar y/o manipular lo que *VNC Server* envía sobre el equipo, será necesario utilizar el *software VNC Viewer* desde el dispositivo (que puede ser celular, tableta o computadora) por el que se quiere acceder. Por medio de este *software*, se puede invitar a otros usuarios (por medio de sus cuentas) a acceder y manipular lo que sucede con el equipo sin la necesidad de estar conectados a la misma red que la *Raspberry Pi*. *VNC Viewer* es el encargado de capturar las entradas de un ratón, teclado o táctiles y enviarlas a *VNC Server* para que las lleve a cabo en el equipo remoto [446].

Por otro lado, un beneficio del uso de *VNC* fuera de su utilización para la etapa de desarrollo y pruebas con la *Raspberry Pi*, es que puede servir como medio de acceso para el dueño de la mascota al sistema y poder visualizar la interfaz gráfica (medio visual de interacción persona-máquina [448]) de éste desde una computadora o dispositivo móvil en cualquier punto donde tenga acceso a internet para controlarlo [449].

La interfaz gráfica del sistema será por medio de una aplicación sencilla programada en *Python*, la cual se presentará a través de la terminal de la *Raspberry Pi* conocida como *LXTerminal*, por

la cual se ingresarán las acciones deseadas por el dueño para el control o acceder a la información del sistema.

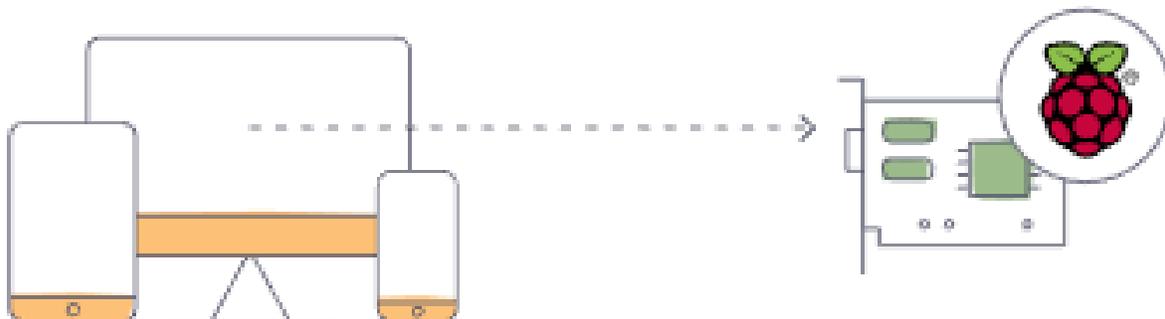


Figura 3.68 VNC permite visualizar y manipular a la *Raspberry Pi* remotamente [450].

Cabe mencionar que, para poder ingresar a la *Raspberry Pi* de manera remota desde cualquier equipo por medio de VNC, además de que se deberá ser un usuario autorizado para poderse conectar fuera de la cuenta principal ligada a la *Raspberry*, ésta última solicita ingresar el usuario y contraseña, la cual se puede modificar desde la configuración de ésta, aunque para el sistema se mantuvo la contraseña y usuario preestablecido.

Por otro lado, se debe plantear la forma en la que la información del sistema de video y audio será transmitida en tiempo real desde el sistema para que el dueño pueda acceder a ellas de manera remota desde cualquier punto en el que pueda tener acceso a internet, ya que, como el sistema estará conectado a una red *Wi-Fi* en el hogar, la información será transmitida por esta misma vía.

Tras realizar la investigación sobre la forma que hay para poder transmitir audio y video en tiempo real por medio del internet desde la *Raspberry Pi*, se encontraron diferentes aplicaciones y bibliotecas que trabajaban especialmente con el módulo de cámara de *Raspberry Pi*, lo cual implicaba principalmente no poder transmitir por medio de la *webcam*, ni poder transmitir audio de manera conjunta. Sin embargo, fue posible encontrar una aplicación que permitía utilizar ambas cámaras (*MJPEG-Streamer*), pero se presentaba de igual forma el segundo problema mencionado, ya que no incluye la señal de audio [451]. Para esto, será necesario implementar otra aplicación (*Mumble streamer*) que permita capturar el audio proveniente del micrófono para poder enviarlo juntamente con el video e idealmente sin un desfase de tiempo.

Primero, se tratará la forma en que fue transmitido el audio del micrófono fuera de la *Raspberry Pi*. Como se mencionó en el capítulo anterior y en la sección sobre el sistema de audio, la *Raspberry Pi* no cuenta con una tarjeta de audio que permita capturar el sonido de un micrófono, y mucho menos cuenta con una entrada dedicada para este elemento. Por lo tanto, no se encontraron muchas bibliotecas y aplicaciones dedicadas especialmente para capturar y tratar el audio de un micrófono.

Sin embargo, existe una aplicación libre que es compatible con la *Raspberry Pi* conocida como *Mumble*, la cual funge como servidor para un grupo de plática (*chat*) entre varias personas, orientado principalmente para la comunicación de jugadores de videojuegos [452]. Sin embargo, la función principal de la aplicación no limita el uso que se le puede dar a la aplicación, ya que tanto el servidor como el cliente de la aplicación puede usarse en *Windows*, *Linux*, *Mac OS* e inclusive en *Android*, aunque a este último se le conoce como *Plumble* (aun no oficial) y funciona solamente como cliente, es decir, solo para poder acceder a la sala de conversación [453].

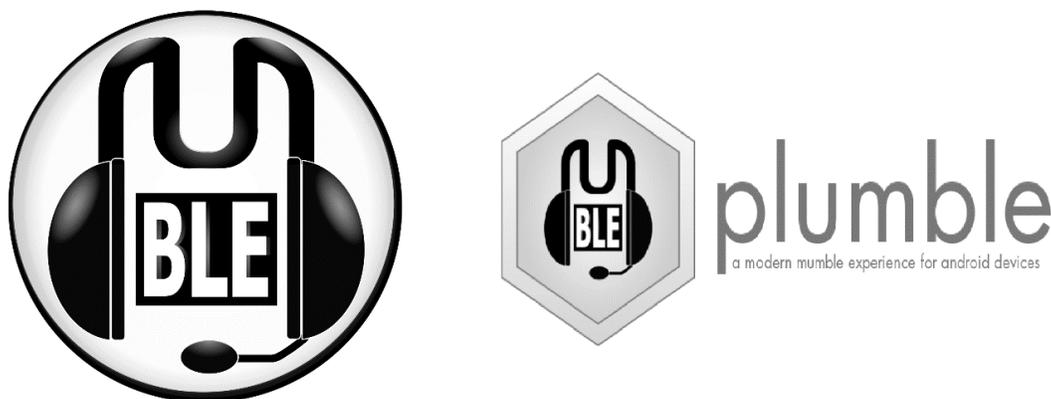


Figura 3.69 *Mumble* y *Plumble* para la comunicación entre varios usuarios [454-455].

El beneficio de utilizar *Mumble*, es que a la *Raspberry Pi* se le puede instalar la aplicación como servidor (llamado *Murmur*), mientras que el cliente se puede instalar en una computadora (*Mumble*) o en un celular (*Plumble* para *Android* y *Mumble* para *iOS*), los cuales pueden trabajar en segundo plano, es decir, no es necesario mantener la aplicación abierta para que trabaje [453, 456]. Además, de acuerdo con sus características de audio, el desfase mayor que se puede tener, sobre todo cuando hay una mala conexión de internet es de 60 [ms], lo cual es aceptable con base en las especificaciones del sistema [452].

Para poder utilizar *Murmur*, fue necesario descargar la aplicación desde internet, instalarla y posteriormente configurar tanto las preferencias de funcionamiento de la aplicación (idioma, autoconexión al último servidor, apariencia, cómo iniciar la aplicación, suprimir el ruido de fondo para centrarse en la voz, etc. [453]) como también el elemento de entrada de audio de la *Raspberry Pi*, en donde se estableció que sería por medio de la tarjeta de sonido *USB* y que no estuviera activo el filtro de detección de voz -el cual es utilizado cuando se trata de una conversación para solo captar la voz- para poder detectar en mayor medida los ruidos provenientes del ambiente en el que se encontrará inmerso con la mascota.

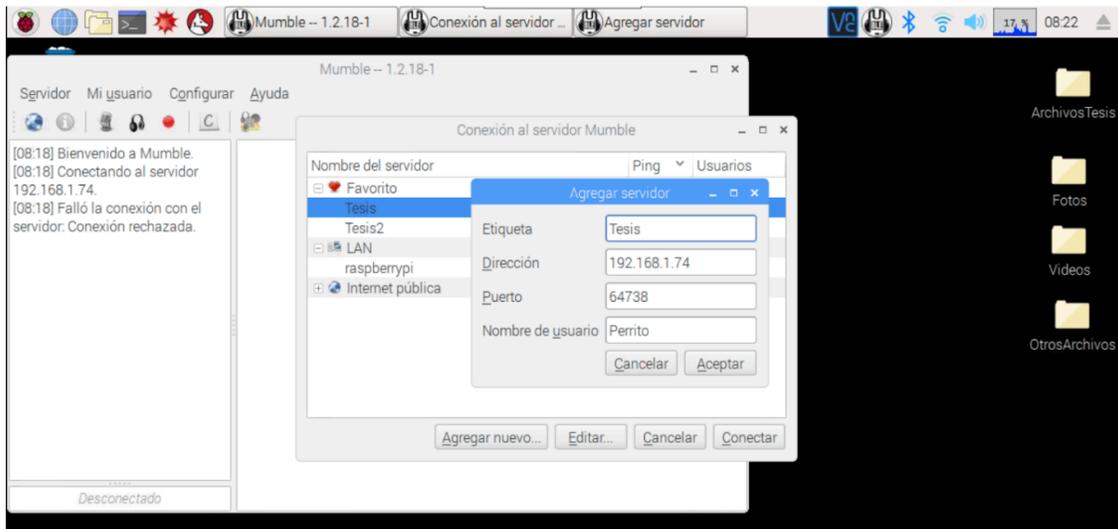


Figura 3.70 Creación de un servidor de *Mumble* desde la *Raspberry Pi*.

Posteriormente, se hace la creación de una “sala” de conversación o (*chat*) en donde se especifica fundamentalmente la dirección *IP* del host -en este caso sería la *IP* de la *Raspberry Pi* dentro de la red local- y el puerto de acceso dentro de la red. Estos dos elementos son importantes ya que será la información necesaria para poder acceder a esta “sala”. Esta información se ingresa como se muestra en la figura 3.70.

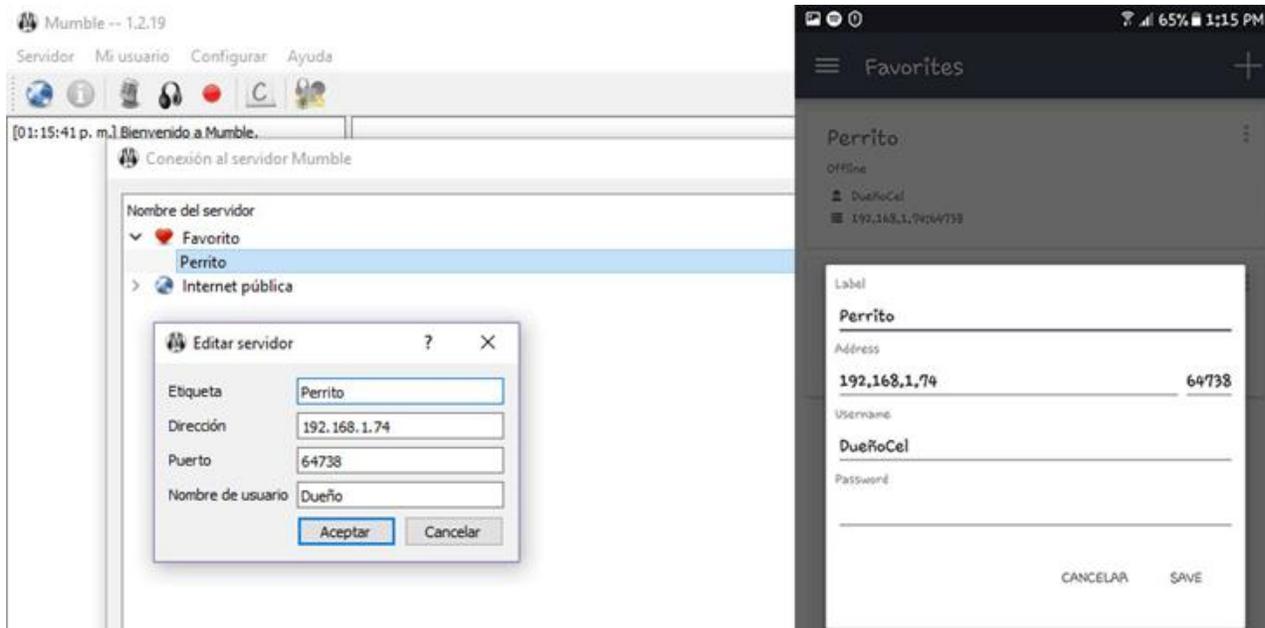


Figura 3.71 Conexión al servidor de la *Raspberry* desde una computadora y celular.

Una vez que se haya creado el servidor, se necesita ahora la información recién proporcionada para poder ingresarla tanto en el cliente de *Mumble* para computadora o en el caso de acceder desde un celular por medio de la aplicación *Plumble*, como se puede observar en la figura 3.71.

Finalmente, de esta forma se podrá ingresar a la “sala” de conversación y así escuchar el sonido proveniente del sistema, como también utilizar el micrófono, ya sea de la computadora o del celular, desde donde se estableció la conexión, para capturar el sonido de la voz del dueño. De esta forma se logra establecer la comunicación de la mascota con su dueño, la cual es solamente auditiva ya que, para el sistema de video, solamente será el dueño quien podrá visualizar a la mascota, no viceversa.

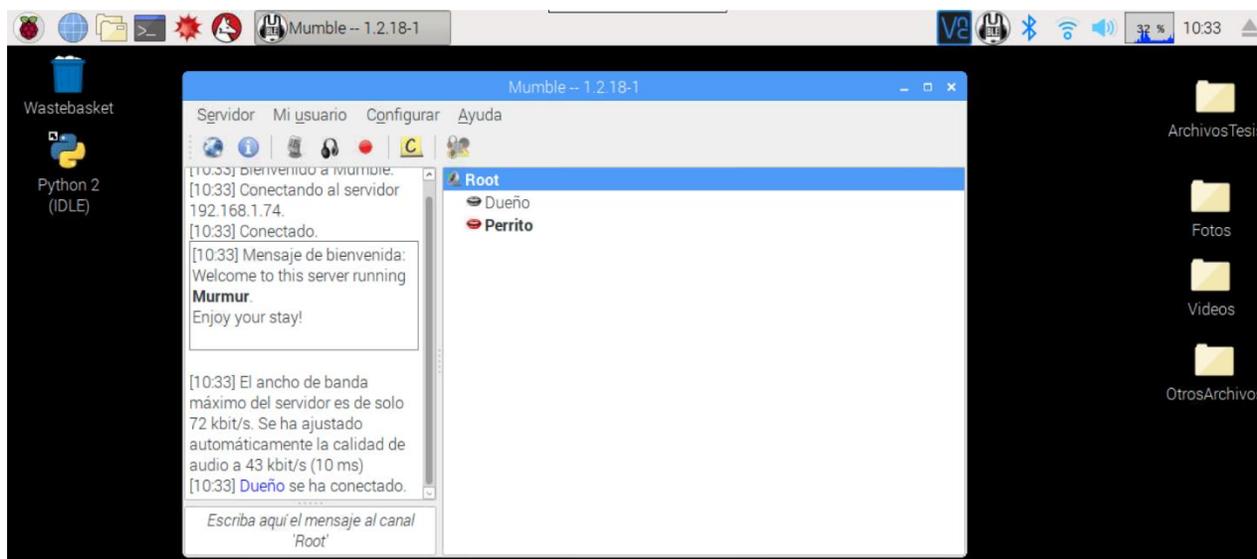


Figura 3.72 Comunicación de audio entre el dueño y su mascota por medio de *Mumble*.

El uso de *Mumble* para el sistema de comunicación de audio se probó al alejar al sistema lo más posible dentro del área en donde pudiera recibir la señal *Wi-Fi*, que fue aproximadamente a 8 [m] de distancia del módem y en un cuarto separado del que se encontraba éste. En estas pruebas, se tuvo un retraso máximo de 4 [ms], aunque sí se presentaron casos donde se desfasaba y se llegó a 1 [s]; pero al poco tiempo se estabiliza y se escucha en tiempo real de nuevo, por lo que resulta satisfactorio el uso de esta aplicación dado que idealmente el área de trabajo en la que se encontrará el sistema no se verá interrumpida por muros, ya que tanto la mascota como el sistema se deberán encontrar en una misma y única habitación.

Cabe mencionar que, para las pruebas, tanto el micrófono como la bocina se encontraban separados a una distancia relativamente cercana, de aproximadamente 10 [cm], ya que posteriormente cuando se arme el prototipo estarán también cercanos y se quiso asemejar ese caso para ver su comportamiento. Es así como se notó la presencia de un eco por parte del sonido reproducido en la bocina, es decir, al momento en que el dueño habla y su voz se reproduce en el sistema, el micrófono de éste la capta también como parte del ambiente así que la envía al dueño y, por lo tanto, él puede escucharse (eco), esto se debe a que la aplicación

utilizada está configurada para poder escuchar los sonidos del ambiente lo mayor posible, debido a que se le dio más peso a poder escuchar los sonidos del entorno de la mascota, por lo que el escucharse a sí mismo el dueño en pequeñas frases o comandos, posiblemente no resulte ser algo totalmente molesto.

Por otro lado, para la transmisión de video desde el sistema se utilizó la aplicación libre conocida como *MJPG-Streamer*, la cual se encarga de copiar y transmitir una secuencia de imágenes en formato *JPEG* obtenidas desde una *webcam* dentro de una red hacia distintos tipos de visualizadores como son *Google Chrome*, *Mozilla Firefox*, *Safari* entre otros con la capacidad de recibir la transmisión de *MJPEG* [457].

El *MJPEG* se encarga de comprimir videos, al codificar cada cuadro del video como una imagen *JPEG*, por lo tanto, trata al video como una secuencia de imágenes estáticas e independientes [451]. Este método es utilizado por cámaras *IP*, así como *webcams*, por lo cual es apto para su uso en el sistema [458].



**Captura de imágenes
en formato *JPEG***



**Se transmite como una
secuencia de imágenes
(*MJPEG*)**

Figura 3.73 Transmisión de una secuencia de imágenes *JPEG* como video [459].

Además, el uso de *MJPG-Streamer* permite contar con una página web ya implementada durante su instalación por donde se puede acceder al reproductor de la transmisión en tiempo real en diferentes navegadores (compatible experimentalmente con *Google Chrome*, *Firefox* y *Safari*), como también tomar fotografías o modificar los ajustes de la imagen de la *webcam*.

Como fue para *Mumble*, se requiere descargar los archivos necesarios para su compilación e instalación, y una vez realizado esto, para comenzar la transmisión, es necesario especificar en la línea de comando para su arranque el dispositivo de captura de video (*webcam*), la resolución del video (1280 x 720 píxeles), la frecuencia de la imagen (30 [fps]), si será necesario establecer un usuario y una contraseña (por el momento no) y el puerto de transmisión de la información.

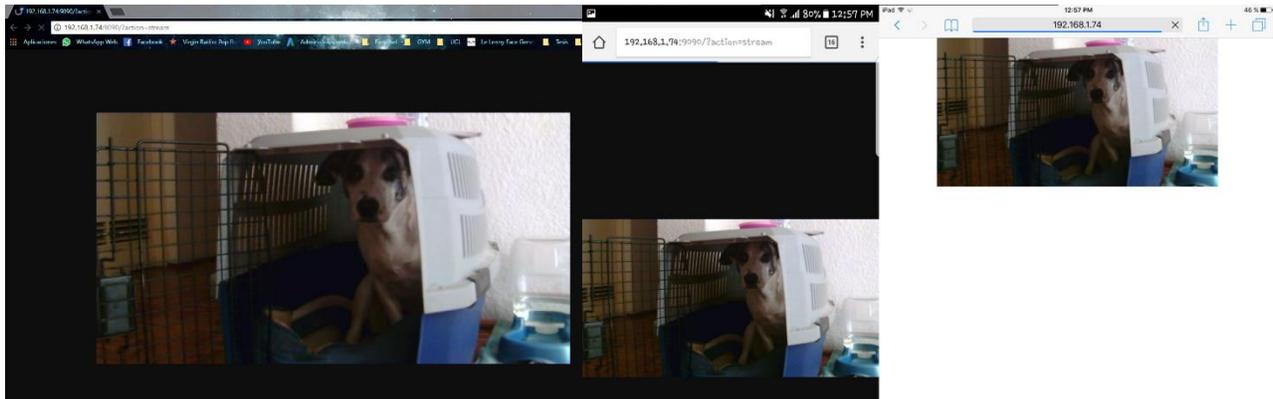


Figura 3.74 Transmisión de video desde diferentes navegadores en PC, celular y iPad.

Como ya se mencionó, es posible “capturar” fotografías del video en el momento que se especifique por medio del reproductor de *MJPEG-Streamer*, lo cual sucede al extraer en el momento solicitado el cuadro de imagen de la secuencia de video y se presenta como una fotografía.

Para las pruebas realizadas con *MJPEG-Streamer*, se tomó el tiempo en el que una cierta acción, como abrir y cerrar el puño, tardaba desde que era realizada hasta que sucedía en la transmisión. De igual forma como para *Mumble*, esta prueba fue realizada en una habitación apartada a la misma distancia ya mencionada, con el fin de poner a prueba su funcionamiento cuando se encuentre lo más alejado posible de la fuente de internet.

Las pruebas mostraron que para una resolución de 1280 x 720 píxeles a 30 [fps], se presentaba en promedio un retraso de aproximadamente 1.2 [s], lo cual implicaría un problema de desfase entre el audio y video cuando se tenga activo tanto el *Mumble* como la transmisión en vivo. Por lo que se redujo experimentalmente la resolución hasta llegar a 544 x 306 píxeles, donde se obtuvo un retraso muy próximo al del audio, es decir, aproximadamente 4 [ms], además tanto el video y el sonido proveniente de *Mumble* se encontraban en plena sincronía durante la prueba, en diferencia con las demás resoluciones en donde se podía ver un pequeño desfase que aumentaba progresivamente hasta la resolución máxima probada.

Lo anterior se debe a que, a una resolución mayor, más grande será el peso de las imágenes hacia internet, por lo que se necesita un mayor tiempo de procesamiento de la imagen y posteriormente su transmisión por internet. Sin embargo, el reducir su resolución no significa que no podamos ver lo que pasa; sí se cede en cuanto a la definición y el tamaño, pero no al punto de no poder distinguir entre objetos y lo que sucede alrededor, es decir, lo que se sacrifica es para poder tener una transmisión en tiempo real y ver qué es lo que sucede todo el tiempo que la cámara esté activa, así no se pierden detalles de acontecimientos. Cabe mencionar en este punto que, al tener un menor retraso en cuanto al video, será más fácil sincronizarlo con el audio, ya que de este último no se presenta un retraso alto.

Como se puede observar tanto en la imagen 3.75 y 3.76, la diferencia entre ambas resoluciones no imposibilita en lo absoluto observar a la mascota y a su ambiente, así como distinguir lo que hay a su alrededor y la actividad que realice la mascota.



Figura 3.75. Comparación de resolución de la *webcam*.



Figura 3.76. Comparación de resolución de la *webcam* con la mascota.

Para establecer el tamaño del video a transmitir se toman en cuenta la relación de aspecto en las pantallas, es decir, la proporción entre el ancho y la altura de una imagen que es de acuerdo con dónde será visualizada, Por lo tanto, para pantallas actuales (llamadas pantallas anchas o panorámicas) tanto de computadoras o dispositivos móviles se tiene la proporción 16:9, lo que implica que la imagen se vea más ancha y menos alta [460-461].



Figura 3.77. Relación de aspectos en diferentes pantallas [462]

Para que el video pueda ser visto en esas proporciones se buscó cuál sería un tamaño que pudiera cubrir la relación 16:9 y que no fuera tan pesado para poder ser transmitido en tiempo real. Fue así como se llegó a los valores de 544 x 306 píxeles, los cuales se ajustan a ese tamaño y permiten la transmisión en vivo sin retrasos considerables [463-464].

Por otro lado, se observó que mientras más cerca del módem se encuentre el dispositivo, mejor señal se tiene de *Wi-Fi* y, por lo tanto, es posible utilizar la resolución de 1280 x 720 píxeles para una transmisión en tiempo real. Sin embargo, como se busca que aún lejos del módem se vea el video sin retraso o pausas, se escoge una resolución menor para asegurar la transmisión sin retrasos, es decir, a 544 x 306 píxeles; todas las medidas anteriores están dentro de la relación 16:9. En las pruebas realizadas, no se pudo evitar que en ciertos momentos que se tuviera un ligero retraso en la imagen, pero después de muy poco tiempo se volvía a estabilizar la imagen, así como ocurre con el sonido.

Sin embargo, hasta el momento, la conexión que se ha hecho tanto para *Mumble* como para *MJPEG-Streamer* entre la *Raspberry Pi* y una computadora o un celular ha sido de manera local, es decir, dentro de la misma red y con la misma señal *Wi-Fi*. Esto se logró al utilizar la *IP* de la *Raspberry Pi* y los diferentes puertos definidos para cada aplicación, como se puede observar en las imágenes 3.71, 3.72 y 3.74. Sin embargo, como se busca el acceso a esta información de manera remota, será necesario pasar de una *IP* local o privada a una *IP* global o pública, y poder acceder a la información en la Internet por medio de un *Port Forwarding*.

La internet se considera como una mega red de redes (*LAN*, redes de área local o *WAN*, redes de área amplia), constituida por una vasta cantidad de computadoras y dispositivos conectados entre sí, pero distanciados unos de otros, que funge como medio para enviar, acumular y recibir información [465-466].

Entonces, para establecer la comunicación entre computadoras y dispositivos es necesario un conjunto de protocolos (convenciones y procedimientos para la codificación de la información y su envío) denominado *TCP/IP* (protocolo de control de transmisión y protocolo de internet) [466].

La información que se envía es dividida en paquetes de datos (datagramas) para hacer más rápido el recorrido [466]. Por lo tanto, el *TCP*, se encargará de dividir la información en paquetes al recibirla de la dirección de origen y cuando sea enviada y llegue al destino, el mismo *TCP* se encargará de ordenar y así garantizar que llegará correctamente. Por su parte, el *IP* se encarga de determinar el origen y el destino de la información durante este proceso [465-467].

Por otra parte, la dirección *IP* es el identificador o nombre que se le da a cada computadora o equipo conectado a una red y a cada red que utilice el protocolo *IP*, para saber el origen y el destino de los datos enviados [466]. Este identificador (dirección) se encuentra conformado por una secuencia de cuatro números enteros entre 0 y 255 separados por puntos [467-469].

El encargado de asignar y almacena las diferentes *IP* a cada dispositivo dentro de una red es el *Router* (direccionador), el cual lo realiza conforme éstos se conecten. Sin embargo, la *IP* que es asignada a cada dispositivo puede llegar a cambiar cada que éste se conecte y desconecte. Lo

anterior se debe a que la dirección *IP* es dinámica, y asignada por un servidor *DHCP* (protocolo de control dinámico de anfitrión) implementado por el direccionador; este protocolo asigna de manera automática todas las direcciones dinámicas para que un dispositivo se pueda conectar a internet, para evitar que dos dispositivos conectados a la misma red puedan tener una misma *IP* y entrar en conflicto de direccionamiento [467-468, 470].

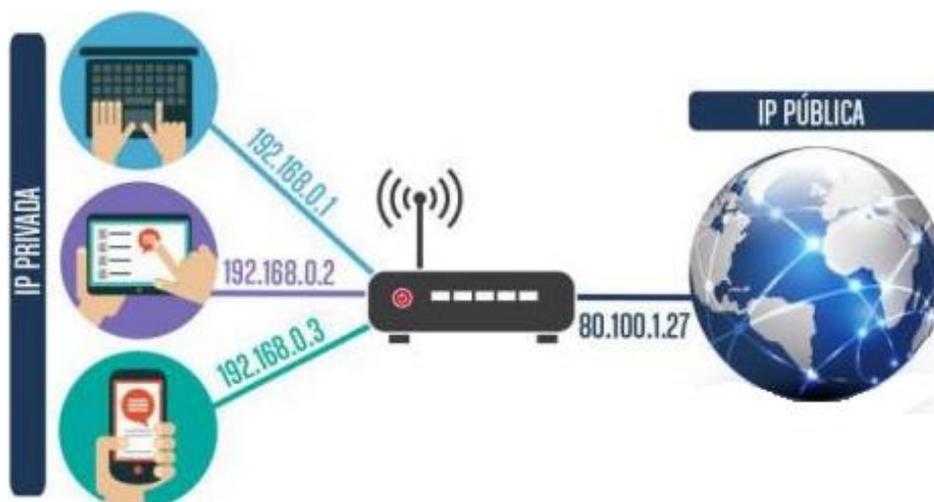


Figura 3.78. Tipos y asignación de direcciones *IP* [471]

Si se desea es posible establecer una *IP* estática para cada dispositivo que se conecte a la red, es decir, se le asigna una *IP* que nunca cambia cuando se conecta o desconecta un dispositivo a la misma red. Esto se logra al conocer la dirección *MAC* del dispositivo -número hexadecimal asignado a la tarjeta o dispositivo de red por el fabricante- que es diferente y único para cada dispositivo [468, 470, 472-473].

Si bien el servidor *DHCP* asigna direcciones *IP*, éstas pueden mantenerse para los dispositivos, es decir, el servidor puede recordar la dirección *IP* asignada a una dirección *MAC* y si no se desconecta el dispositivo de la red, el servidor no liberará su dirección, aun cuando se desconecte hay un plazo para conservar la misma *IP* que puede ser establecido de fábrica o ser modificado por el usuario. Es por ello que existe la posibilidad de que los dispositivos puedan mantener la *IP* dinámica asignada; esto cambiará solo si el servidor *DHCP* se desconecta (cuando el direccionador se apaga), ya que vuelve a asignar direcciones y pueden no coincidir con las anteriores [474]

Con el fin de evitar que la *IP* dentro de la red local de la *Raspberry Pi* cambie y se asegure que sea la misma entre cada sesión del desarrollo del proyecto, como también durante su uso en la operación final, si se conoce la dirección *MAC* de la *Raspberry Pi* (que se puede hacer al obtener la información de la tarjeta de red desde la terminal) [475] se puede acceder a la configuración del servidor *DHCP* a través de la interfaz del direccionador [473-474], en donde es posible ingresar la dirección *MAC* a la que se le requiere reservar una dirección *IP* estática como se

puede observar en la figura 3.79. Esta *IP* es la misma que se utilizó durante la configuración tanto de *Mumble* como de *MJPG-Streamer*.

Terminal Óptica

Red > DHCP

Configurar a modo bridge

Habilitar modo Bridge

Puerto Ethernet 1

Puerto Ethernet 2

Puerto Ethernet 3

Puerto Ethernet 4

Dirección IP

Máscara de Subred

DHCP Habilitado

Dirección IP de Inicial de DHCP

Dirección IP Final de DHCP

Tiempo de Liberación de DHCP (2 - 129.600 minutos)

Grupo de Direcciones MAC

Grupo de Direcciones IP

Grupo de Direcciones MAC	Grupo de Direcciones IP	Borrar
b8:27:eb:62:80:31	192.168.1.74	<input type="button" value="Borrar"/>

Figura 3.79. Asignación de *IP* estática a la *Raspberry Pi*.

Por otro lado, también al estar la red local conectada a internet, ésta cuenta con una dirección *IP* que la identifica de otras redes. De nueva cuenta esta *IP* puede ser dinámica o estática según el servicio de internet con el que se cuente, sin embargo, lo más común para redes domésticas es la *IP* dinámica. Por lo tanto, esta *IP* puede cambiar sin tenerlo en cuenta de manera diaria, semanalmente e incluso mensualmente, o cuando se apague o desconecte el direccionador [468].

Esto abre las puertas a otros dos tipos de direcciones *IP*, por un lado, la *IP* pública que se refiere a la dirección *IP* disponible para el uso de cualquier dispositivo en la internet, y por el otro lado la *IP* privada, la cual es una dirección reservada para uso local (*LAN*) [467]. Esto se ejemplifica en la figura 3.78, en donde se tienen los dispositivos conectados a una red local con una *IP* privada del lado izquierdo, mientras que del lado derecho se tiene la *IP* pública que identifica a los dispositivos conectados dentro de la red local a la internet.

Con lo anterior, se logró identificar a la *Raspberry Pi* y por lo tanto al sistema dentro de la red local, sin embargo, queda ahora definir cómo será que la información que de ésta salga y entre dentro de la red local y a través de internet.

Como ya se mencionó, es por medio de la dirección *IP* donde se especifica a qué red o dispositivo se envía o se recibe información, sin embargo, una vez que ésta llega a su destino, es necesario conocer a que programa o proceso se debe entregar. Lo anterior se especifica por medio del uso de puertos.

Un puerto, que es un número que va del 0 al 65535, donde los primeros 1023 son reservados para el sistema operativo y diferentes protocolos, permite identificar el proceso o aplicación al que se debe entregar o por la que sale la información dentro del dispositivo con un protocolo *TCP/IP*; cada direccionador cuenta con puertos que pueden ser asignados a un dispositivo único a través de su *IP* una vez que sea fija dentro de una red. Lo anterior permite que diversos programas puedan trabajar de manera paralela al recibir y enviar información a través de la internet, sin embargo, para poder direccionar correctamente la información a cada uno de éstos es necesario contar con una puerta abierta (puerto) específica [470, 473, 476].

Como se comentó anteriormente tanto para *Mumble* como para el *MJPG-Streamer*, se definieron los puertos por donde saldrá (y en caso de ser necesario entrar) información para estas aplicaciones. Por lo tanto, para poder acceder a la información que proporcionan estas aplicaciones, es necesario, para *MJPG-Streamer* ingresar con la dirección *IP* del sistema -la dirección *IP* estática de la *Raspberry Pi*- y después de dos puntos ingresar el puerto configurado en un navegador de internet, o indicarlo por medio de la aplicación de *Mumble*, como se puede observar para ambos en la figura 3.80 subrayados con rojo.

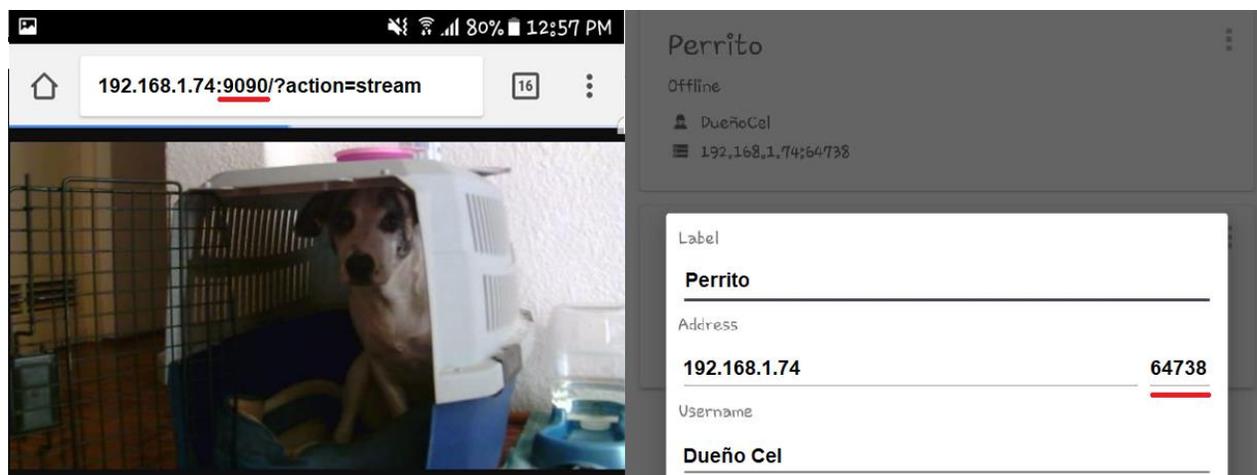


Figura 3.80. Acceso a *Mumble* y *MJPG-Streamer* por medio de la dirección *IP* y puertos.

Aunque se puede acceder al audio y video del sistema por medio de la *IP* fija y los puertos establecidos, como se ve en la figura 3.80, es importante mencionar que solamente es posible acceder de esta forma dentro de la red local, es decir, si nos encontramos fuera de la red en la que se encuentra conectada la *Raspberry Pi*, no se podrá acceder a la información.

Por lo tanto, se requiere hacer uso del *port forwarding* o redireccionamiento de puertos, que es una manera para acceder a un dispositivo conectado a una red local desde cualquier otra red externa al redireccionar su puerto del *router* a uno de la dirección *IP* pública, inaccesible para usuarios externos con la configuración predeterminada del direccionador [477-479]. Una vez hecho el redireccionamiento de puerto se dice que se tiene un puerto abierto, por lo tanto, solo quien conozca la dirección *IP* de la red local y el número de puerto asignado a la aplicación de un dispositivo podrá enviar información y recibirla [478].

El protocolo *TCP/IP* utilizado para entregar información a una red externa y recibir datagramas desde ella identifica a través de los puertos la aplicación con la cual se hace este intercambio [476, 480].

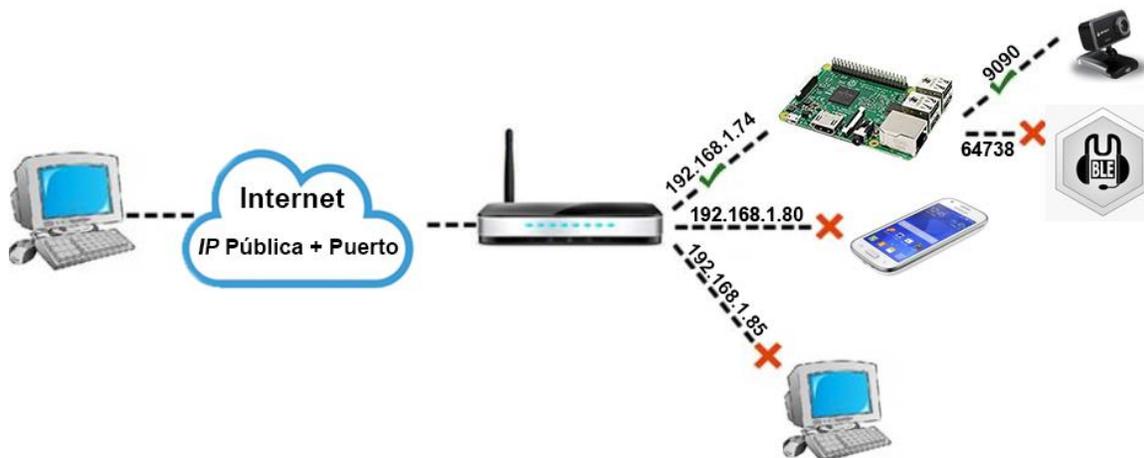


Figura 3.81. Acceso a información de una aplicación desde una red externa [291, 455, 481-484]

Como se puede observar en la figura 3.81, un usuario conectado desde una red externa busca acceder, por medio de la internet, a la información que proviene del *MJPEG-Streamer* (transmisión de video en tiempo real). Por lo tanto, se comunica por medio de la dirección *IP* pública de la red e indica además el puerto al que fue redireccionado el puerto de la aplicación dentro de la *Raspberry Pi* para el intercambio de datos.

De nueva cuenta, el redireccionamiento de puertos se realiza por medio de la interfaz del direccionador o *router*, específicamente en la sección de "*Port Forwarding*", como se muestra en la imagen 3.82. En ella se tuvo que especificar los puertos *LAN*, es decir, los puertos utilizados por las aplicaciones de los dispositivos dentro de la red local, en este caso los ya mencionados y mostrados en la imagen 3.80. Después, se indicaron los puertos *WAN*, es decir, los puertos de la red pública que son los que utilizarán los dispositivos externos a la red para poder acceder a la información de los dispositivos. Es posible indicar un rango de puertos *WAN* para este redireccionamiento, sin embargo, solamente se utilizó uno para el sistema. Finalmente, se indica también la dirección *IP* que utiliza el puerto *LAN*, y que en este caso es la de la *Raspberry Pi*, como también el protocolo que se utiliza el cual fue *TCP*.

De esta forma, desde cualquier dispositivo como una computadora o celular, se puede recibir y enviar información a las aplicaciones de la *Raspberry Pi* al ingresar en un navegador la dirección *IP* pública de la red y el puerto ya redireccionado, lo cual el *router* lo interpreta y direcciona la petición a la dirección *IP* del sistema y así a la aplicación deseada, la cual puede ser *Mumble* o el *MJPEG-Streamer*.

Nombre del Dispositivo	Dirección IP	Nombre de la Aplicación	Rango de Puertos WAN	Rango de Puertos LAN	Borrar
raspberrypi	192.168.1.74	NA	TCP:9120-9120	TCP:9090	Borrar
raspberrypi	192.168.1.74	NA	TCP:65120-65120	TCP:64738	Borrar

Figura 3.82. Redireccionamiento de puertos desde la interfaz del *router*.

Como ya se mencionó anteriormente las direcciones *IP* públicas, también son algunas dinámicas, como otras estáticas. Como las direcciones *IP* públicas estáticas no son asignadas a las redes domésticas si no es contratada por medio del *ISP (Internet Service Provider)*, es decir, del proveedor de internet [485-486]. Por lo tanto, la dirección *IP* pública de la red en la que se encontrará el sistema podrá cambiar sin previo aviso, lo cual dificultará poder establecer una conexión con el sistema de manera remota fácilmente, ya que se tendrá que revisar constantemente cual es la dirección *IP* pública.

Otro obstáculo para una conexión sencilla es que la dirección *IP* se encuentra conformada de números, que en ciertos casos puede resultar difícil recordar. Para ello, existe una forma más fácil para identificar una dirección *IP* al utilizar un nombre a través de un servidor del sistema de nombre de dominio o *DNS (Domain Name System)* [466-467]. Estos nombres sustituyen el uso de números, y son almacenados en los servidores de *DNS*. Los nombres de dominio son aquellos que, por ejemplo, de manera cotidiana son utilizados para poder acceder a las diferentes páginas web que son alojadas en computadoras en distintas redes.

Para evitar lo anterior y además poder utilizar una dirección que sea más fácil de recordar que los números de la *IP*, se utilizó el servicio de *DNS* dinámico llamado *No-IP* el cual asigna un nombre de dominio a la dirección *IP* dinámica de la red (dirección *IP* pública) en donde se encontrará el sistema. Para ello fue necesario instalar la aplicación de *No-IP* en la *Raspberry Pi* [487]. Esta aplicación lo que hace es que cada vez que se inicie el sistema, actualiza la dirección *IP* de la red en los servidores de *No-IP*, de manera que el nombre de dominio -y que en este caso

se utilizó `perritoespia.sytes.net`- sea identificado con la dirección *IP* de la red en el momento que inicie el funcionamiento del sistema. La dirección *IP* es configurada al ingresar durante la instalación en la *Raspberry Pi* tanto el usuario y contraseña creada en el sitio, como también el nombre de dominio establecido en su sitio en la internet.

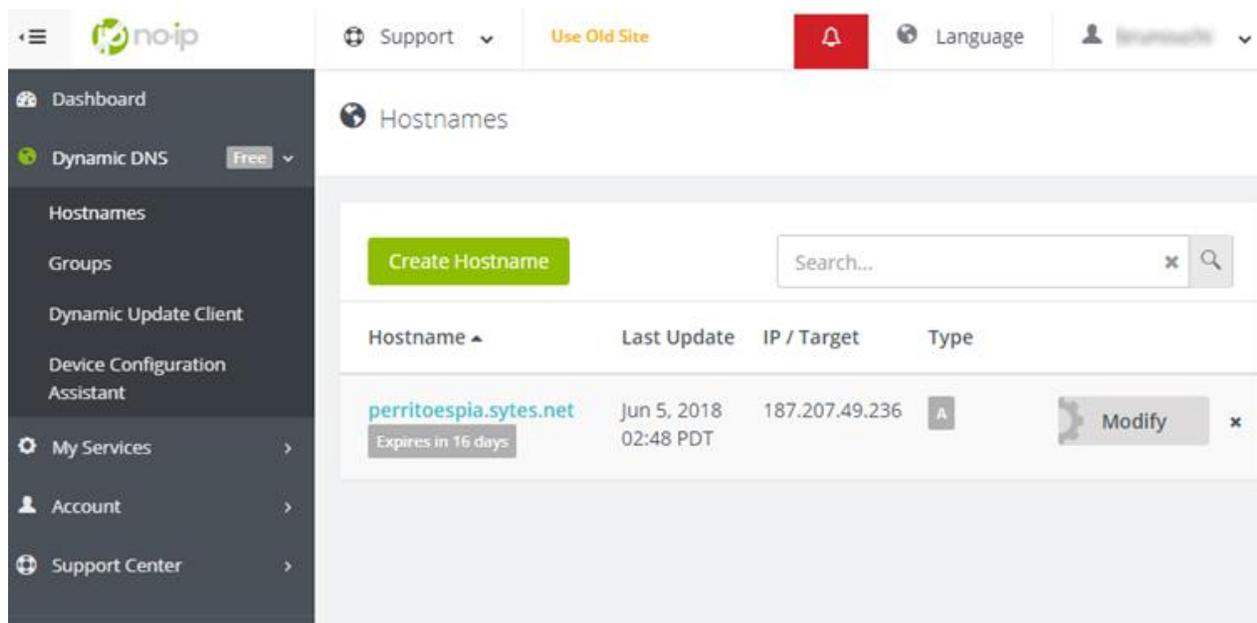


Figura 3.83. Panel de control de *No-IP* donde se muestra el nombre y la *IP* de la red.

En la figura 3.83 sobre el panel de control de *No-IP*, se puede observar el nombre seleccionado como también la dirección *IP* de la red en el momento que fue tomada la captura, la cual cambiará en un determinado momento, pero será actualizada y mostrada en el panel de control cuando se actualice durante el arranque del programa del proyecto. Sin embargo, el servicio ofrecido por *No-IP*, es decir, el nombre seleccionado caduca cada mes, aunque es posible renovarlo constantemente.

Finalmente, de esta forma es posible acceder de manera remota sin ningún impedimento a la transmisión de audio y video emitida por el sistema desde cualquier dispositivo como computadora o celular, al especificar para audio y video la dirección `perritoespia.sytes.net` con puertos 65120 y 9120 respectivamente, como se puede observar en la figura 3.84.

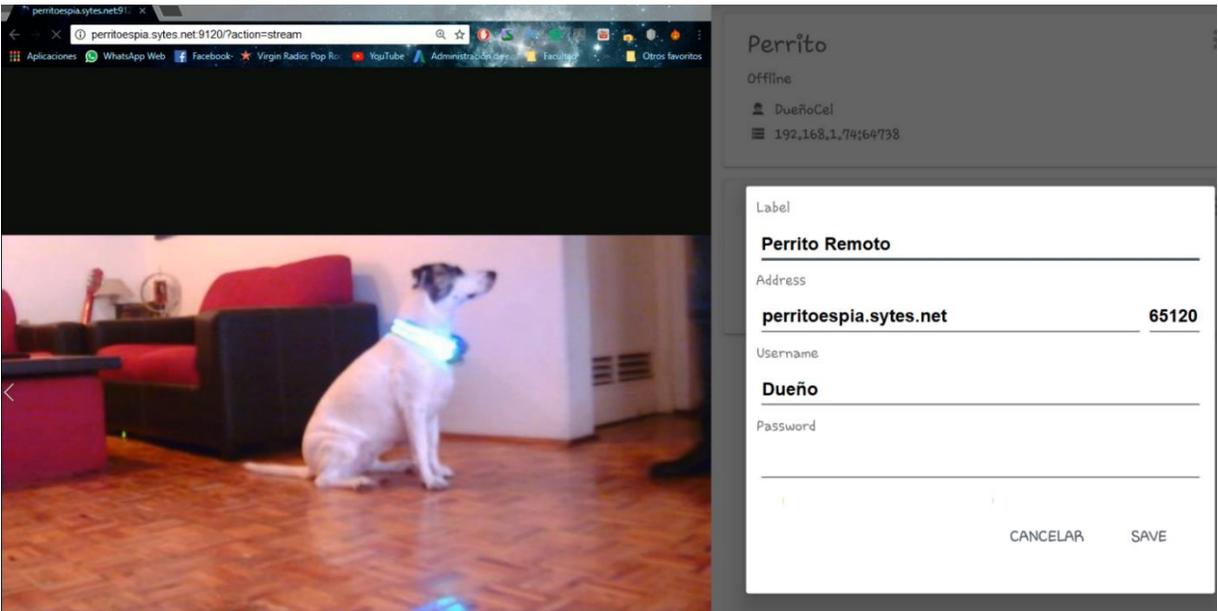


Figura 3.84. Acceso a la transmisión de video y audio del sistema de manera remota.

III.9 Subsistema de distribución de energía

Todo el sistema necesitará una fuente de alimentación que permita a todos los subsistemas poder desarrollar sus funciones. Para ello, se propuso el empleo de una *powerbank*, principalmente porque existe una gran variedad de modelos y marcas de estos dispositivos con diferentes capacidades energéticas. Además, la mayoría ofrecen desde uno o dos puertos *USB* por donde se conecta los cables para alimentar una diversidad de dispositivos.

Básicamente una *powerbank* -también conocida como banco de energía- es un dispositivo que en su interior contiene un grupo de baterías recargables del tipo *Li-ion*. La ventaja con este dispositivo es que ya cuenta con el circuito necesario para poder realizar la carga de la batería con cualquier cargador con salida *Micro USB B* que alimente 5 [V] con máximo 2 [A], características normales de la mayoría de los celulares, a excepción de los *iPhone*.

La batería utilizada para el sistema de distribución de energía fue la *powerbank* de la empresa *Adata* modelo *PT100* que se muestra en la figura 3.59. Esta *powerbank* tiene una carga máxima de 10000 [mAh] con dos salidas de voltaje, una de 5 [V] a 1 [A] y la segunda de 5 [V] a 2.1 [A]. Esta pila es ideal para poder alimentar a la *Raspberry Pi* ya que, por el consumo de energía de la tarjeta y por todo el consumo energético para controlar los diferentes subsistemas, se necesitará utilizar al menos más de 1.8 [A] para poder evitar que haya fallas en el funcionamiento o que se apague el sistema de control [289].



Figura 3.85. Powerbank de Adata modelo PT100 [488] y el contenido de su interior.

La batería se escogió al estar dentro de las que cuentan con mayor capacidad energética y aun así no ocuparía un gran espacio dentro del dispositivo ni aumentaría significativamente el peso del sistema, que de ser el caso podría desembocar en el sacrificio de algún otro elemento o en sus dimensiones (p.ej. el sistema dosificador), como determinar que las medidas de la carcasa aumentaran. Así mismo, se verá su rendimiento en la fase de pruebas para determinar si es suficiente o se necesita una con mayor capacidad al alimentar todos los demás sistemas.

Sin embargo, para que la batería pueda ser utilizada dentro del sistema, fue necesario desmontar el contenido de la carcasa, ya que por la forma que ésta tenía se podría ocupar espacio a lo largo del sistema. Además, el desmontarla permitiría poder posicionar el circuito de carga a una altura dentro del sistema que fuera accesible para poder realizar la carga de las baterías, como también para realizar las extensiones *USB* que alimentarían tanto a la *Raspberry Pi* como a otros subsistemas.

Para los cuatro motorreductores utilizados en el sistema de movimiento del proyecto, al ser éstos de 8 [V], se necesitó implementar un pequeño módulo para poder amplificar el voltaje de 5 [V] al ser necesario para el correcto funcionamiento de los motores. Para ello se utilizó el convertidor de voltaje de corriente directa de 2 [A] *MT3608* que aumenta el voltaje de entrada de 2 [V]-24 [V] a un voltaje de salida de 5 [V] hasta 28 [V], para cada par de motorreductores utilizados. Estos módulos a su vez son los utilizados para alimentar al *driver L298N* para la etapa de potencia y control de los motores, como ya fue explicado en el apartado III.3 de sistema de movimiento.

En cuanto al collar que la mascota utilizará, se optó de igual forma una *powerbank*, pero de menor capacidad energética, debido a que el consumo es menor por parte de los *LEDs* y los *Beacons* que estarán incorporados. En este caso se prefirió utilizar la *powerbank* de la marca *Techlink* modelo *ReCharge 3400*, como se muestra en la figura 3.85, que cuenta con una carga máxima de 3400 [mAh] con una salida de 5 [V] a 1 [A], suficiente para alimentar tanto los *Beacons* como los *LEDs* del collar. El peso de la batería es de 59 [g], lo que es importante mencionar ya que al estar en el cuello de la mascota no debe presentarle algún problema. El collar *Kyon*, mencionado en el estado de la técnica, tiene un peso de 60 [g], por lo que se asemeja el peso de la batería que al sumarle los collares no incrementa de manera considerable.



Figura 3.86. Powerbank de Techlink modelo RC2600 [489].

De nuevo, esta batería también se desmontó para poder colocar tanto el circuito para la carga y la batería por separado y poder acomodar de la mejor manera los elementos electrónicos sobre el collar.

Por otro lado, para poder controlar de manera adecuada los elementos de los sistemas de audio e iluminación, como también poderlos alimentar mediante la batería del sistema y no por parte de la *Raspberry Pi* lo cual podría dañarla, se emplearon relevadores de 5 [V] a 10 [A] con una corriente de activación de la bobina de 72 [mA] [490-491]. El accionamiento del relevador se hizo mediante un transistor NPN modelo 2N2222 con una resistencia en la base para limitar la corriente que entrega la *Raspberry Pi* y un diodo para proteger al transistor de los picos de voltaje generados por la carga inductiva de la bobina al desactivarse.

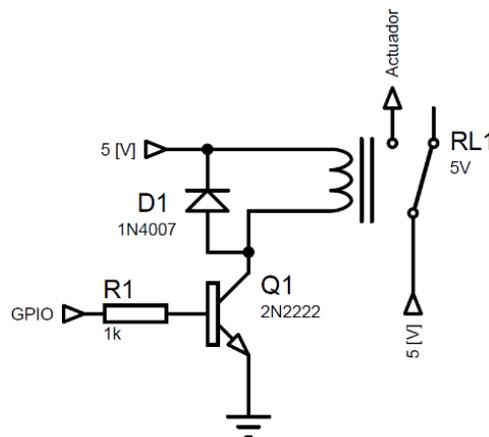


Figura 3.87. Circuito del relevador utilizado en el sistema de iluminación y de audio.

Los *Beacons*, ubicados en el collar que utilizará la mascota durante el periodo de trabajo del sistema, necesitan una alimentación de 3.3 [V], por lo que es necesario implementar un regulador de voltaje que permita obtener el voltaje desdiseñado a partir de un voltaje de alimentación de 5 [V] que será proporcionado por la *powerbank* con la que contará el collar. Para esto se optó por utilizar el regulador ajustable LM317 de voltaje de corriente directa, ya que permite regular voltajes desde 3 [V] hasta 40 [V] a 1.25 [V] hasta 37 [V] capaz de entregar una corriente de 1.5 [A] a su salida.

Para su implementación se utilizó la hoja de datos [492] del integrado en donde se propone un diagrama de conexiones básico para la regulación de voltaje, así mismo se utilizaron las fórmulas para el cálculo de las resistencias para el ajuste del voltaje de salida deseado. Para ello se utilizan los valores comerciales de resistencias de 330 $[\Omega]$ y dos resistencias en paralelo de 1 $[k\Omega]$. Por otro lado, para los capacitores recomendados para mejorar la estabilidad y evitar variaciones en la salida de voltaje y sus valores, se determinaron a partir de la hoja de datos y fuentes consultadas [492-495].

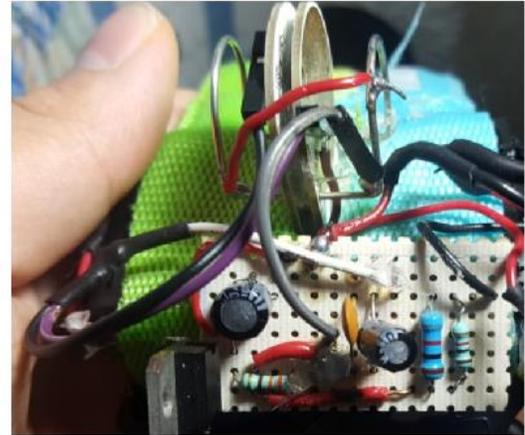
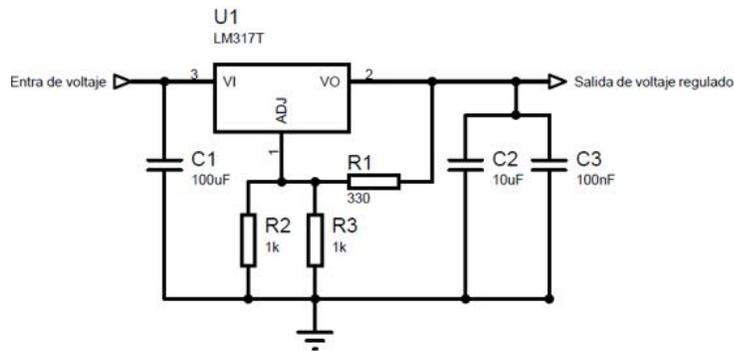


Figura 3.88. Circuito planteado para el regulador de voltaje LM317 que proporcione 3.3 [V].

Además, se realizaron las conexiones necesarias para la alimentación de los *LEDs* de los collares a través de esta *Powerbank* en el collar, al realizar su conexión de manera paralela en la entrada de alimentación como se muestra en la figura 3.89, junto con una resistencia de 50 $[\Omega]$ necesaria para limitar la corriente proveniente de la fuente.

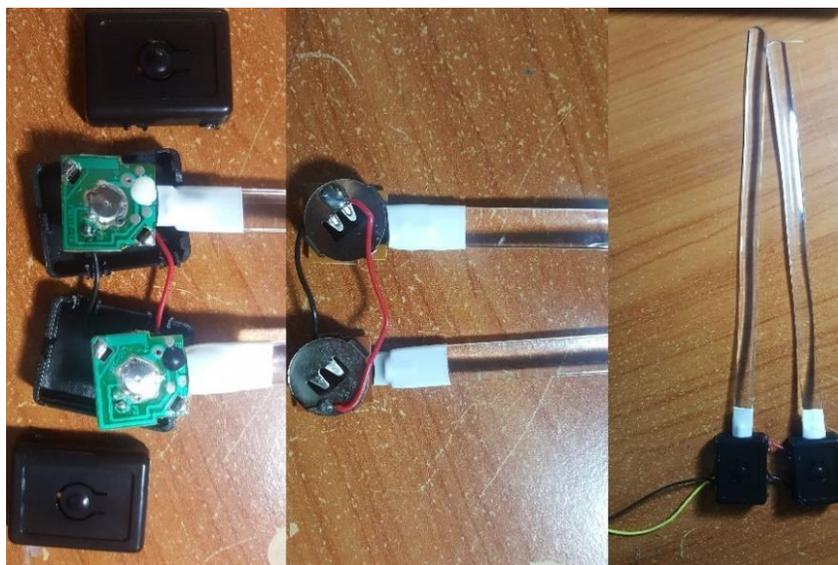


Figura 3.89. Conexiones internas del collar de *LEDs*.

Finalmente, al tener en cuenta todos los elementos que integrarán a los diferentes subsistemas del proyecto de acuerdo con el concepto seleccionado, se presentará en la siguiente tabla comparativa de las especificaciones objetivo y finales del sistema.

Especificación	Valor objetivo	Valor final	Unidades
Retraso en la comunicación	<0.1	0.004	[s]
Memoria de almacenamiento	64	64	[GB]
Periodo de funcionamiento continuo	8	6*	[h]
Almacenamiento de Premios	5	5	Porciones
Distancia de separación con la mascota	1-2	1-1.5	[m]
Sonidos pregrabados	10	12	Sonidos
Distancia de detección de obstáculos	20	20	[cm]
Tamaño de la mascota	Todas	Mediana	Talla
Dimensión del sistema (Ancho x Largo x Alto)	20x30x50	24x30x50	[cm]
Velocidad del sistema	0.5	0.44	[m/s]
Dimensiones máximas de los premios (Ancho x Largo x Alto)	<3x4x2	Triangulo de base y altura 5 con ancho 2.7	[cm]
Alimentación para carga	5,2	5,2.1	[V], [A]
Capacidad energética de la pila	20000	10000	[mAh]
Voltaje	5	5	[V]
Área de trabajo	200	70**	[m ²]
Tiempo de respuesta del sistema	<0.1	0.05	[s]
Tiempo de ladrido libre para perro	5	0***	[s]
Ángulo de visión	180	50	[°]
Resolución de imagen	1280x720	544x306	[p]
Frecuencia de imagen	60	30	[fps]
Potencia de sonido	<60	83	[dB]
Frecuencia de sonido	<16000	3500	[Hz]
Medios de entretenimiento	4	2	Medios
Medios para calmar a la mascota	3	2	Elementos
Medios para llamar la atención	3	2	Medios
Información vital de la mascota	2	0****	Signos
Material	Plástico	MDF	Material
Angulo de iluminación	>60	90	[°]

Tabla 3.2 Comparación de las especificaciones objetivo y finales del sistema.

*Valor obtenido al dejar los motores del sistema en movimiento constante, lo cual en un caso real ya variará de acuerdo con la actividad de la mascota debido a que pueden pasar periodos en los que la mascota descansa o se quede quieta en un mismo lugar, por lo que el sistema se encontraría detenido en una misma posición. Por otro lado, el tiempo de funcionamiento continuo del collar es de 17 [h]. De manera teórica, el tiempo de carga para el sistema y el collar debería ser de 5 [h] y 1.7 [h] respectivamente con un cargador de 5 [V] a 2 [A]; sin embargo, debido a la

pérdida de energía durante el proceso en la realidad el tiempo de carga fue de 6 [h] aproximadamente para el sistema, mientras que para el collar fue de 2 [h] aproximadamente.

**Con respecto al área de trabajo establecida en la tabla 3.1, se refiere al área del departamento donde se realizaron las pruebas, sin embargo, si se toma en cuenta que el módem se encuentre en el centro del área y sin paredes, el área de trabajo puede llegar hasta los 320 [m²], por lo que cualquier área dentro de este rango en el que se encuentre la mascota mientras el dueño no está con ella, podrá desarrollar sus funciones el sistema sin ningún problema.

***Para esta primera etapa de desarrollo del sistema, cuyo objetivo es la supervisión de la mascota al detectarla y seguirla como la interacción con ésta, no se ha incluido un sensor de ladridos cuya idea es notificar al dueño cuando la mascota ladre por algún suceso y el dueño acceda al sistema para visualizar la causa y tomar acciones. Por lo tanto, este punto queda a ser desarrollado en una versión mejorada del sistema y no en ésta, además de que esta necesidad no fue jerarquizada en los primeros lugares.

****Es importante mencionar que, aun cuando en la generación de conceptos se habló sobre la instrumentación del collar para poder revisar y obtener información del estado de salud de la mascota, se decidió descartar su implementación debido a que el objetivo principal era obtener un sistema capaz de supervisar e interactuar con la mascota de manera continua al encontrarse separada de su dueño. Es por lo anterior, que los esfuerzos se centraron en lograr ese objetivo y desarrollar aquellos subsistemas que permitieran la realización del mismo. A su vez, la necesidad de obtener la información de salud de la mascota no fue jerarquizada en los primeros lugares, por lo tanto, quedaría como trabajo a futuro y en una versión mejorada del sistema.

Por lo tanto, se puede concluir que los valores finales obtenidos de acuerdo a las características de cada elemento cumplen en su mayoría con los valores aceptables de las especificaciones y en algunos casos el valor ideal, e incluso se llegó a superar, y en los casos en los que se encuentra por debajo del valor ideal no afecta en el funcionamiento del sistema ni en cumplir con el objetivo principal de supervisar a la mascota y mantener una comunicación con ella, ya que las reducciones llevaron a un funcionamiento óptimo de éste.



Capítulo IV. Manufactura y ensamble

En este capítulo, se desarrollará el proceso de manufactura y ensamblaje del chasis del sistema, así como la organización de cada subsistema -comentados en el capítulo anterior- y la interconexión de ellos para presentar la configuración final del modelo funcional, previo a las pruebas de la metodología seguida. Además, se comentará como quedará el modelo final del collar que portará la mascota durante el periodo de trabajo del sistema.

En primer lugar, la configuración final del collar que utilizará la mascota para ser localizada por el sistema es la mostrada en la figura 4.1, que es con base en lo que se comentó en la sección relativa al sistema de detección y al de suministro de energía. Así, la configuración final se encuentra conformada principalmente del collar de doble color junto con la batería de la *Powerbank*, el circuito para su carga y suministro de energía, los *Beacons*, el regulador de voltaje y las cajas mostradas en la figura 3.89 para la activación de los *LEDs* del collar.



Figura 4.1 Configuración final del collar de la mascota.

Como se describió en el capítulo de detección, ya se contaba con el collar iluminado de dos colores el cual se utilizó para el desarrollo y pruebas de dicho sistema, por lo que los demás elementos se incorporaron de manera progresiva conforme se desarrollaron los demás subsistemas del proyecto. Al armar el collar con todos sus elementos se buscó no poner en contacto la parte electrónica con el pelaje o la piel de la mascota; al ser este diseño una creación sobre la marcha y al unir cada elemento conforme fue su necesidad se trató de adaptar todo a una base que fueron los dos collares de colores, como ya se había establecido para tener un área mayor de detección.

Además, el posicionamiento de los elementos se colocó en la sección de los broches, ya que es una sección que no está iluminada y no afecta a su aplicación, es decir, a su uso como forma de detección en visión artificial.

Finalmente, la configuración del collar recién mostrada se realizó para las pruebas de funcionamiento del sistema para esta etapa de desarrollo. Es importante mencionar que en la figura 3.12.2 se presenta un bosquejo desarrollado posteriormente de cómo se tiene pensado elaborar un segundo collar para la siguiente etapa del proyecto durante su mejoramiento a partir de los resultados obtenidos.

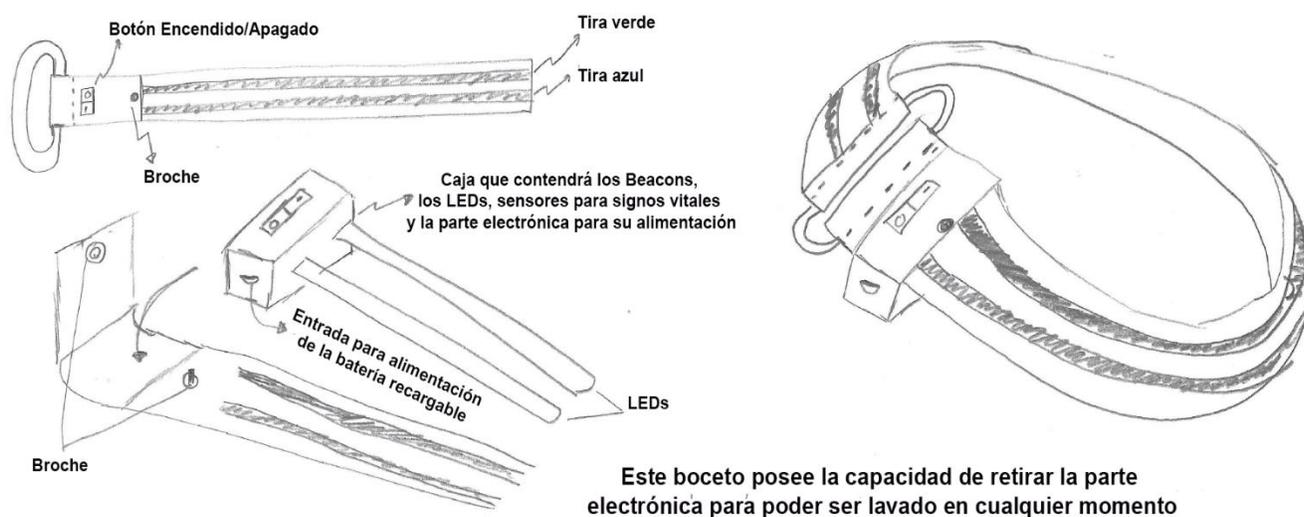


Figura 4.2 Boceto de una segunda configuración para el collar de la mascota.

En este collar, se tendrá la parte electrónica dentro de una caja de plástico, la cual servirá como protección de estos elementos. Esto permitirá poder retirar fácilmente estos elementos para que el collar, dado que estará en contacto con la mascota por largas horas y días, se pueda lavar sin dañar los elementos. Como se puede observar en la figura 4.2, esta caja de plástico se podrá montar y desmontar en un pequeño bolso cerrado con broche, y el collar será del tipo ajustable por hebilla, de manera que al adecuarse al tamaño del cuello de la mascota -sin ser muy apretado- se podrá cortar por parte del dueño las tiras plásticas por donde se presenta la iluminación de los *LEDs*. Finalmente, será de fácil acceso tanto el interruptor de los componentes, como también la entrada *microUSB* para la alimentación de la pila.

Por otro lado, de la manera en que se desarrolló el capítulo anterior, se comentó cómo se elaboraron cada uno de los subsistemas con el fin de poder corroborar su funcionamiento, con base en los objetivos y especificaciones del proyecto, por lo que en conjunto con su programación y conexión al subsistema de control -como se muestra en el apéndice IV respectivamente- pueden realizar sus diferentes funciones. Sin embargo, es necesario ahora plantear el diseño y la manufactura de una carcasa o chasis, en donde se encontrarán guardados y protegidos todos los subsistemas del proyecto, la cual también deberá permitir efectuar de manera correcta el funcionamiento de los diferentes elementos que integran a cada uno de éstos.

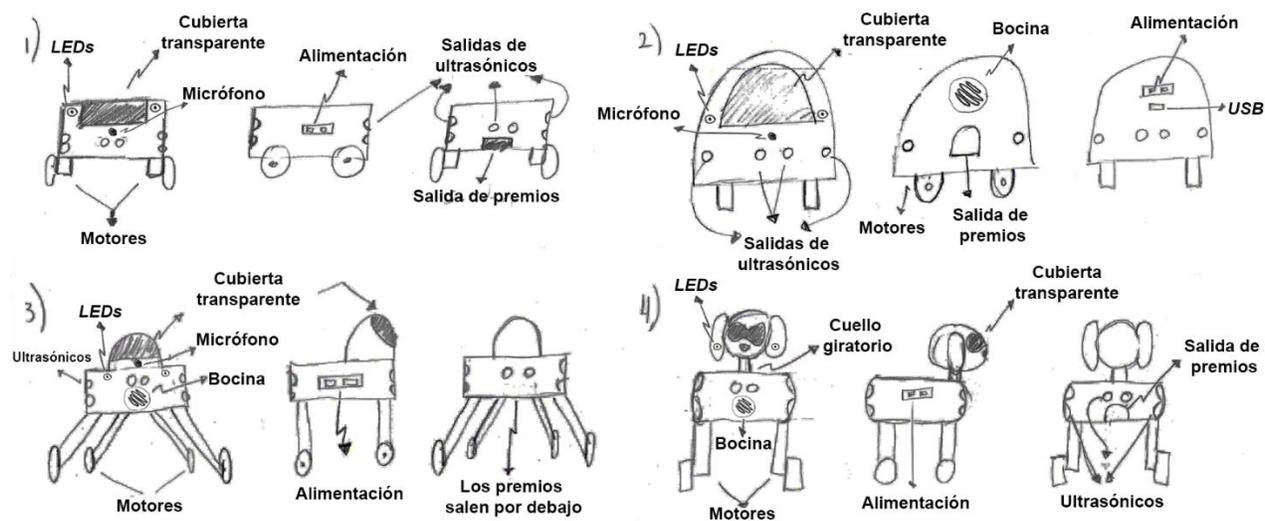


Figura 4.3 Bosquejos del chasis del sistema.

De esta forma, se establecieron varias opciones de diseño del chasis con base en el espacio que podrán ocupar los elementos que integran los subsistemas y en las necesidades para su funcionamiento. Así, tras una lluvia de ideas se obtuvieron 4 posibles opciones como se muestran en la figura 4.3.

El primer diseño se trata de un carro pequeño muy básico, que tendría todos los subsistemas dentro de un rectángulo, el cual posee ranuras de acuerdo a los elementos que deban tener visibilidad o salida al exterior, tales como los sensores ultrasónicos, el micrófono, LEDs y la bocina -esta última en la parte superior del chasis-, más la salida en la parte posterior para los premios, ranuras para la alimentación y un puerto USB -también en la parte superior-, así como una cubierta de plástico transparente donde se localizarían detrás de ésta las cámaras. En este diseño se dispuso que las llantas y los motores se encontraran unidos al chasis y así quedaría un diseño compacto. Sin embargo, haría falta dar altura a las cámaras para tener una mejor área de visión, de preferencia a la altura del cuello de la mascota. Por otro lado, con todos los elementos de los subsistemas y la circuitería, así como los tornillos y tuercas, como también su posicionamiento determinarían el tamaño tanto en largo como en ancho del rectángulo, además

de tener en cuenta que la cámara de detección -por su rotación- y el carrusel de premios son los elementos que más ocupan espacio.

El segundo bosquejo es muy parecido a la primera idea, solo que ahora la parte de arriba sería curvada y más alta, para posicionar mejor las cámaras y tener un mejor rango de visión. Asimismo, las llantas y sus motores estarían unidos al chasis y todo queda dentro de éste: los elementos de cada subsistema, así como la circuitería y los elementos de sujeción. También se propuso usar ranuras para los sensores, *LEDs*, la bocina -ahora ubicada en la parte posterior-, el micrófono y para la alimentación, así como un puerto *USB* para la descarga de información. Por ser muy parecido al primero diseño y encontrarse aún muy bajo de altura, esta opción fue descartada.

En cuanto al tercer diseño, se incluyeron unas patas que irían unidas al chasis y en su parte inferior tendrían los motores y las llantas; lo anterior proporcionaría un incremento de altura y una mejor visibilidad para las cámaras, ahora con una altura al cuello de un perro de tamaño mediano. También se contempló una cúpula con una ventana transparente para colocar las cámaras y que estuvieran protegidas. A su vez, la parte del cuerpo sería una caja donde se encontrarían los demás elementos y con ranuras para la salida de los sensores, el micrófono, *LEDs*, la bocina, la alimentación y un puerto *USB* - nuevamente en la parte superior del cuerpo. Por otro lado, para la entrega de premios se consideró que hubiera una ranura por debajo del cuerpo y por ahí cayeran. Sin embargo, el que los premios sean entregados por debajo del chasis, podría provocar que la mascota si se encuentra muy próxima, con el fin de obtenerlo, ladee o vuelque al sistema.

Por último, el cuarto diseño se imaginó más agradable en cuanto estética para las personas, al parecer un perrito y simular un amigo nuevo para la mascota, el cual se basa del anterior diseño descrito. Esta opción cuenta con una "cara" que simula a un perro donde en los ojos se tendrá una ventana de plástico protectora como en el diseño anterior, pero ahora es la cabeza que va a girar y no solo las cámaras. Además, es en las orejas donde se encontrarán ubicados los *LEDs*. Por lo tanto, la característica destacable de este diseño es que el cuello puede girar y así puede otorgarle un mejor rango de visión a las cámaras y poder rotar sin tener que moverse todo antes de tiempo. Por otro lado, también se cuenta con patas para proporcionar altura en las cuales estarán los motores y sus llantas en la base. Al igual que los demás diseños, en la caja -que sería el cuerpo- se encontraría a todos los demás elementos de los subsistemas, así como la circuitería; a su vez tendría ranuras para los sensores ultrasónicos, la bocina, dos accesos para la alimentación del sistema y descarga de archivos vía *USB* -ubicado en la parte superior-, y en la parte posterior la salida de premios.

Por lo tanto, el diseño que más agradó y que fue seleccionado por el equipo de trabajo fue este último, el cual resultó de la evolución de los diseños anteriores, y que es más atractivo visualmente. Sin embargo, con el fin de satisfacer el objetivo planteado para esta etapa de desarrollo del sistema, como también por la experiencia de manufactura del equipo de trabajo, se decidió que el chasis se desarrollara en *MDF* con corte láser, por lo que se considera el diseño seleccionado para un futuro, aunque la fabricación se hará con base en él; es decir, tendrá

ciertas modificaciones en cuanto al aspecto debido a las limitaciones de formas que posee el corte laser y el material de trabajo.

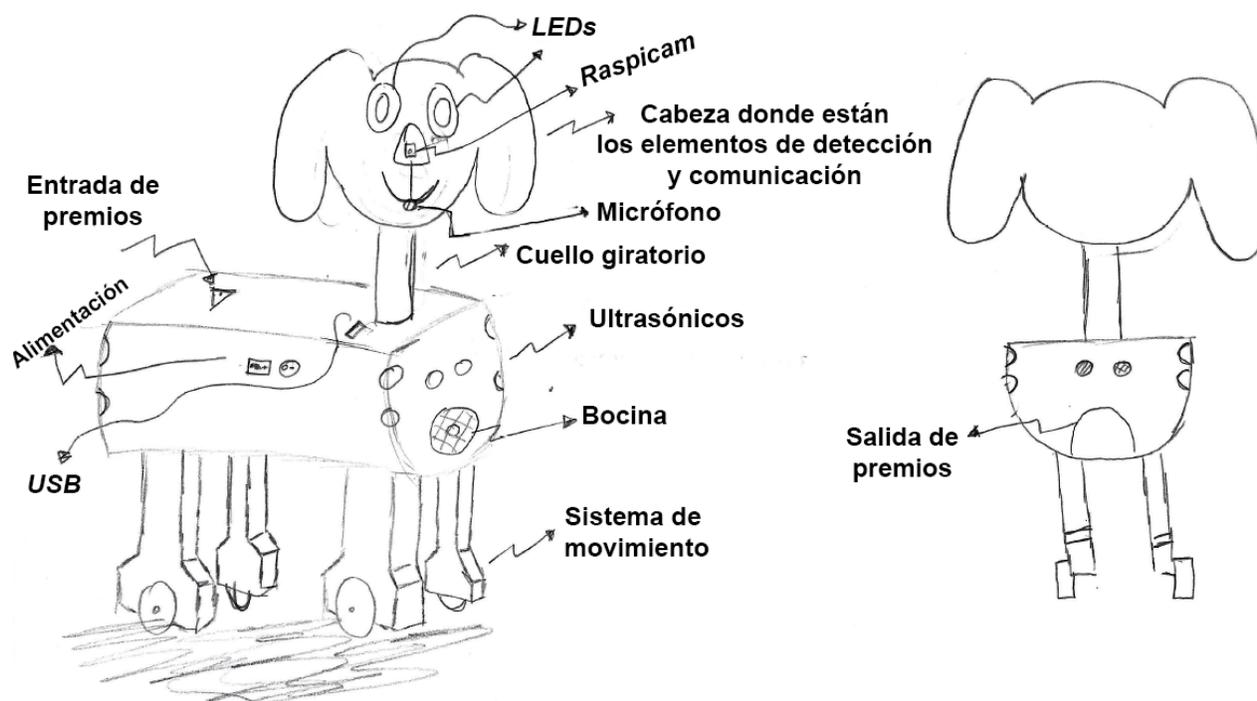


Figura 4.4. Bosquejo del diseño del chasis en *MDF* para el sistema modificado.

Así, la configuración modificada del chasis del sistema se presenta en la figura 4.4, en donde se tiene la estructura base de un chasis en forma de perrito en cuyas 4 patas se encuentra el sistema de movimiento. Por otro lado, en la cabeza, los ojos son simulados por un par de *LEDs* para el sistema de iluminación, la nariz sería la *Raspicam* y en la boca sería colocado el micrófono; en cuanto a la *webcam*, ésta también se encontraría en la cabeza para así tener una mejor visibilidad, sin embargo, por cuestiones de estética a diferencia del boceto de la figura 4.4, la *webcam* será colocada en la parte superior de la cabeza como si fuera un gorro. Finalmente, en el cuerpo de la mascota, se tendrá en cada esquina los orificios para los sensores ultrasónicos, como también en la parte anterior y posterior, donde se ubicará también la bocina y la salida de premios respectivamente. La salida *USB* se mantendrá en la parte superior del cuerpo junto con la entrada de premios, mientras que la alimentación y su interruptor en uno de sus costados.

Se buscará en el diseño seleccionado que, los elementos electrónicos que estén en el interior del cuerpo se distribuyan de la manera más adecuada para repartir el peso lo mejor posible, ya que de nuevo que ahora es el carrusel y la cabeza los elementos que más influirán en el peso; estos elementos serán acomodados en el espacio que proporciona el cuerpo del proyecto.

Por un lado, como ya se mencionó, la entrada de premios será ubicada en la parte superior, para poder introducir fácilmente de manera vertical los premios, al tener una sola entrada ya que, para

su llenado, se desplazarán los premios conforme se van introduzcan, con esto se busca que, en caso de haber uno en su interior, el sistema se desplace tantos lugares vacíos para llegar a la última posición sin premio y no tener que volver a recargar los premios ya presentes. Para la entrada, se buscará que sea igual al tamaño y forma de las secciones del carrusel, con el fin de que el usuario tenga idea del tamaño que dispone para ellos. Por lo tanto, se buscará que la tapa que cierre al sistema en esta entrada sea también de la misma forma y que no sea tan sencilla su apertura por la mascota.

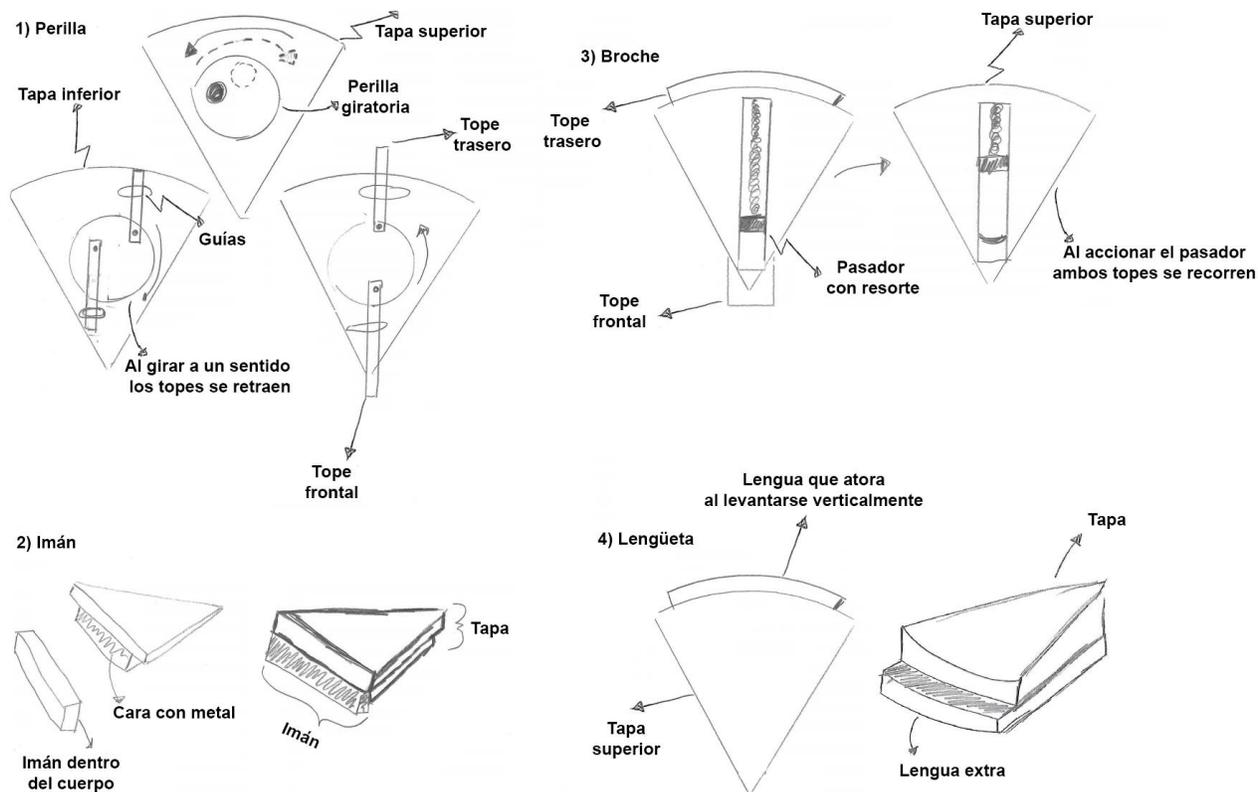


Figura 4.5. Bosquejos de diseños de posibles tapas para la entrada de premios.

Así, en la figura 4.5 se muestran varios diseños que se tuvieron para esta tapa, de los cuales se seleccionó el modelo número 4 debido a los sencillos y rápidos de su manufactura -varias tapas de misma forma pero de diferente grosor y tamaño-, además de que se necesitará de mucho ingenio y destreza por parte de la mascota para poder retirarla, ya que al ser la tapa superior de un espesor muy delgado, será difícil que con su boca lo pueda agarrar y mucho más desplazar hacia adelante y arriba para poder quitarla.

Por otro lado, la salida de los premios se consideró que debería estar ubicada en la parte posterior del chasis, ya que de esta forma se evitará que los premios al ser expulsados interrumpen el movimiento de las ruedas, dado que en caso de soltarlos por delante la mascota podría atascarse con alguno en el caso de que se cruzará en su camino, al igual que por los costados.

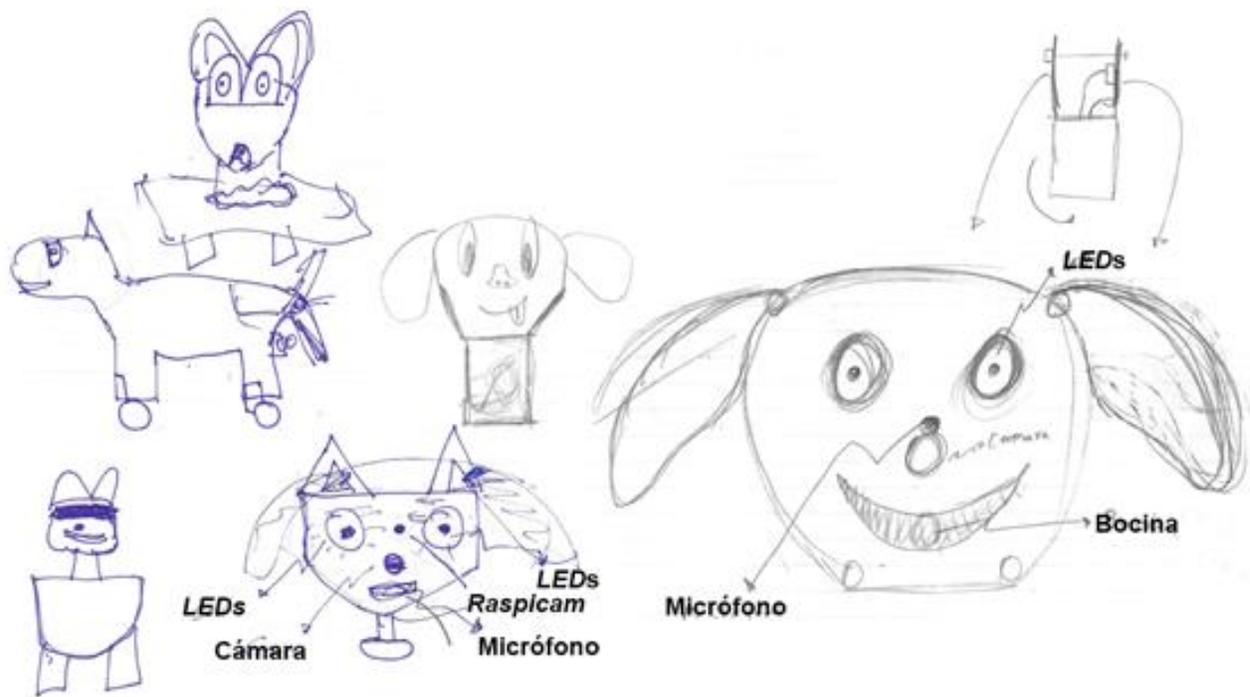


Figura 4.6. Bosquejos para el diseño seleccionado como también para el rostro del perrito.

Posteriormente, se realizaron de igual forma algunos bosquejos de la forma y configuración que podría tener la parte superior del chasis que sería la cara de un perrito, como también cómo podría encontrarse adherida al torso o cuerpo donde estarán los demás elementos electrónicos. Como se muestra en la figura 4.6, se tuvo por un tiempo la idea de posicionar la *webcam* en el “interior” de la cabeza, aunque por cuestiones de tamaño de ésta -ya que por el momento no se pensó retirarla de su carcasa-, como también de estética se cambió su colocación para situarse encima -como un gorro-, ya que hubieran quedado muchos orificios si se hubiera quedado detrás de la cara (“por dentro”), cosa que se descartará cuando se llegue a utilizar la ventana de plástico ya comentada.

De esta manera, la forma y configuración final de la cara del perrito a desarrollar se muestra en la figura 4.7, en donde los ojos serán simulados por los *LEDs*, mientras que la nariz estará unida con la boca, donde se ubicará en cada uno tanto la *Raspicam* y el micrófono. Esta última parte de la cara será desarrollada, a diferencia de todo lo demás del chasis que será en *MDF*, en acrílico negro para simular aún más la cara de un perrito, lo que permitirá también esconder visualmente la cámara y el micrófono.

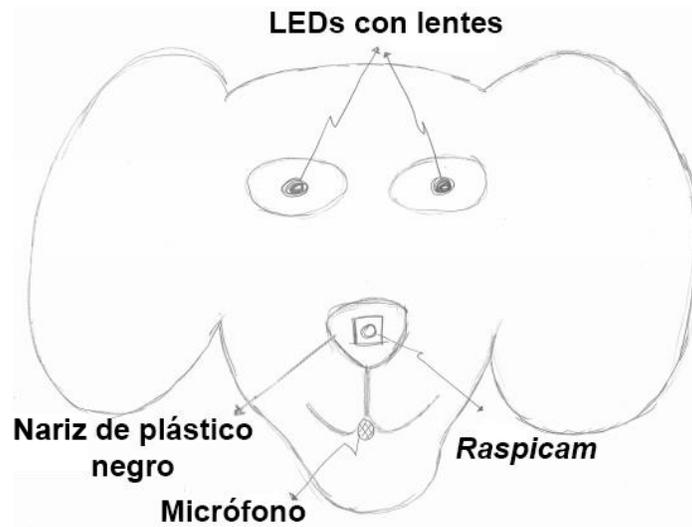


Figura 4.7. Boceto de forma del rostro del perrito a desarrollar.

Sin embargo, como se cuenta con cierta limitación para la manufactura al utilizar corte láser y *MDF*, se buscó la forma en cómo se podría desarrollar esta cabeza al utilizar elementos planos o 2D. Para ello, como se muestra en la figura 4.6 y 4.8, se ideó una cabeza compuesta por 3 planos (donde la cara ya ha sido presentada), un cuello central que se encontrará unido al servomotor, y la nuca o parte posterior de la cabeza. Estos 3 elementos se encontrarán unidos por medio de tornillos que pasarán a través de las 3 partes en varios puntos con el fin de posicionarlas alineadamente y otorgar de cierta separación en donde se encontrarán los elementos electrónicos. Además, con el fin de esconder los cables que subirán hacia la cabeza, como también otorgarle al cuello una forma cilíndrica, se utilizará un cilindro de cartón.

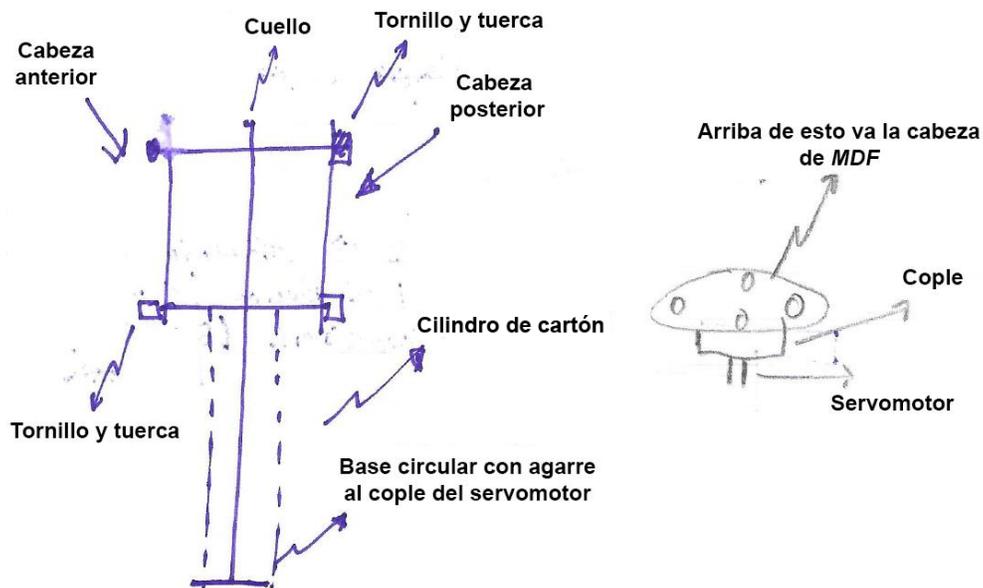


Figura 4.8. Bosquejo para el ensamblado de la cabeza y su unión con el servomotor.

Finalmente, con el diseño y forma que tendrá el chasis ya seleccionado, se procedió a efectuarlo en el material de *MDF*. Para esto, fue necesario realizar los dibujos de cada pieza por medio del *software* de diseño asistido por computadora *Siemens NX10*. Las piezas dibujadas, como el ensamble del chasis y la tapa se pueden visualizar en el apéndice V. Posteriormente, estas piezas se cortaron por medio de corte laser en donde se tiene una tolerancia de corte de aproximadamente ± 0.1 [mm] [496-497], y como el chasis a desarrollar es para corroborar el funcionamiento del sistema y la correcta selección de la forma y posicionamiento de los elementos, no se necesita de una gran precisión durante el corte de estas piezas.



Figura 4.9. Piezas cortadas del chasis en *MDF* y su ensamble.

De esta forma, una vez que se tuvieron las piezas ya cortadas en *MDF*, se procedió a hacer el ensamble de éstas, para lo cual se utilizó en la mayor parte del chasis Resistol 5000. Así, se empezó por la parte inferior del cuerpo, es decir, las patas y el torso, y posteriormente la cabeza y su cuello. Es importante mencionar que, durante este ensamblaje, se dejaron piezas sin unir para poder manipular y colocar los elementos de los subsistemas dentro del chasis fácilmente y realizar sus conexiones correctamente. Las dimensiones tanto de los orificios de los sensores ultrasónicos, ojos, bocina y la apertura para salida de premios fue hecha con base en las medidas de estos componentes, así como el ancho de la rampa hecha para el carrusel.



Figura 4.10. Ensamblaje de la "cabeza" del sistema y su vista frontal.

En la figura 4.10 se puede observar el ensamblado de la cara del perrito en donde se dejó una mayor separación entre el cuello y el frente, ya que será ahí donde se posicionarán los elementos de los subsistemas de iluminación, detección y comunicación junto con su respectivo alambrado con el cuerpo inferior, esto último sube por medio de un orificio en la base del cuello que se une con el servomotor sin quedar justo para permitir el giro de la cabeza. Para poder posicionar correctamente la cabeza, se utilizó un soporte para servomotor como se mostró en el capítulo anterior en la figura 3.53. Este soporte se sujetó con tornillos de 1/8 de pulgada y tuercas a la medida por la parte inferior de la tapa superior del chasis, colocado de manera que el eje y el cople del servomotor quedará lo más concéntricos al círculo en donde se colocará el cuello. Sin embargo, la tapa superior junto ya con la cabeza no se pegará hasta la etapa de pruebas finales, por si se tiene que hacer alguna modificación en cuanto a altura o posicionamiento.



Figura 4.11. Tapa superior de torso, cuello y cabeza del sistema con elementos montados.

Por otro lado, también se unieron las piezas que forman el elemento que tapa la abertura por donde se introducen los premios al carrusel, pieza que se muestra en la figura 4.12. Como ya se comentó, lo especial de esta pieza es la lengüeta en la parte posterior del elemento, la cual evita que pueda ser retirada fácilmente con un movimiento vertical.



Figura 4.12. Piezas unidas para la tapa de la entrada del carrusel.

Una vez que se secaron correctamente los elementos del chasis inferior, se procedió a realizar el montaje y conexión entre todos los elementos electrónicos de los subsistemas ya comentados, de los cuales los motores del subsistema de movimiento se montaron en las patas con tornillos planos y sus tuercas en los orificios que se pueden observar en la figura 4.9. De éstos, se soldaron dos cables en las terminales del motor que pudieran llegar a la parte del torso por medio de pequeños orificios posicionados en la tapa inferior del torso.

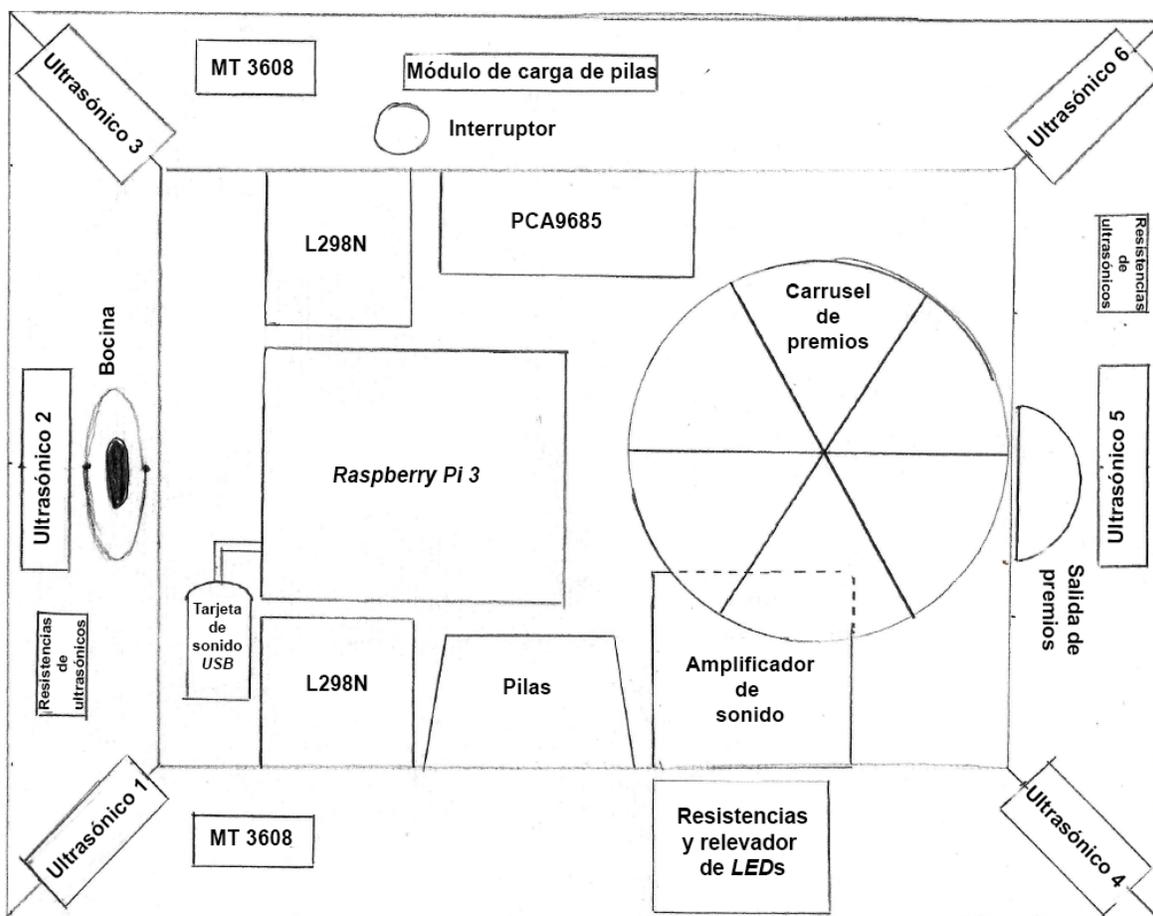


Figura 4.13. Vista superior del posicionamiento de los elementos dentro del torso del perro.

Con lo anterior, se buscó la mejor manera de posicionar todos los elementos de los subsistemas dentro del torso. Esto se logró al colocar estos elementos sin ningún material de sujeción ni cables de interconexión sobre el espacio disponible en el interior, ya que tanto los sensores ultrasónicos, la bocina y el carrusel se colocaron en los espacios destinados con anterioridad para ellos. De esta forma, se obtuvo la configuración mostrada en la figura 4.13 en la cual no existe ningún elemento que interfiera en el movimiento de giro del carrusel, ya que los cables de los ultrasónicos pasarán por debajo de éste o en el lado opuesto a donde se encuentra el amplificador, de manera que el mayor cableado se quede del lado izquierdo. Además, con esta configuración se tiene a la *Raspberry Pi* de manera céntrica con el fin de poder tener una mayor facilidad de cableado para los elementos a controlar.

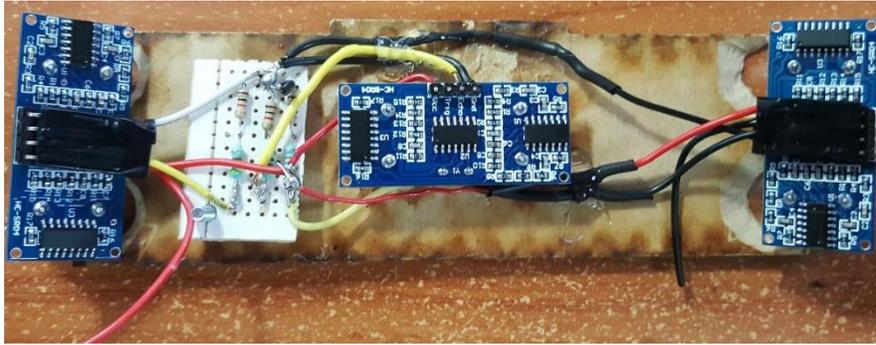


Figura 4.14. Cableado y posicionamiento de los sensores ultrasónicos de la parte posterior.

En el apéndice IV se muestra un diagrama de conexiones entre los diferentes componentes de los subsistemas a los cuales se enviará o se recibirá información. Las demás conexiones como también las de alimentación se realizaron de acuerdo con lo comentado en cada subsistema, así como en el de alimentación, además de que se cuenta con un interruptor de por medio para poder alimentar o apagar todos los elementos cuando se desee, y esto permitirá poder realizar la carga de las baterías al conectarse un cable *microUSB* en uno de los lados del torso.

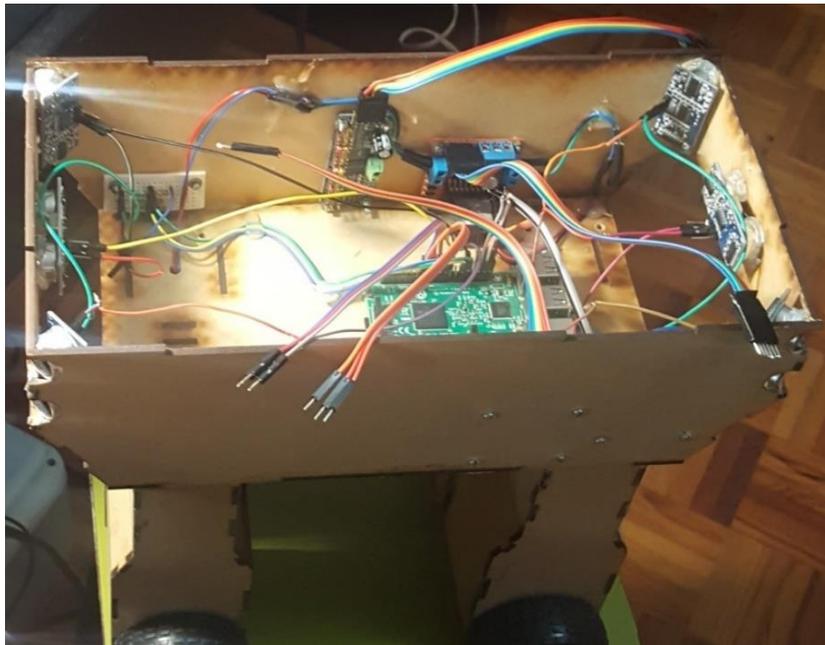


Figura 4.15. Cableado de varios elementos electrónicos dentro del torso del sistema.

Un elemento que no se muestra en la figura 4.13 es el sensor óptico *TCRT5000* el cual es utilizado por el sistema de dosificación, ya que este elemento fue colocado una vez que se tuvo al carrusel en su posición final debido a que este sensor debe detectar una división del carrusel únicamente, por lo que debe estar alineado con ésta. Además, para evitar que éste se descalibre, se colocó lo más alejado de la entrada de premios pues este elemento es sensible a los cambios de luz.

Por otra parte, conforme se hizo el cableado y se colocó cada elemento dentro del chasis, con base en programas básicos de prueba en la *Raspberry Pi*, se realizaron las pruebas individuales de funcionamiento, con el fin de corroborar las correctas conexiones y alimentación, lo que permitió evitar tener que invertir tiempo futuro en caso de alguna falla.

Asimismo, fue durante esta parte donde se realizó la prueba con respecto a la correcta selección y funcionamiento de los motorreductores del sistema de movimiento, los cuales lograron mover a todo el sistema -con los premios más pesados disponibles cargados- sin ningún problema, así mismo probaron girar y retroceder sin complicaciones.

Sin embargo, la velocidad máxima que éstos desarrollan al desplazar al perrito es demasiada para que efectúe todos sus movimientos en esta misma velocidad, por lo que el control implementado para el modo automático del sistema, estos motorreductores podrán regularla para que, en caso de encontrarse demasiado lejos, se pueda aproximar rápido y disminuir poco a poco su velocidad al acercarse, como alejarse al estar muy cerca de la misma forma, con el fin de poder visualizar a la mascota lo mejor posible. Sin embargo, quedará experimentar qué velocidad será la adecuada para que pueda ser manipulado en el modo manual por el usuario.

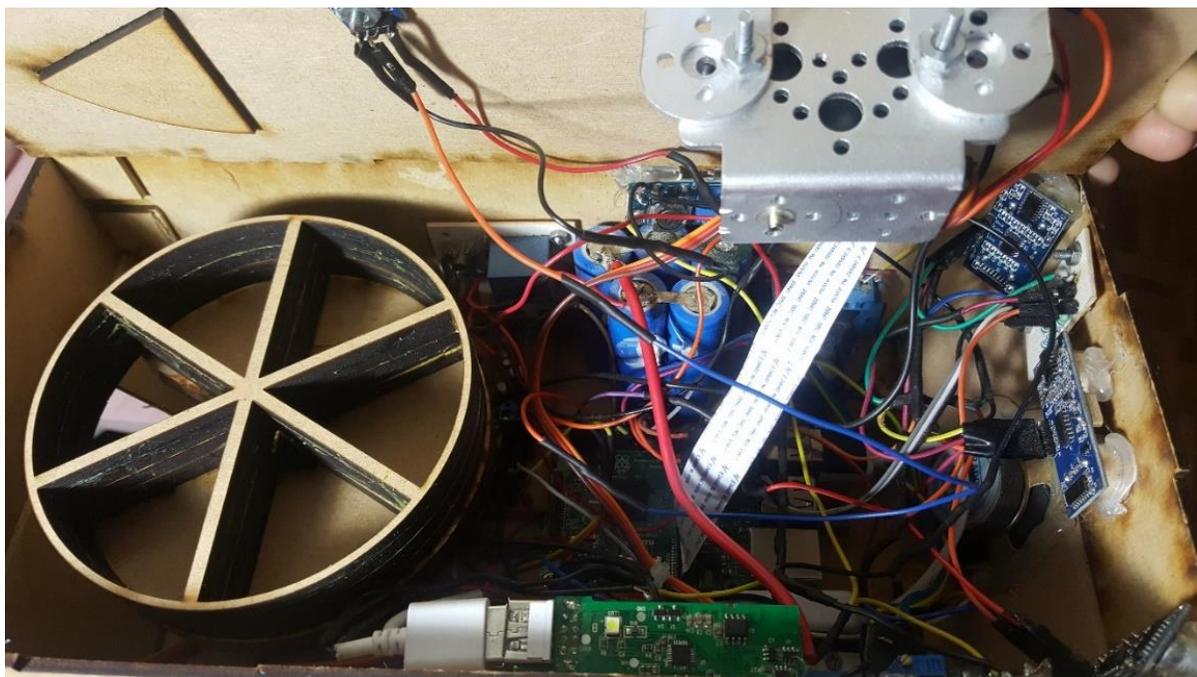


Figura 4.16. Cableado y posicionamiento final de los componentes de los subsistemas.



Figura 4.17. Vista final del carrusel posicionado junto con la entrada de premios y su tapa.



Figura 4.18. Fotografía capturada por la *webcam* durante pruebas de funcionamiento.

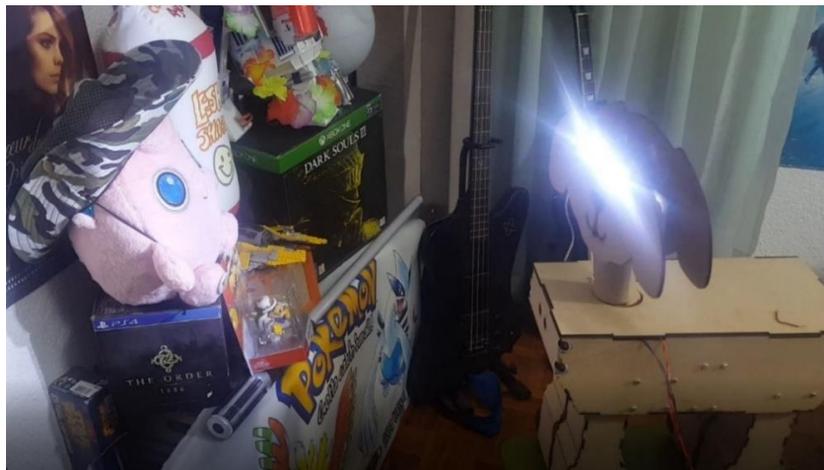


Figura 4.19. Pruebas de los *LEDs* al colocarse en la cabeza del perrito.



Figura 4.20. Sistema de dosificación posicionado y lleno de premios para pruebas.



Figura 4.21. Prueba de seguimiento por parte del servomotor de la cabeza y *Raspicam*.

Finalmente, el chasis en forma de perrito para el sistema se muestra en las figuras 4.22 y 4.23. Esta forma nos permite tener una altura aproximada al cuello de una mascota mediana, lo cual permitirá una buena detección de los collares durante el seguimiento. De esta forma, se concluye con el desarrollo del chasis del sistema, como también de la interconexión y acomodo de los subsistemas dentro de él, los cuales queda ahora probar su correcto funcionamiento en conjunto ya que se desempeñaron bien cuando éstos se posicionaron adecuadamente dentro del perrito.

De acuerdo con las figuras presentadas sobre el chasis del perrito desarrollado en *MDF*, es posible que se observen algunos orificios que se realizaron debido a que se necesitó más precisión en la colocación de ciertos elementos al momento de realizar el cableado y, por lo tanto, era necesario contar con un poco de espacio adicional, sin embargo, esto no afecta en absoluto los objetivos del proyecto.



Figura 4.22. Vista final del chasis en forma de perrito del proyecto.



Figura 4.23. Diferentes vistas del chasis en forma de perrito del proyecto.

Es importante mencionar que tanto para la programación (Apéndice III) y el cableado de los diferentes elementos electrónicos (Apéndice IV) que componen al proyecto con respecto a la *Raspberry Pi* se realizaron de acuerdo con las indicaciones de los pines al utilizar la convención de numeración *BOARD*, es decir, la numeración del pin físico -los que se encuentran indicados en un cuadrado gris en el apéndice IV- y no el indicado por el *GPIO* [498].

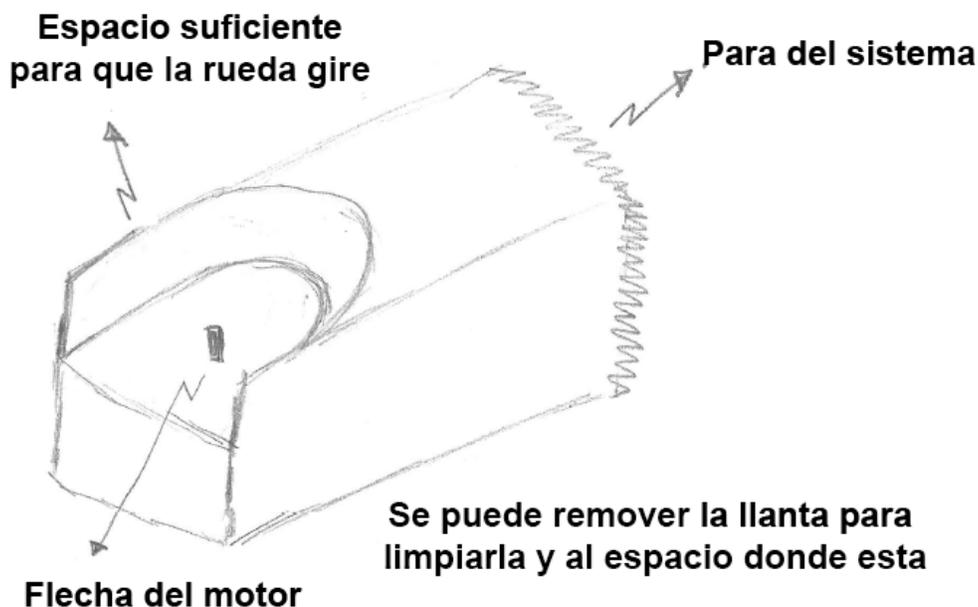


Figura 4.24. Bosquejo de futura pata para el sistema.

Adicionalmente, se muestra en la figura 4.24 un bosquejo de lo que sería una modificación para las “patas” del chasis, en la cual se tiene que la llanta se encontrará dentro de un hueco al tamaño de ésta, del cual será posible retirar la rueda del motor con el fin de limpiarla y al sistema por si se presenta algún inconveniente o por su simple uso. Además, será importante que la parte en donde sale el eje de motor se encuentre lo más cerrada posible -sin afectar el giro de éste- lo que evitará que no entre suciedad en el interior de la pata.



Capítulo V. Pruebas de funcionamiento y resultados

Esta fase de la metodología empleada tratará sobre las pruebas realizadas de cada subsistema al trabajar de manera conjunta con otros, con el fin de corroborar el correcto funcionamiento íntegro del sistema, y así proceder con las pruebas finales con la mascota en los dos diferentes modos que contará dicho sistema, el modo manual y automático de acuerdo con los objetivos planteados.

El modo manual es el funcionamiento del sistema cuando el dueño desee controlar sus movimientos, ya sea tanto para vigilar a la mascota o para interactuar con ella. Es en este modo en donde, además de comunicarse y visualizar a la mascota por medio de la transmisión en tiempo real iniciada automáticamente al activar este modo, se puede entregar premios, activar los *LEDs* para ver mejor el entorno y a la mascota, tomar fotografías y video cuando el dueño crea necesario, y emitir los sonidos pregrabados.

El modo automático consiste en el funcionamiento del sistema de manera autónoma, el cual es el modo que se utilizará cuando el dueño no se encuentre conectado a él al realizar sus actividades. En este modo se supervisa a la mascota mientras es acompañada por el sistema alrededor del espacio en donde fue dejada. En caso de que el usuario lo decida puede iniciar la transmisión en tiempo real para visualizar la actividad de la mascota, pero nunca tomar control del movimiento del sistema, más que para indicar si desea tomar una fotografía o un video a su gusto. Además, cuando el dueño no vea a la mascota, se grabará a ésta por si desea posteriormente visualizar su actividad cuando no era observada por el dueño.

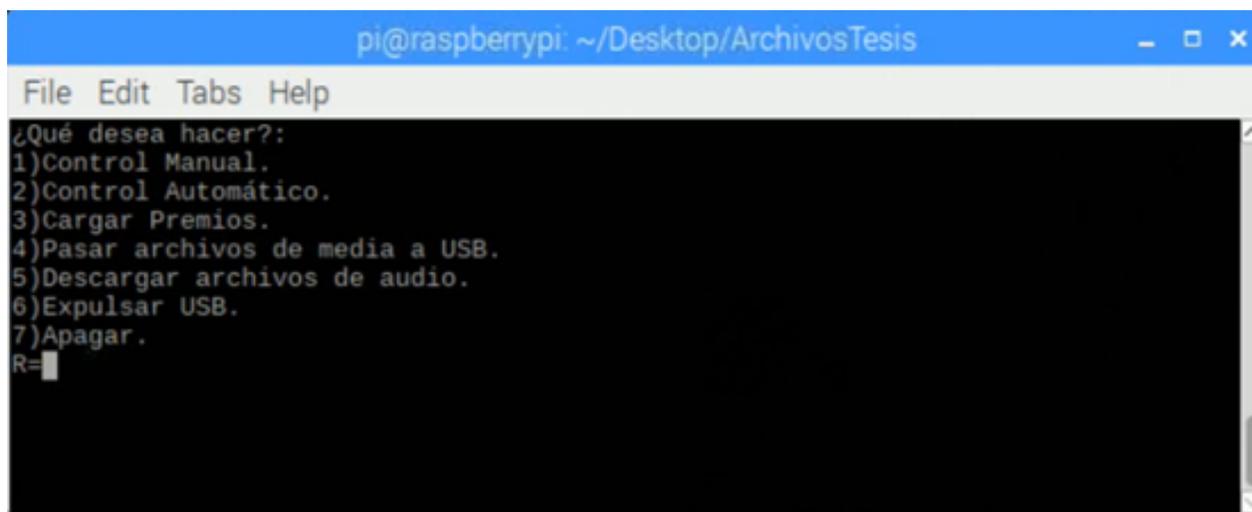


Figura 5.1. Menú de inicio final del sistema.

En primer lugar, se presentará la interfaz que permitirá al usuario poder acceder, controlar y recibir información del sistema, la cuál será su medio de comunicación con éste. Esta interfaz permitirá por medio de un menú de inicio –figuras 5.1 y 5.2- seleccionar tanto el modo de

funcionamiento del sistema, cargar o descargar información vía *USB*, como también acceder al asistente de carga de premios y apagar el sistema. Para las demás opciones diferentes a los modos de operación del sistema, se habla de asistentes dirigidos hacia un solo subsistema como es el de almacenamiento, dosificación o alimentación.

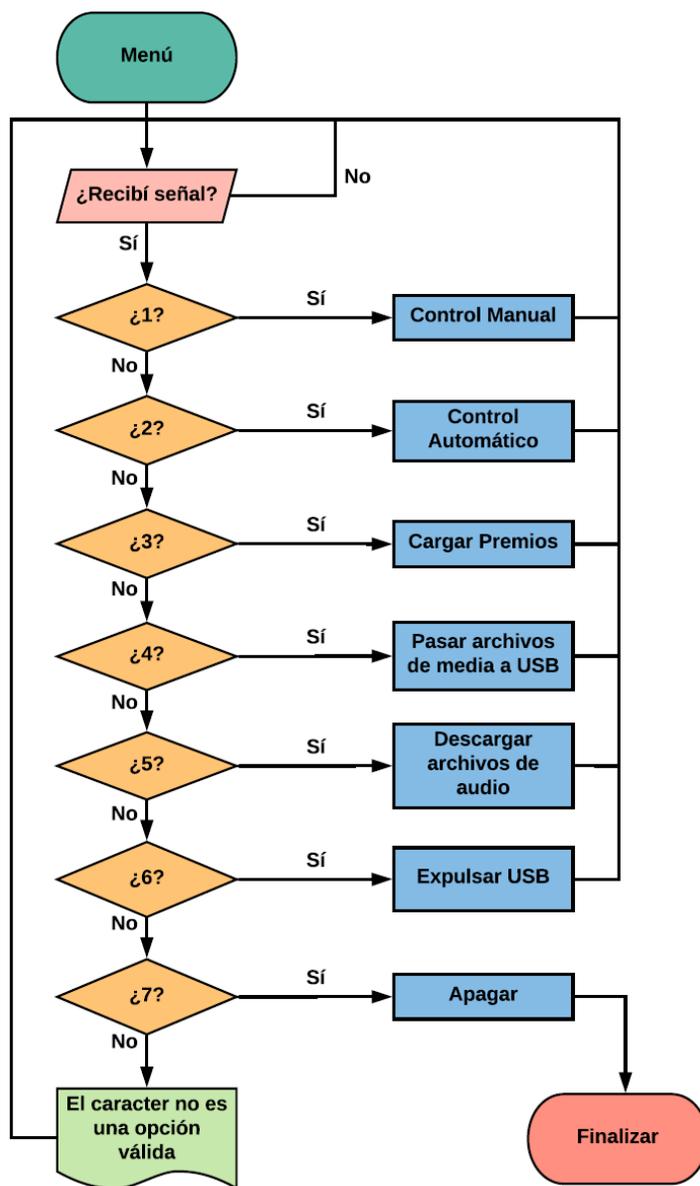


Figura 5.2. Diagrama del menú principal del sistema.

Para poder capturar la información proveniente del usuario a través de un teclado físico o virtual -aquel que provee *VNC* para dispositivos móviles- se utilizó la biblioteca *curses* la cual crea un objeto llamado "*windowobject*" el cual representa la pantalla completa de la terminal, por lo que se realiza la lectura de lo que se ingresa en ésta por medio del método "*getch()*" lo que permitirá capturar un carácter el cual no necesariamente debe ser *ASCII* (Código estándar americano para

el intercambio de información), ya que si se desea se pueden leer las teclas provenientes del *keypad* o las teclas de funciones; este carácter posteriormente se transforma a minúsculas en caso de que se haya ingresado algún carácter con la variante en mayúscula. Sin embargo, para la toma de decisiones, con el fin de evitar confusión con los valores enteros del código *ASCII* - con excepción de la tecla *ESC*- se utiliza el método "*ord()*" el cual traduce a entero el carácter ingresado entre paréntesis.

Lo anterior es aplicado en las primeras etapas del desarrollo de la programación, ya que se pensaba utilizar las flechas para el movimiento, con respecto al uso de teclas de funciones especiales, ya que al final se prefirió el uso de las letras, para que el usuario tenga en un solo grupo del teclado todas las opciones. Aunque, la diferencia principal con respecto a la función "*raw_input()*" -utilizada para lectura de entrada de caracteres en los asistentes- es la posibilidad de evitar el uso de la tecla "*Enter*" para ingresar el carácter a leer, por lo que es conveniente para el control manual y automático que debe reaccionar instantáneamente al oprimir cierta tecla.

Sin embargo, la función "*raw_input()*" permite realizar la misma función que "*getch()*", donde se puede introducir texto entre los paréntesis de la función para interactuar con el usuario -caso que con "*getch()*" era necesario utilizar *print*- e indicar al final el método "*lower()*" para convertir los caracteres ingresados a minúsculas.

Como se puede observar en la figura 5.1 del menú, se cuenta en total con 7 opciones las cuales se desarrollarán con base en los programas ya realizados para los elementos de los subsistemas en los capítulos anteriores, para que estos elementos y la interfaz trabajen de manera conjunta principalmente en las dos primeras opciones, ya que son los modos de funcionamiento general del sistema. Tal como se comentó en el apartado III.8, la interfaz a desarrollar se realizará en *Python* y será presentada a través de la terminal de la *Raspberry Pi* conocida como *LXTerminal*, a la cual se accede por medio de *VNC viewer*.

Ahora, como se comentó en el capítulo anterior, los motores seleccionados para el subsistema de movimiento del perrito al trabajar con un *PWM* del 100%, es decir, con su máxima velocidad, no sería la velocidad más adecuada de funcionamiento todo el tiempo y para todos los movimientos, aunque a esta velocidad no se presentaron alteraciones en el funcionamiento de los subsistemas. Por lo tanto, se decidió regularla en el modo automático y sólo se utilizará en ciertos casos.

Los casos en que la velocidad puede llegar a ser máxima, solo es cuando no se detecte a la mascota y si se encuentra lejos el sistema de ésta, al momento de realizar giros durante la búsqueda; el otro caso es cuando se detecte a la mascota y de acuerdo con la distancia se alejará o se acercará a una velocidad máxima al principio y se reducirá conforme se aleje o se acerque, según sea la circunstancia, como también sucede durante el giro del sistema cuando la mascota detectada se haya movido del ángulo máximo del servomotor al girar rápidamente hacia la dirección a la mascota y disminuir conforme de nuevo se posicione a ésta en el centro.

Posteriormente, las pruebas que se hicieron para poder determinar cuál sería la velocidad adecuada para el modo manual del sistema, se realizaron al tener activados el sistema de video

y al ejecutar el control del sistema de manera manual, es decir, al efectuar los movimientos del perrito por medio de comandos -Figura 5.3- a voluntad del equipo de trabajo, para simular el caso en que el dueño tome el control del sistema. Además, estas pruebas se realizaron junto con la mascota para observar sus reacciones a las diferentes velocidades que podrían utilizarse.

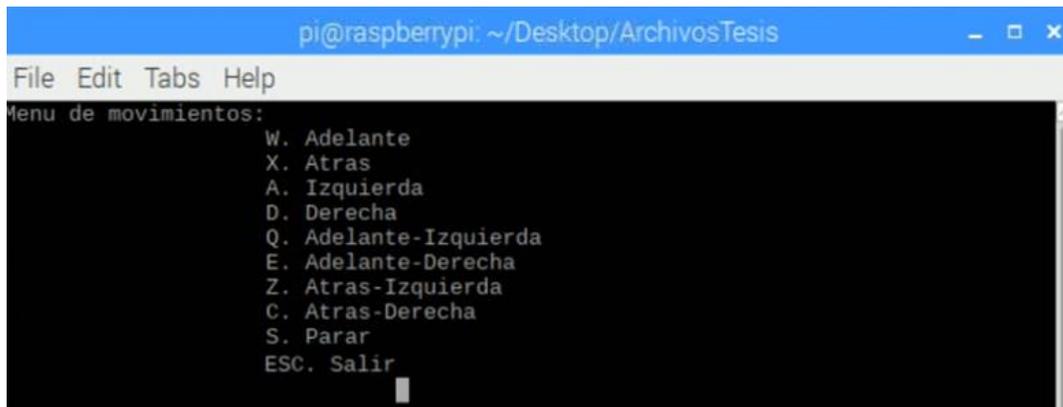


Figura 5.3. Interfaz de modo manual inicial con opciones de movimiento.

De esta forma se redujo gradualmente el porcentaje de *PWM* mientras se observó cómo los demás sistemas funcionaban y a la mascota al realizar sus actividades, de manera que el *PWM* que mejor se adecuó a esto fue de 70% debido que, a esta velocidad -aproximadamente 0.3 [m/s]- el usuario tendrá el tiempo para tomar decisiones sobre los movimientos que el sistema debe realizar, además de permitirle visualizar por completo el área de visión de la cámara para observar la actividad de la mascota. Asimismo, con esta velocidad se crea un límite para el dueño, es decir, esta velocidad no podrá ser modificada para no saturar de comandos al dueño durante el movimiento y no distraerlo de la función principal que es visualizar la actividad de su mascota, por lo que se tendrá una sola.

Por otro lado, es durante esta etapa que se hizo el ajuste en los valores de las constantes de control PID, ya que hasta este momento es cuando se tiene el sistema ensamblado por completo y con los subsistemas interconectados dentro del chasis. Por lo tanto, esto agregará un peso a los motorreductores y al servomotor de la cabeza que antes no se tenía y que puede influir en el control PID, por lo que se deberá hacer el ajuste de valores para el correcto funcionamiento del sistema.

En primer lugar, se procedió a corroborar el funcionamiento del subsistema de detección del collar por medio de la visión artificial junto con el control implementado para el movimiento del servomotor, con el fin de centrar a la mascota en la imagen y poder observarla junto con su entorno. En consecuencia, se revisaron los valores de las constantes de control PID para este caso, y se experimentó de nueva cuenta a partir de los pasos expuestos en el capítulo III para modificarlos y lograr que el giro del servomotor fuera lo más suave, rápido y continuo posible ahora que el sistema se encuentra completamente ensamblado, lo que permitirá observar a la mascota en el centro de la imagen y seguirla.

De esta forma, los valores de las constantes para cada una de las acciones de control finales resultaron ser $K_P=0.00053333$, $K_I=0.00020205$ y $K_D=0.00009860$ con las cuales se obtuvo un correcto funcionamiento del sistema de acuerdo con el resultado esperado y con un comportamiento muy próximo al ya experimentado en el capítulo III durante la fase de diseño de detalle.

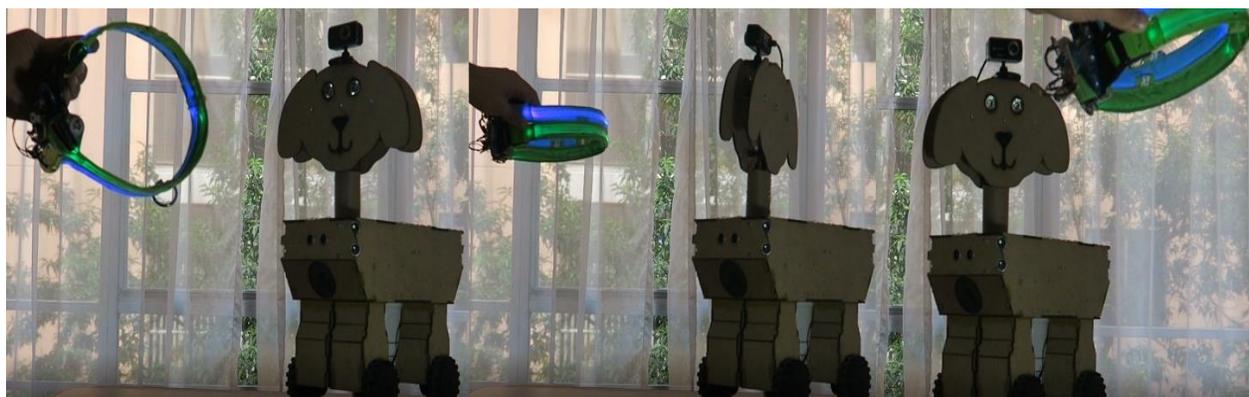


Figura 5.4. Prueba de funcionamiento del servomotor para el seguimiento del collar.

Además, en la figura 5.5 se puede ver el correcto funcionamiento del subsistema de detección al filtrar solamente los colores del collar en diferentes posiciones en tiempo real, lo cual demuestra que la detección del collar fue satisfactoria una vez que se contaba con el sistema ensamblado completamente.

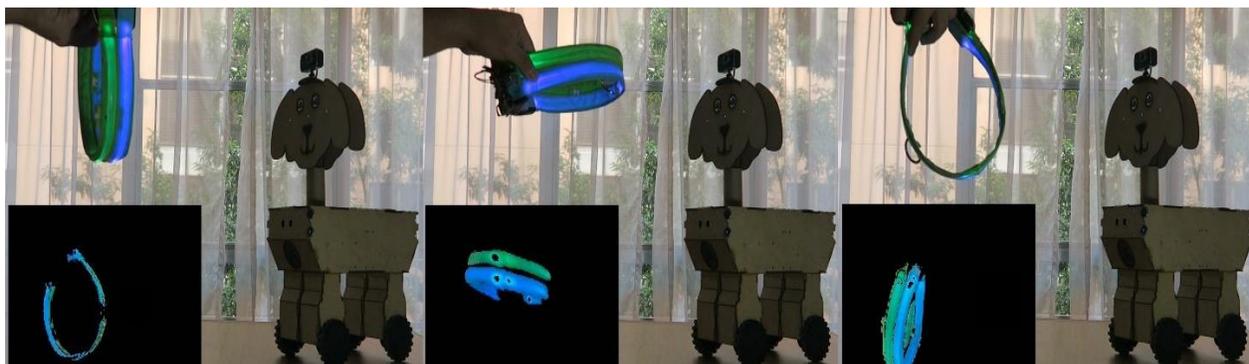


Figura 5.5. Prueba del subsistema de detección por visión artificial.

Asimismo, se realizaron las pruebas en conjunto de los motorreductores con el sistema de detección, ya que no fue hasta el capítulo anterior que los motores se encontraron montados en el chasis. Por lo tanto, en esta prueba se corrobora el correcto funcionamiento del control PID implementado para que, una vez que la mascota llegue a uno de los límites establecidos de giro del servomotor, el sistema comience a girar con el fin de mantener a la mascota todo el tiempo centrada en el campo de visión de la cámara, además de ajustar el centro del servomotor con el del chasis de manera rápida de acuerdo con lo mencionado en el capítulo III.

Por lo tanto, se implementó el algoritmo de control que se utilizó para el control del subsistema de detección, con las modificaciones pertinentes para su uso con los motorreductores, al considerar unas constantes de control diferentes y el valor de consigna deseado para este control, al tomar en cuenta el error permisible de $\pm 18.75\%$ con respecto al centro del servomotor con el sistema.

De esta forma, se procedió a la obtención de los valores finales de las constantes de control conforme al método heurístico, es decir, se realizaron varias iteraciones al modificar los valores de éstas hasta obtener la respuesta deseada que fue un movimiento rápido y suave para alinear el centro del sistema con el del servomotor.

Las pruebas realizadas para lo anterior consistieron en observar la respuesta de los motorreductores al mover el collar en distintas direcciones para hacer que el servomotor girara y, por lo tanto, al llegar al límite establecido ($60 [^\circ]$ o $120 [^\circ]$) las ruedas deberían empezar a moverse para girar en la dirección correspondiente y ajustar el centro del sistema con el servomotor de acuerdo con la respuesta deseada. Lo anterior, se puede observar de mejor manera en las figuras 5.6 y 5.7, donde se buscó ver qué tan rápido respondían los motores para poder mover al sistema en el sentido del collar.

Sin embargo, de acuerdo con el ciclo de trabajo que se le enviará a los motorreductores por medio del *driver* a través de la *Raspberry Pi*, donde gracias al control PID se indica la velocidad a la cual girarán los motores con el fin de disminuir el error respecto a los centros, se observó que para un ciclo de trabajo inferior a 50% de *PWM* el giro de los motores no era continuo, es decir se presentaban dificultades para el giro, así que se estableció ese ciclo de trabajo como velocidad mínima para garantizar un movimiento continuo y evitar daños en estos elementos.



Figura 5.6. Giro del sistema y cambio de posicionamiento al seguir el collar hacia la derecha.

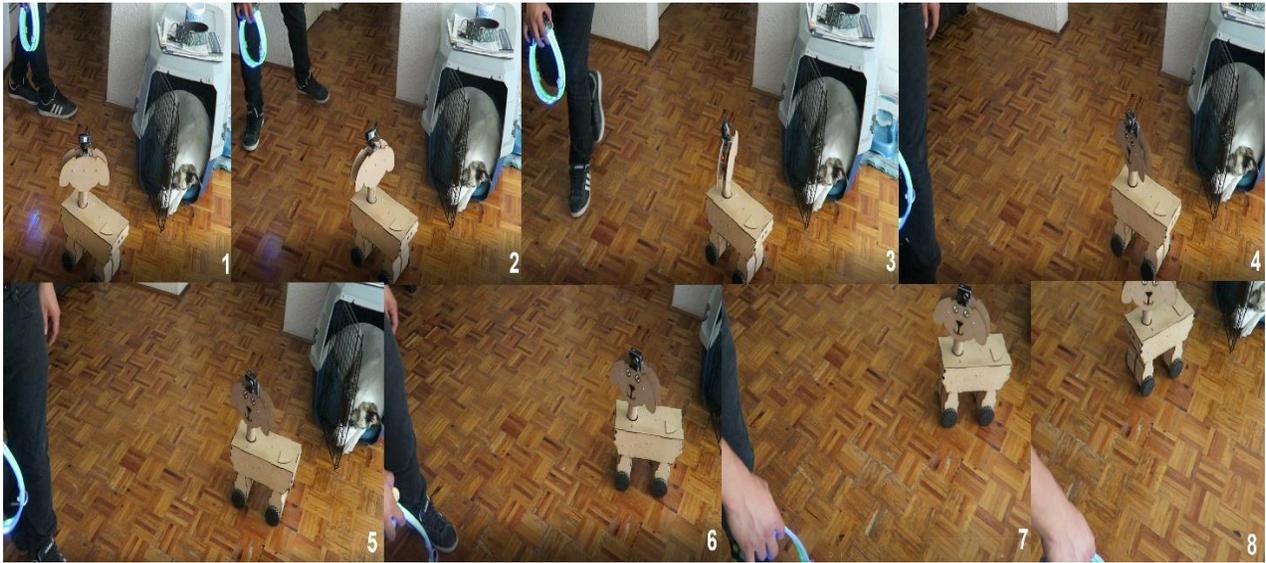
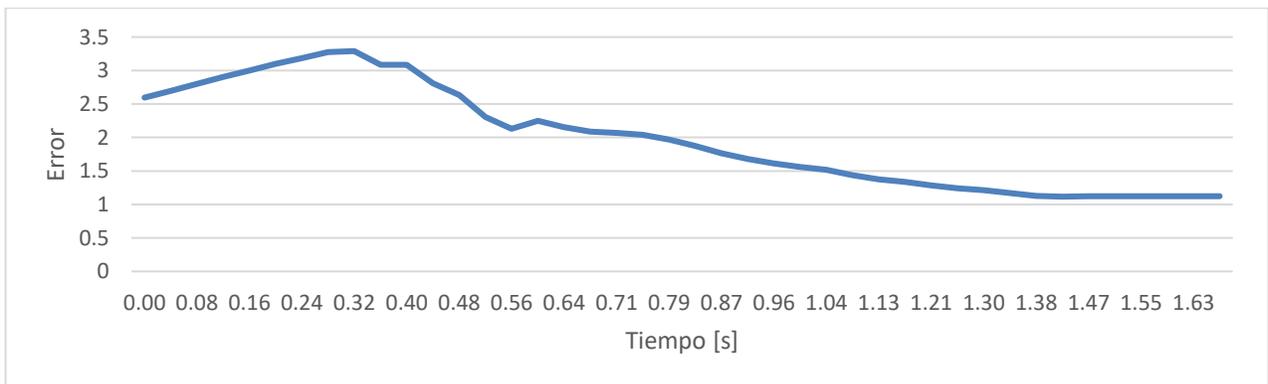


Figura 5.7. Giro del sistema y cambio de posicionamiento al seguir el collar hacia la izquierda.

Los valores para las constantes de control que se obtuvieron tras la experimentación fueron los siguientes $K_P=8$, $K_I=5$ y $K_D=5$, con los cuales se observaron resultados favorables en el giro del sistema. A partir de la experimentación donde se obtuvieron estos valores se realizó la gráfica 5.1 con respecto al cambio del error en el tiempo de prueba, mientras se desplazaba el collar en una dirección y se mantenía hasta que el sistema se alineara con el centro del servomotor.



Gráfica 5.1. Respuesta del error para centrar al sistema con el servomotor.

En esta gráfica se puede observar cómo el error disminuye al aplicarse el control PID durante el giro del sistema con el fin de centrarse con el servomotor, en la cual se tiene un ligero retraso en la respuesta debido a la fricción que deben vencer los motores al rotar, pero una vez que hayan comenzado a moverse, corrigen la posición rápidamente y se mantiene el error dentro del rango establecido, el cual fue de 1.5, lo que equivale a que el sistema y el servomotor se encontrarán alineados. Asimismo, se puede observar que el error siempre se mantuvo positivo, por lo tanto, se puede deducir que la respuesta es sobreamortiguada, lo que implica que no habrá sobrepasos, debido a que el valor del error se mantiene dentro del rango de valores de error

permisibles. Esto no representa un problema para los objetivos del trabajo ya que se tiene una visualización correcta de la mascota sin forzar al servomotor y una posición que le permita realizar su seguimiento.

Por otro lado, otros elementos que también se encuentran relacionados con los motores son los *Beacons* del subsistema de detección, los cuales permitirán saber si la mascota se encuentra cerca o lejos del sistema, por lo que determinarán si los motores deben girar hacia adelante o hacia atrás. Para corroborar su funcionamiento de acuerdo con lo comentado en el capítulo III, se verificaron los valores que se obtenían de *RSSI* por parte de los *Beacons*, con un metro y al posicionar el sistema a diferentes distancias. Es importante mencionar que esto se realizó para validar los rangos de valores de *RSSI* para los anillos de aproximación, los cuales se mantuvieron como los presentados en el capítulo III, ahora que la *Raspberry Pi* y el dispositivo *Bluetooth USB* se encontraban dentro del chasis.

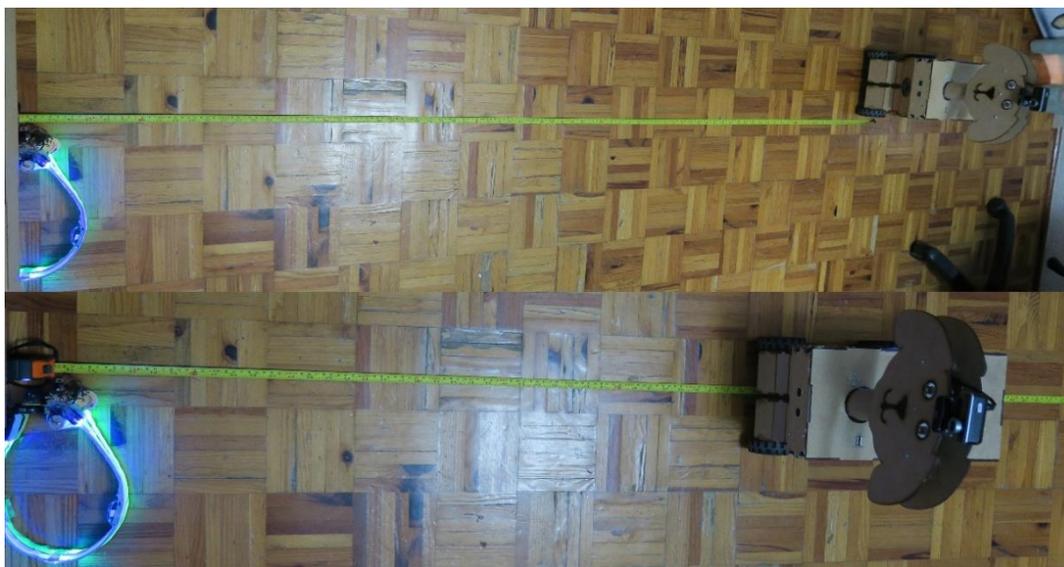


Figura 5.8. Verificación de valores de *RSSI* próximos a la distancia de 1[m] y 2[m] del collar.

Por lo tanto, se continuó con las pruebas de movimiento del perrito de acuerdo con los anillos de proximidad, pero ahora por parte del control PID para este caso. Como ya se había mencionado en el capítulo III, de acuerdo con los valores de *RSSI* obtenidos el sistema deberá acercarse o alejarse de la mascota, según sea el caso, de manera rápida y disminuir su velocidad conforme se acerque al anillo “Adecuado” y así garantizar la visualización correcta de la mascota y su entorno.

De esta forma se implementó el algoritmo de control de la misma forma como se comentó anteriormente en este capítulo, con respecto a los motorreductores y la posición del servomotor; es así como se toma el valor de consigna que es -77 de *RSSI*, el cual es el centro del anillo “Adecuado”, y además un error permisible del $\pm 10\%$ para considerar el anillo por completo. En consecuencia, será necesario obtener de nueva cuenta los valores de las constantes de control para este caso, lo que será hecho a partir del método heurístico de igual forma.

Para estas pruebas se realizaron varias iteraciones en donde se colocó al sistema inicialmente en el anillo “Lejos” para observar que éste se acercara hasta llegar dentro del anillo “Adecuado” y se mantuviera en esa posición mientras el collar se aproximara hasta el momento que se tuviera que alejar al haber llegado al anillo “Cerca”, y finalmente alejar de nuevo el collar para que éste se vuelva a acercar.

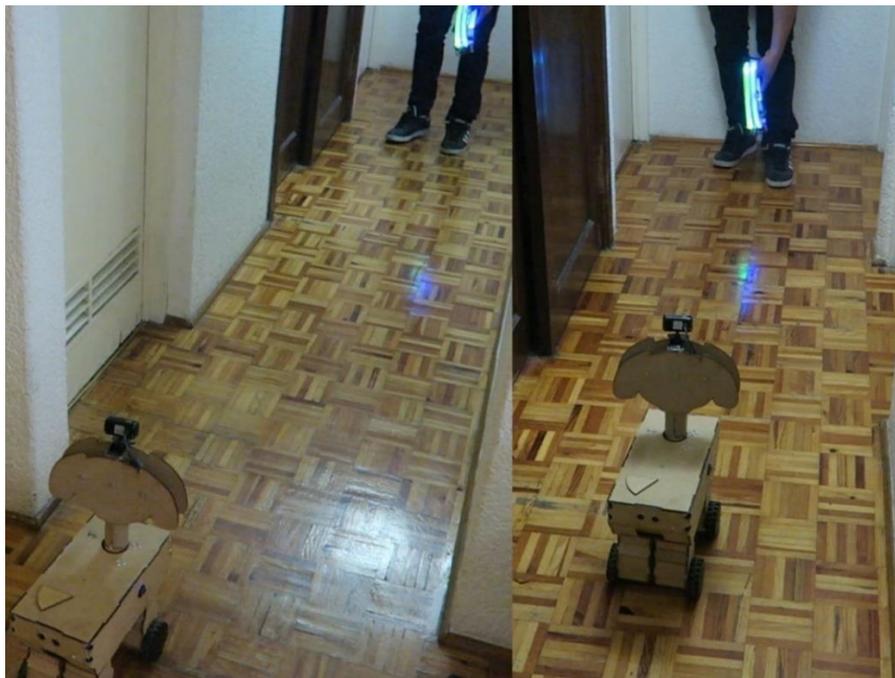


Figura 5.9. Acercamiento del sistema al collar al estar en anillo “Lejos”.

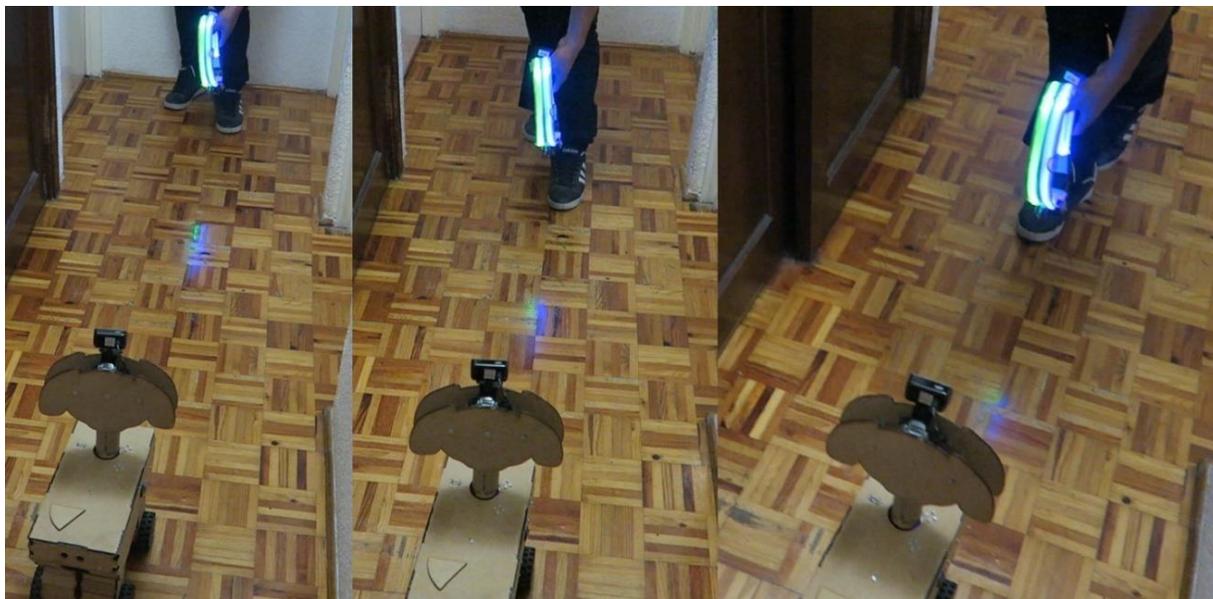


Figura 5.10. Sistema sin movimiento en anillo “Adecuado”

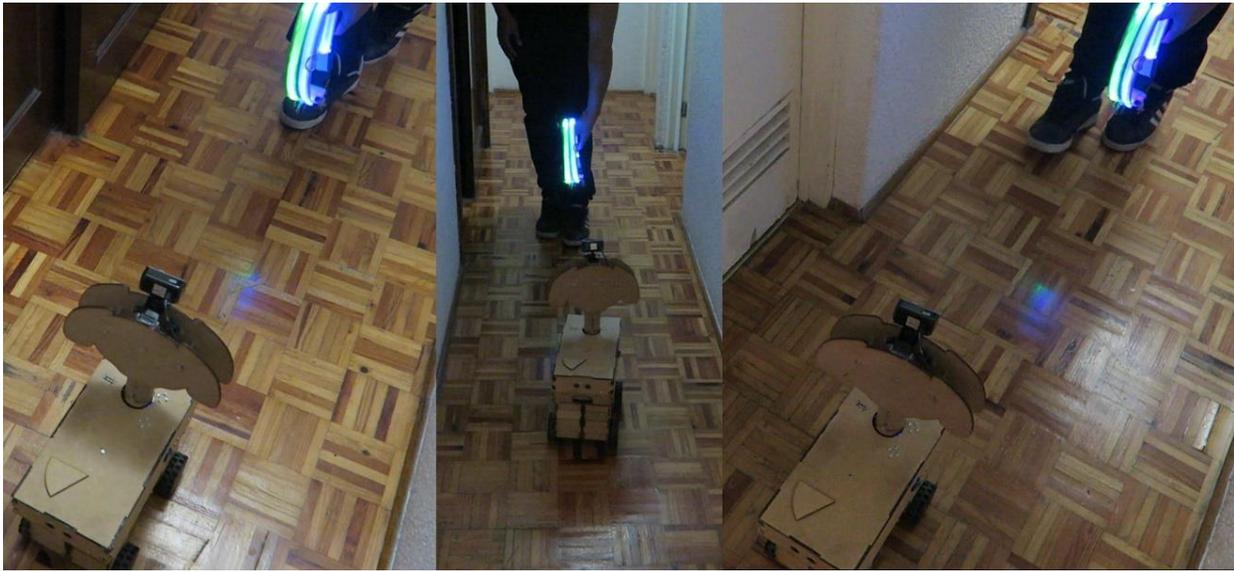
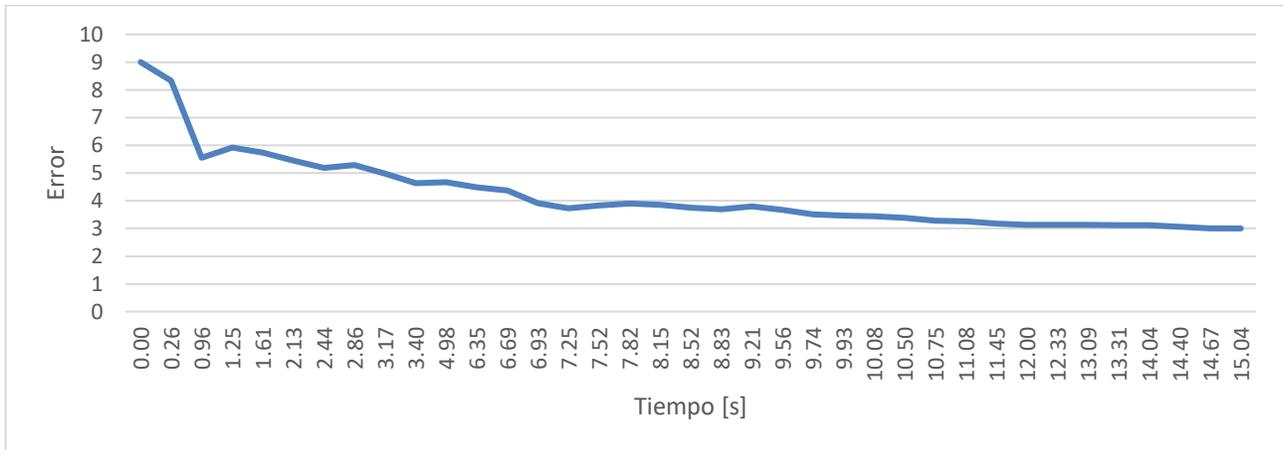


Figura 5.11. Distanciamiento del sistema del collar al estar en anillo “Cerca”.

Estas pruebas se muestran en las figuras 5.9 a la 5.11, en donde se corroboró el correcto funcionamiento del subsistema de movimiento y su control PID con los valores finales de las constantes obtenidos ($K_P=3$, $K_I=1.3$ y $K_D=0.9$), de acuerdo con la distancia en que se encuentra el collar y el desplazamiento que debe realizar el sistema.



Gráfica 5.2. Respuesta del error para posicionar en el sistema en el anillo “Adecuado”.

Los resultados plasmados en la gráfica anterior muestran que nuevamente el error en este control se mantiene positivo y se obtiene una respuesta sobreamortiguada. Al principio se observa un error alto debido a que el sistema se encuentra lejos del collar (a una distancia de 4 [m]), por lo tanto, se observa cómo se comienza a desplazar rápidamente lo que disminuye a su vez el error y conforme se acerca a la distancia del anillo “Adecuado” -es decir, el valor de consigna- su velocidad disminuye hasta mantenerse en un error mínimo dentro del rango de error permisible dentro del anillo “Adecuado”, el cual es a partir de 3.8.

Al mismo tiempo se verificó por medio del sistema de visión que las distancias determinadas anteriormente son adecuadas para la visualización de la mascota, con base en la experimentación del sistema de video, como se comentó en el capítulo anterior, ya que ahora al estar la cámara a una altura de 48 [cm] -2 [cm] menos que en la experimentación del capítulo anterior- la imagen es muy parecida y la mascota se ve bien junto con su entorno.

A su vez, otro elemento que influye en el movimiento de las ruedas del sistema son los sensores ultrasónicos, esto con el fin de evitar que el perrito choque con objetos o paredes. Como se comentó en el capítulo anterior sería hasta este momento en el que ya se tuvieran montados los sensores en el chasis, que se probarían para determinar sus valores en cuanto a la distancia que el sistema detecte un objeto o a la mascota y cambiar su rumbo o parar.

Para estas pruebas se colocó al perrito en una habitación y de forma manual se dirigió mientras se visualizaban los valores obtenidos por los sensores ultrasónicos, primero los 3 delanteros y posteriormente los 3 traseros. De esta forma se experimentó hasta determinar que a la distancia de 20 [cm] para el sensor central frontal y 12 [cm] para los ubicados en sus esquinas, eran los valores adecuados para que el sistema pudiera efectuar un giro y cambiar su rumbo para no estrellarse, o en el segundo caso detenerse en caso de ir en reversa 15 [cm] para los tres sensores traseros.

En el caso de que se detecte algún objeto en el rango de 12 [cm] en el sensor izquierdo frontal, mientras que para los otros sensores de enfrente se tiene un valor mayor al anterior, se girará a la derecha y viceversa, si el sensor derecho frontal detecta algo a una distancia menor de 12 [cm] y los otros sensores ultrasónicos detectan una distancia mayor, se procederá a girar a la izquierda.

Por otro lado, si el sensor central detecta algo a una distancia de 20 [cm] se determina cuál de los dos sensores laterales detecta algo a una distancia inferior que el otro, y se girará hacia el lado que se detecte la distancia mayor. En el caso de que el sistema se dirija a una esquina, es decir, los valores de los sensores de las esquinas frontales sean inferiores a 12 [cm] se girará hacia un lado seleccionado de manera aleatoria hasta que el sistema salga, es decir, no se detecte nada en el sensor central para poder avanzar o seguir con su giro si detecta una pared.

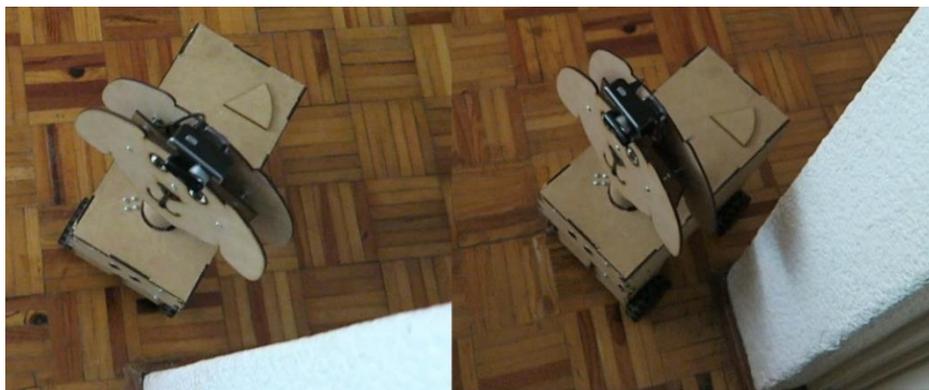


Figura 5.12. Evasión de pared de lado izquierdo.



Figura 5.13. Evasión de pared de lado derecho hasta estar libre de frente.

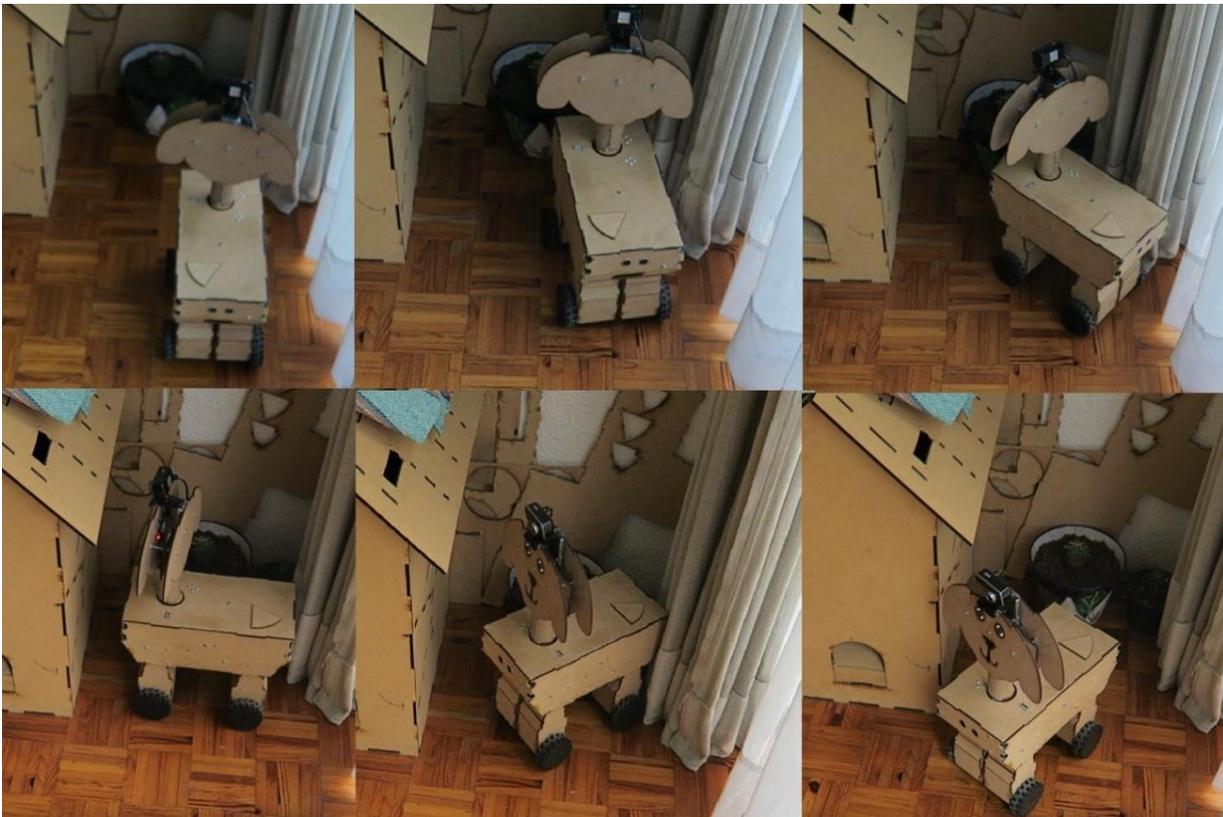


Figura 5.14. Asistencia de los sensores ultrasónicos al sistema para salir de una esquina.

Ahora, se describirá las pruebas del subsistema de dosificación en donde se buscará que el sistema detecte cuántos premios son ingresados en los espacios disponibles del carrusel, como también de aquellos que se hayan quedado dentro del sistema y que no fueron utilizados en alguna sesión pasada. De esta forma, se realizó la prueba con tres diferentes premios como los mostrados en la figura 3.49 y 5.15, los cuales poseen diferente forma, tamaño y peso.

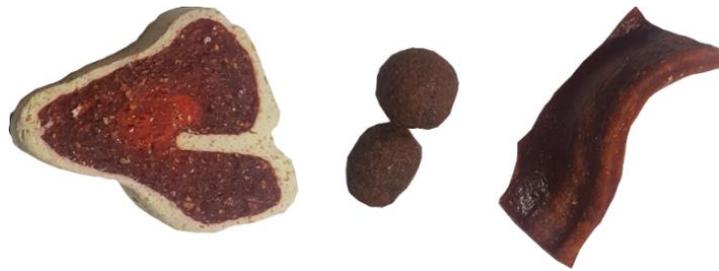


Figura 5.15. Premios utilizados para el subsistema de dosificación.



Figura 5.16. Apertura del sistema de dosificación para el depósito de premios.

El carrusel determinará cuántos premios son tanto colocados como despachados por medio del sensor óptico implementado, de manera que éste detectará las paredes de las divisiones al desplazarse, lo que servirá tanto para detener el carrusel, como para el conteo de premios. Por lo tanto, en un caso inicial se contará con 0 premios en memoria, y se tendrá la posibilidad de ingresar tantos premios guste el usuario hasta 5.

Así, el sistema contará cuántos desplazamientos hubo y por lo tanto cuántos premios tiene el sistema almacenados, cuya información se guarda en memoria. En caso de no haberse efectuado los 4 desplazamientos necesarios para contabilizar 5 premios -ya que el último espacio disponible ya no se moverá-, el carrusel avanzará 4-p espacios, donde "p" es el número de premios contados. Lo anterior se realiza con el fin de posicionar el primer premio en la división inmediata para la entrega y asegurar que se entreguen los premios adecuadamente.



Dos premios colocados

Se desplaza 4-P

Posición final

Figura 5.18. Colocación de dos premios dentro del carrusel y su desplazamiento.

De igual forma, en el caso de que se tengan almacenados premios no entregados, y el usuario quiera recargar, el dispensador ahora retrocederá de nuevo 4-p espacios, donde ahora “p” es el número de premios no entregados que quedaron en la memoria del sistema.

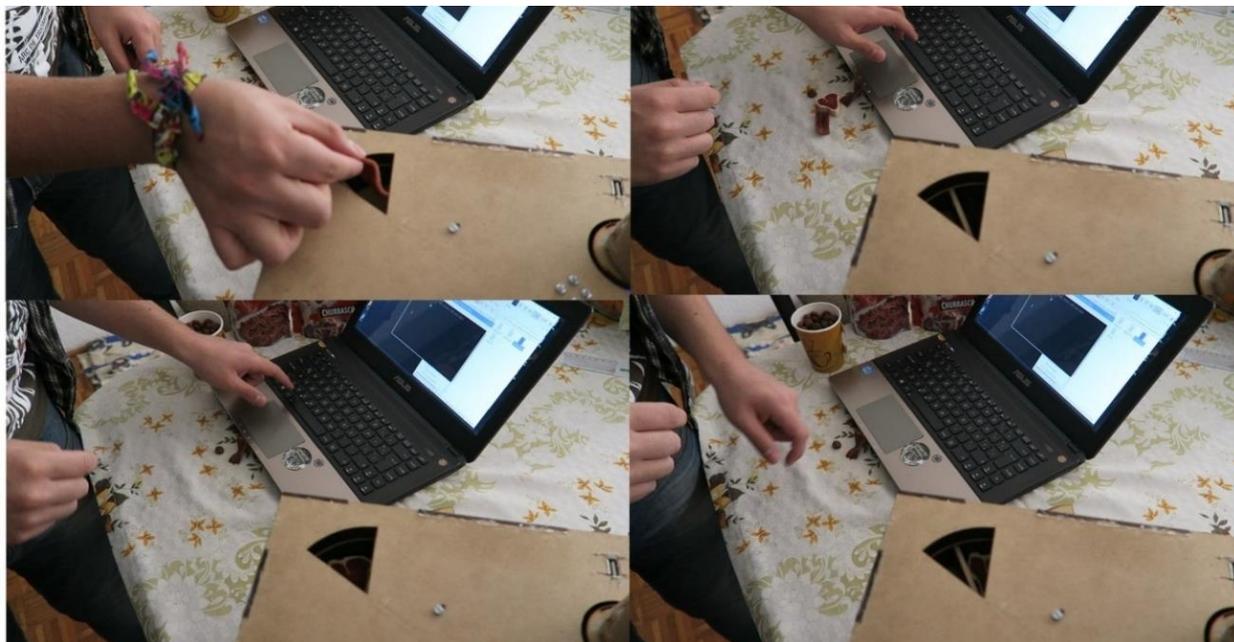


Figura 5.17. Carga de premios y su desplazamiento dentro del carrusel.



Figura 5.19. Entrega de premios por la salida posterior del torso del perrito.

Por lo tanto, como se muestra en la figura 5.17 y 5.19, las pruebas tanto para la carga y descarga de los premios fueron exitosas, y se pudo desplazar los diferentes premios dentro del carrusel. Además, fue posible realizar las pruebas de manera satisfactoria en los casos en que no se hayan ingresado los 5 premios en total o hayan sobrado de sesiones pasadas, por lo que el usuario no se deberá preocupar, más que por ingresar los premios que se le indiquen -como se muestra en la figura 5.21- en el menú de carga de la interfaz, sin tener que preocuparse por que los premios se atoren o se haya despachado una división vacía, cuyo valor actual de premios será indicado en el menú de modo manual como se muestra en la figura 5.22.

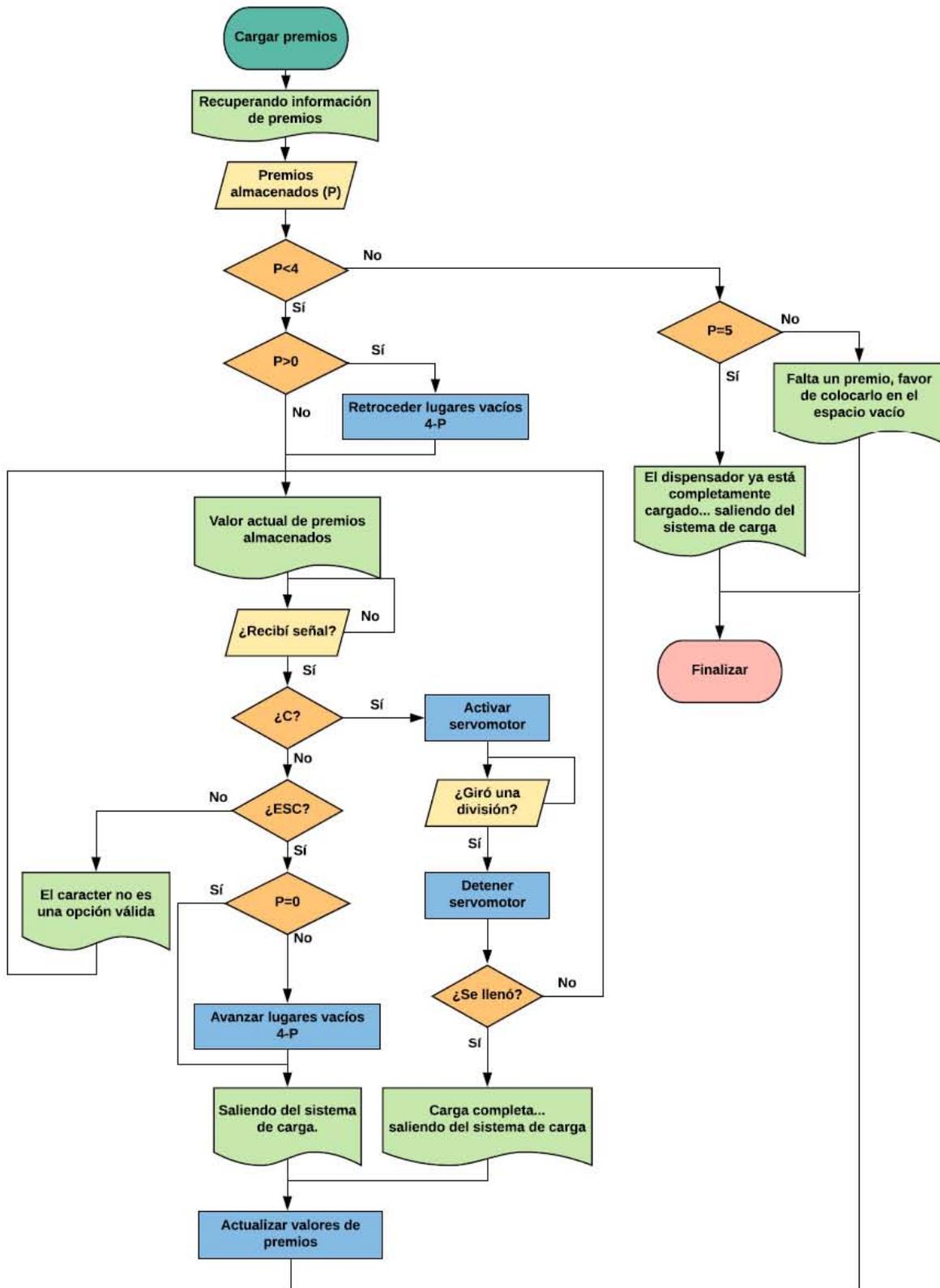


Figura 5.20. Diagrama de funcionamiento del programa de asistencia para la carga de premios.

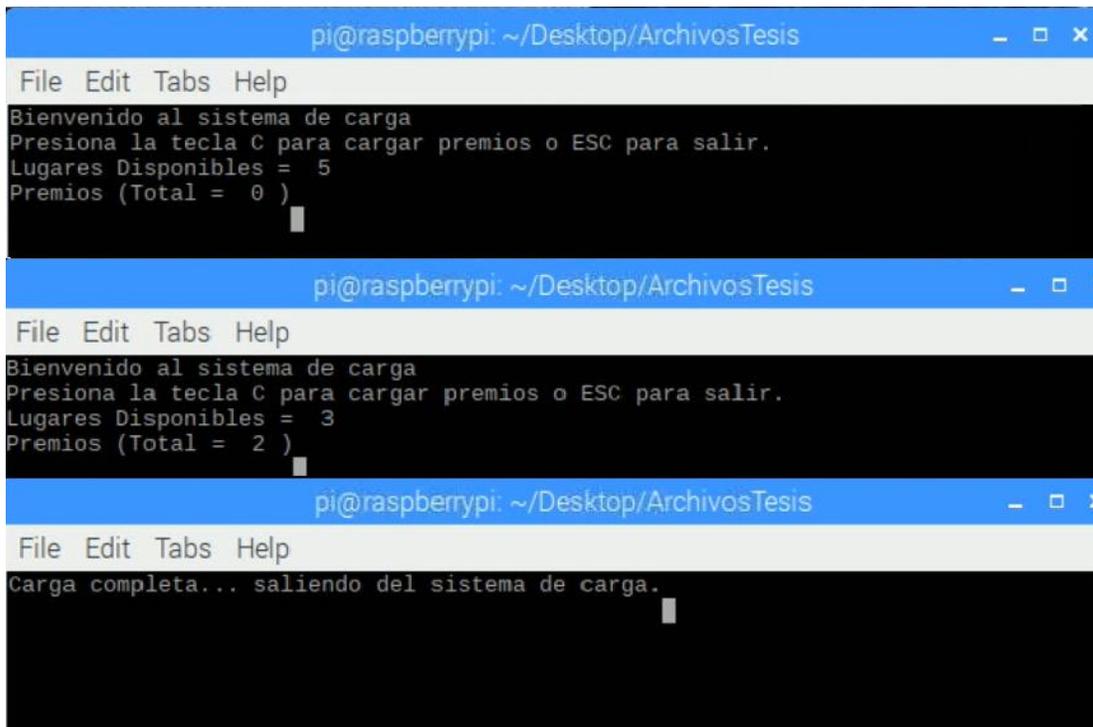


Figura 5.21. Sucesión de la interfaz para la carga de premios del dispensador.

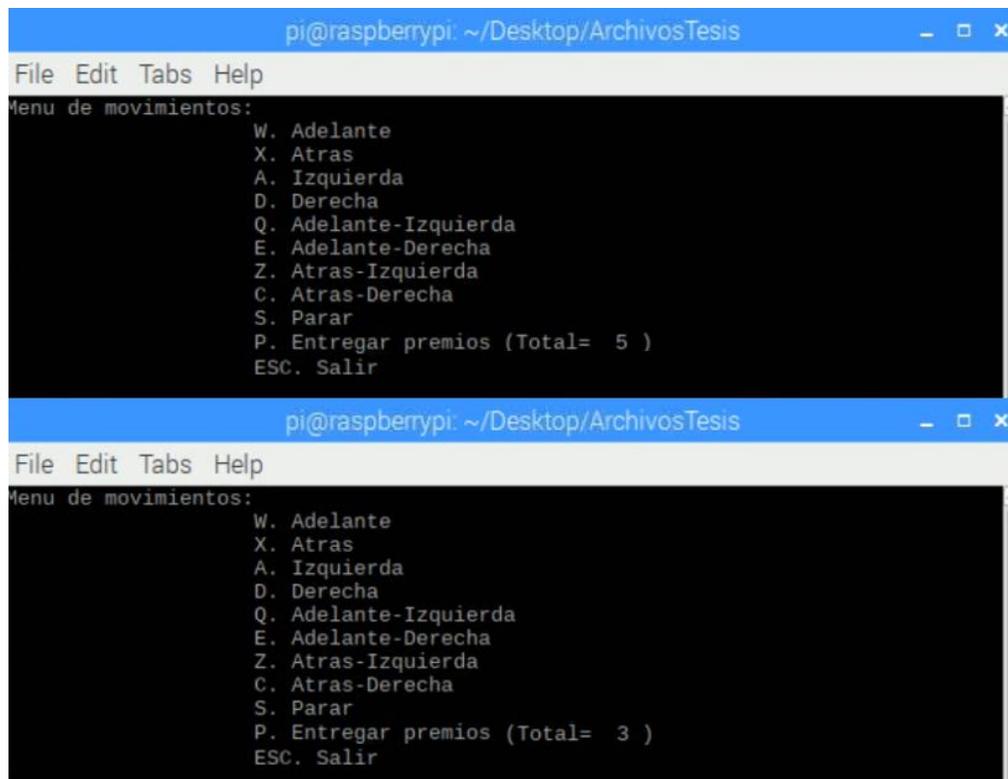


Figura 5.22. Sucesión de la interfaz para la entrega de premios en modo manual.

Otro elemento que será incluido dentro del menú del modo manual del sistema se refiere al subsistema de iluminación, el cual se refiere a los dos *LEDs* ubicados en la parte superior del chasis junto con sus respectivos lentes de 90 [°], los cuales simulan los ojos de la cara del perrito desarrollado en el capítulo pasado. Estos simplemente tienen la función de activarse cuando el dueño controle el sistema con el fin de proveer una mejor iluminación en los casos que sea necesario. Para ello simplemente se agrega al menú la opción de activarse o desactivarse la cual se indica con un “Sí” o “No” respectivamente como se muestra en la figura 5.23 como retroalimentación para el usuario.

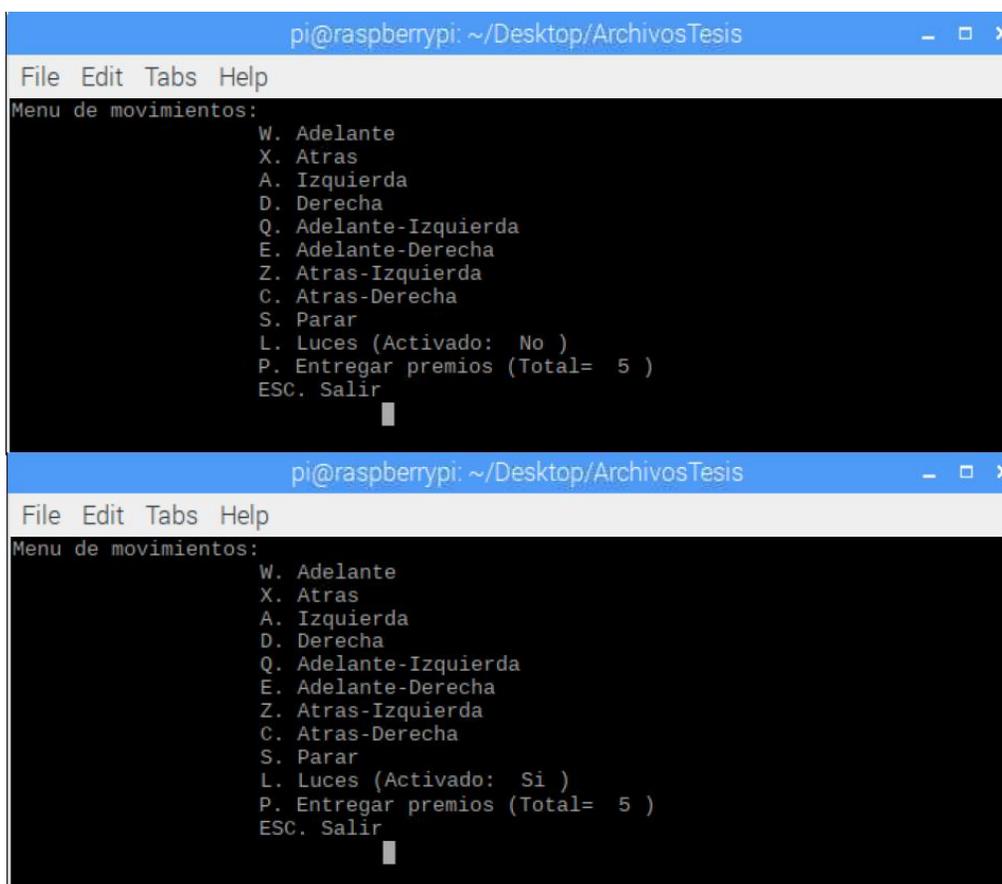


Figura 5.23. Sucesión de la interfaz donde se indica el estado de los *LEDs* en modo manual.

Con respecto a los elementos que integran al subsistema de comunicación, como se comentó en su sección en el capítulo III, la transmisión en tiempo real del video y el sonido provenientes de la *webcam* y del micrófono, posicionado ahora en la cara o parte superior del chasis, son dos señales que son procesadas y enviadas de manera individual, por medio de las aplicaciones *MJPEG-Streamer* y *Mumble streamer* respectivamente.

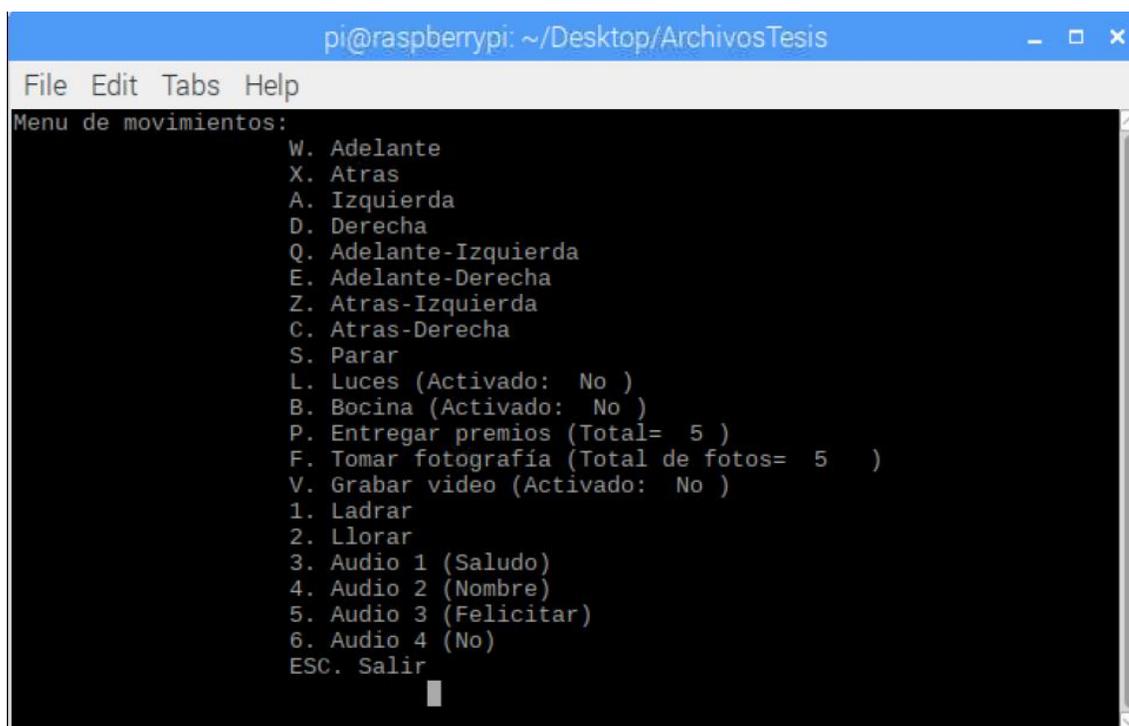
Por lo tanto, dentro del menú del modo manual, es esencial que estas dos aplicaciones se inicien cuando se acceda al este modo, como también para el modo automático en el caso de que se quiera observar lo que sucede con la mascota. Sin embargo, si el objetivo del dueño es

simplemente visualizar y escuchar a la mascota sin tener que comunicarse con ella, se tiene la opción de apagar o encender la bocina para evitar que se escuche el sonido -aunque también esta acción se puede ejecutar desde la aplicación de *Mumble* al silenciar el micrófono-proveniente del dueño.

No obstante, un problema que surgió durante la incorporación de los sonidos pregrabados dentro del menú y su prueba con el subsistema de audio -que también trabaja junto con el subsistema de comunicación- fue el hecho de que la bocina solo podía encontrarse activa para una sola función, es decir, solo trabaja al generar sonidos de una fuente, ya sea solamente sonidos ubicados en el subsistema de almacenamiento del sistema o provenientes de *Mumble*.

En consecuencia, la solución fue cambiar el inicio o arranque de *Mumble* a la opción del menú de apagar o encender bocina, con el fin de que sea el usuario quien determine qué tipo de comunicación quiere tener, ya sea por medio de sonidos pregrabados -donde también se generan comandos con su voz- o una comunicación en tiempo real con *Mumble*, donde en esta última también se podrá escuchar lo que sucede con la mascota.

Por lo que, al arrancar el modo manual, será sólo el *MJPEG-Streamer* el que se iniciará automáticamente, y posteriormente *Mumble* si fuera el caso sin tener algún desfase en la comunicación. Por lo tanto, si se desea generar algún sonido pregrabado, será necesario apagar la bocina y con ello el *Mumble*, para que posteriormente se puedan ejecutar los sonidos pregrabados. De igual forma como sucedió con los *LEDs*, en la opción de bocina se tendrá la indicación del estado de ésta.



```
pi@raspberrypi: ~/Desktop/ArchivosTesis
File Edit Tabs Help
Menu de movimientos:
W. Adelante
X. Atras
A. Izquierda
D. Derecha
Q. Adelante-Izquierda
E. Adelante-Derecha
Z. Atras-Izquierda
C. Atras-Derecha
S. Parar
L. Luces (Activado: No )
B. Bocina (Activado: No )
P. Entregar premios (Total= 5 )
F. Tomar fotografía (Total de fotos= 5 )
V. Grabar video (Activado: No )
1. Ladrar
2. Llorar
3. Audio 1 (Saludo)
4. Audio 2 (Nombre)
5. Audio 3 (Felicitar)
6. Audio 4 (No)
ESC. Salir
```

Figura 5.24. Menú final del modo manual del sistema.

Es importante recalcar que las 6 opciones de sonidos pregrabados que se presentan en la figura 5.24 en realidad son 12, debido a que se tienen dos variaciones con diferente tonalidad, los cuales suenan de manera aleatoria. Los dos primeros son sonidos grabados de perros jóvenes para poder captar la atención de la mascota, mientras que los 4 restantes son comandos con la voz del o los dueños, y se buscó que éstos sean utilizados para captar o llamar la atención de la mascota.



Figura 5.25. Mascota de prueba al atender a los sonidos pregrabados de perro.

Para la elección de los sonidos pregrabados se reprodujeron distintos sonidos de perritos como llantos, gruñidos, ladridos, jadeos y aullidos, para elegir los dos tipos de sonidos a los que más presto atención, y para ello se tomó en cuenta el hecho de que la mascota desviara su atención hacia ellos de otra actividad que hiciera al girar la cabeza e ir a investigar la procedencia del sonido como se muestra en la figura 5.25.

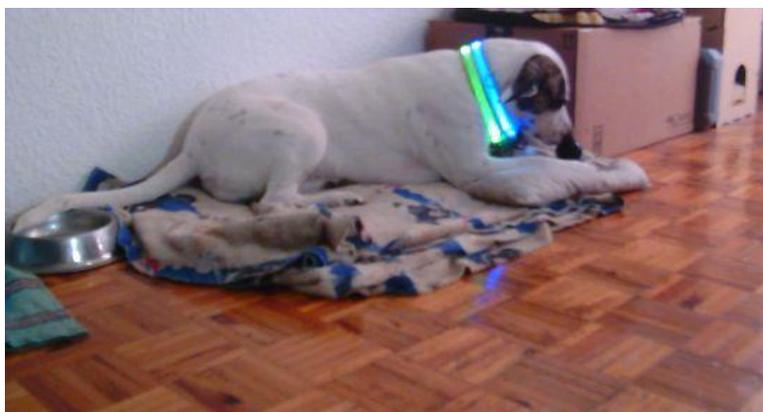


Figura 5.26. Foto número 15 de una secuencia de fotografías de prueba en modo manual.

Además, el sistema cuenta con otros dos comandos para la captura de fotografías o video, para los cuales se obtendrá la imagen por medio de la *webcam* y *MJPEG-Streamer*, debido a que esta aplicación para la transmisión de video en tiempo real cuenta ya con la capacidad de captura de un solo fotograma del video, el cual se obtiene al cambiar la acción de transmisión -

action=stream- por la de captura *-action=snapshot-* y posteriormente descargar el archivo de imagen desde la página *web* ya implementada de la aplicación de manera local sin la necesidad de que se acceda de manera remota con internet. Estos archivos de fotografía se descargarán en el subsistema de almacenamiento dentro de una carpeta llamada Fotos con el nombre de “FotoN.jpg” donde N será el número de fotografía en orden, con el fin de organizar y presentar las fotografías en el orden que fueron capturadas.

Sin embargo, para la captura de video se presentó el problema de que *MJPEG-Streamer* no cuenta con esta capacidad, aunado a que *Mumble* -en caso de estar activo- toma el control del micrófono posicionado en la nariz de la mascota, y por lo tanto solamente esta aplicación podrá capturar sonido con el único objetivo de transmitirla.

Por lo anterior, se tomó la decisión de que el sonido destinado para las grabaciones de video del sistema será capturado por medio del micrófono que la *webcam* tiene, mientras que el video para el modo manual será por medio de la transmisión en tiempo real del *MJPEG-Streamer* y durante el modo automático -ya que no habrá transmisión inicialmente hasta que el dueño lo indique- será directamente de la señal de video de la *webcam*.

Lo anterior se logra para el modo manual al hacer una grabación de la transmisión que realiza *MJPEG-Streamer*, como capturar la señal de la *webcam* para el modo automático a través de *ffmpeg*, que es una herramienta de línea de comando descargable compatible con *linux* y *python* que contiene múltiples bibliotecas para la manipulación de archivos multimedia [499-500] por lo que es capaz de guardar la transmisión de video en tiempo real como un archivo de video simple.

Para lograr lo anterior, se utiliza el siguiente comando [499] dentro de la terminal de *Raspberry*:

```
ffmpeg [global_options] {[input_file_options] -i input_url}... {[output_file_options] output_url}
```

En donde se deben colocar los parámetros como los cuadros por segundo y resolución de la transmisión de video en *MJPEG-Streamer* o las condiciones deseadas de video de la *webcam*, las cuales se comentaron en el capítulo III tanto para el modo manual y automático. Además, se debe incluir el tipo de códec a utilizar y la dirección de salida en donde se guardará el archivo -el cual fue en la carpeta de Videos del sistema de almacenamiento- y la extensión del formato del archivo, que por ser video se guardara en formato *.avi*.

Para poder hacer la grabación de sonido por parte del micrófono de la *webcam*, se utilizó el comando *arecord* de *Raspbian* [501] el cual permite capturar el sonido proveniente de alguna fuente que la *Raspberry Pi* pueda detectar, que para el caso de proyecto se detectaron dos fuentes, una el micrófono de la nariz y otra el de la *webcam*, por lo que se debe indicar la dirección que los diferencie junto con el formato de grabación, el cual es de 16-Bits, la frecuencia de grabación, el tipo de grabación el cual fue mono al tener un solo canal de audio, y la dirección junto con el nombre del archivo, el cual de nueva cuenta se grabó en el sistema de memoria en la carpeta de “Videos” junto con la extensión del formato del archivo, que será *.wav*.

Sin embargo, aún se presenta con el problema de que el audio y el video se encuentran separados, por lo que es necesario contar con un solo archivo que empalme ambos elementos para poder apreciar completamente la actividad de la mascota en el video del modo automático, como de los momentos en que el dueño quiso capturar a la mascota al realizar cierta acción o por simple deseo.

Ambos archivos, tanto de audio como video contarán con una referencia numérica en su nombre, la cual es la fecha y horario de inicio de la grabación -en formato AAAA/MM/DD-HHMM00 donde se convierten los segundos 00 para que no se desfacen los nombres- que son la misma para ambos, esto es de gran importancia debido a que, como archivo de salida solo se tendrán videos y fotografías.

Como se comentó, los audios no cuentan con una carpeta especial -se guardan en el mismo lugar que los archivos de video- debido a que se buscará como último paso acoplar tanto los archivos de audio y de video -debido a que en su nombre se tendrá la misma hora a la que se comenzó la grabación de ambos archivos- por lo que se buscará realizar este acople al utilizar esta referencia, y se procederá a eliminar los archivos “crudos” de video y audio posteriormente.

Lo anterior, se logró de nueva cuenta con *ffmpeg*, en donde se debe indicar la dirección origen de ambos archivos, primero video y posteriormente audio, el especificador “*copy*” en donde se indica que ambas fuentes se deben juntar, y la dirección de salida del archivo junto con su nombre, la cual será la misma carpeta de Video en el sistema de almacenamiento.

En consecuencia, como producto final se tendrá un video, ya sea el caso para el modo automático o manual, único con sonido y la secuencia de imágenes con una extensión *.avi* y su nombre será “VideoN.avi”, donde N será el número de video en orden creciente -determinado tanto en fotos como en videos por el conteo de archivos dentro de la carpeta previamente al inicio de la grabación-, con el fin de organizar y presentar los archivos en el orden que fueron capturados como sucedió con las fotografías.

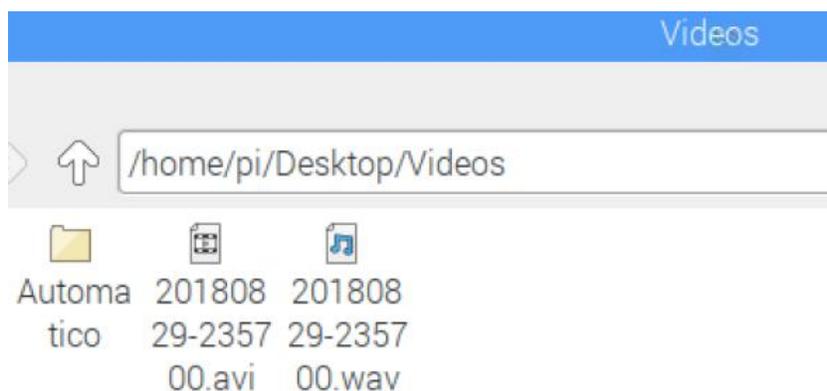


Figura 5.27. Ubicación y generación de archivos “crudos” para la generación de un video final.

Por otro lado, con respecto a las opciones relacionadas con la transferencia de datos por medio de *USB*, lo que se busca para el caso de “Pasar archivos de media a *USB*” es poder tanto

cargar la información obtenida durante la supervisión de la mascota en modo automático, ya que en este modo se tendrá como producto un video con audio del lapso en que el dueño no visualizó la actividad de la mascota para una revisión futura si así lo desea, como también de fotos y video capturados cuando el dueño lo haya indicado mientras supervisaba a su mascota en ambos modos. En este caso, los archivos se guardarán en la memoria *USB* dentro de una carpeta creada o sustituida -en caso de que se use la misma memoria- llamada "Media" que contendrá tanto videos como fotos en carpetas distintas, clasificados en los modos en que fueron capturadas.

Es importante mencionar que la memoria *USB* se recomienda que tenga los nombres "Media", "Archivos multimedia" o "Sistema de supervisión de mascotas", lo que facilitará al sistema su detección y transferencia de archivos, aunque esta característica no es obligatoria.

Ahora, para el caso de "Descargar archivos de audio", el objetivo es permitir al usuario poder sustituir los 12 sonidos pregrabados que deseé para poder ejecutarlos en el modo manual, por lo que esta opción copia y sustituye los archivos de la memoria *USB* en la carpeta de sonido del sistema de memoria. Es importante mencionar que estos archivos extraídos de la *USB* tendrán que encontrarse dentro de una carpeta con el nombre "Grabaciones" en la memoria *USB*, para que el sistema los acepte y pueda continuar con la descarga, al sustituir los audios del sistema de memoria por los de esta carpeta.

En las dos opciones anteriores, cuando se termine el proceso de carga o descarga según sea el caso, se le preguntará al usuario por medio de la interfaz si desea expulsar la *USB*, ya que se desconoce si realizará algún movimiento adicional, por lo que si llega a arrepentirse o equivocarse, se crea la opción de "Expulsar *USB*" con el fin de proteger la información, ya que se observó durante las pruebas con los casos anteriores que, si la memoria *USB* era retirada sin protección de la *Raspberry Pi* por la ranura colocada en la parte superior del torso del chasis, la información transferida se dañaba y no se podía recuperar. Por lo tanto, esta opción simplemente desmonta y expulsa la memoria *USB* para la seguridad de los archivos.

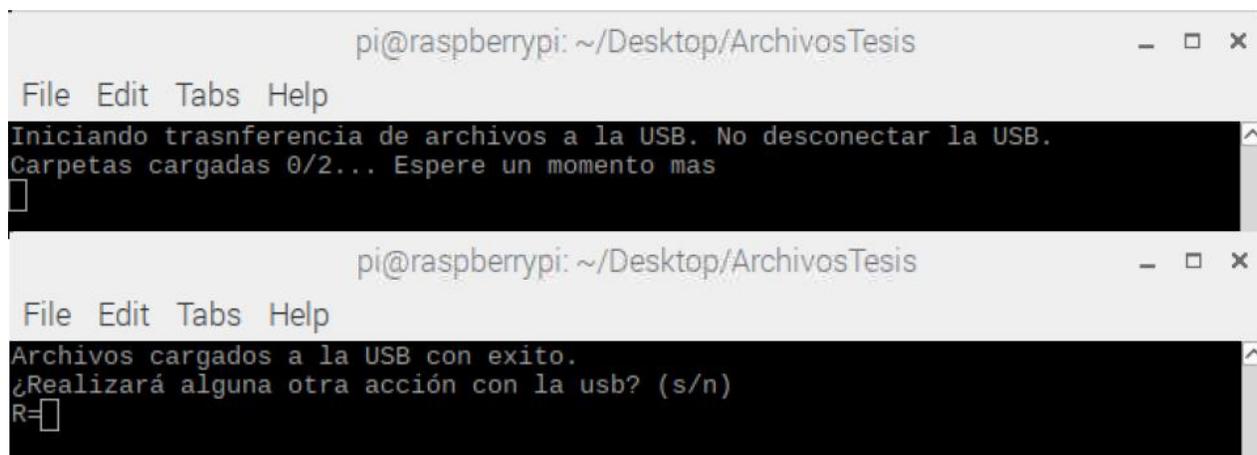


Figura 5.28. Inicio y fin del proceso de transferencia de archivos a la *USB*.

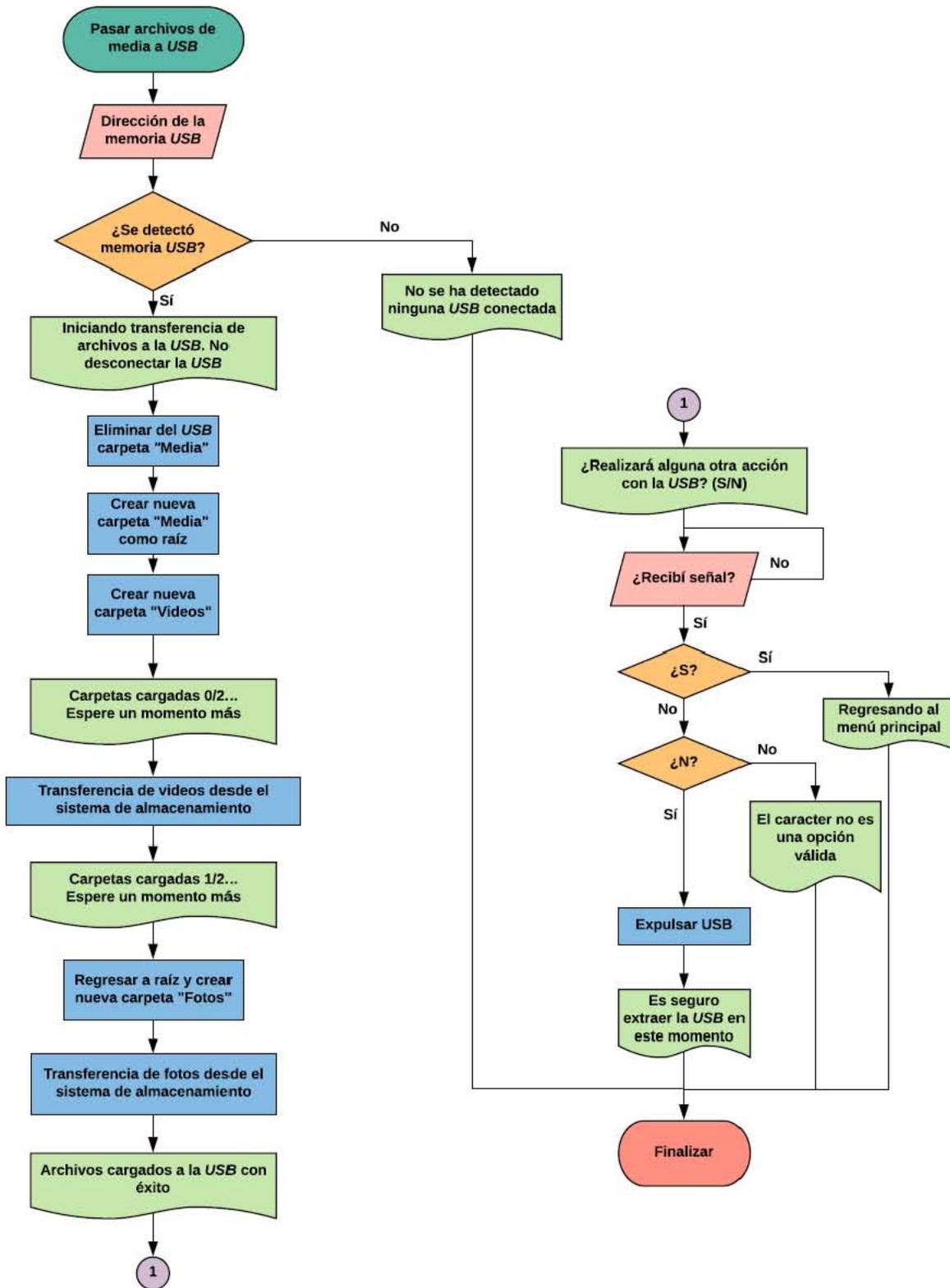


Figura 5.29. Diagrama de funcionamiento de la opción de "Pasar archivos de media a USB".

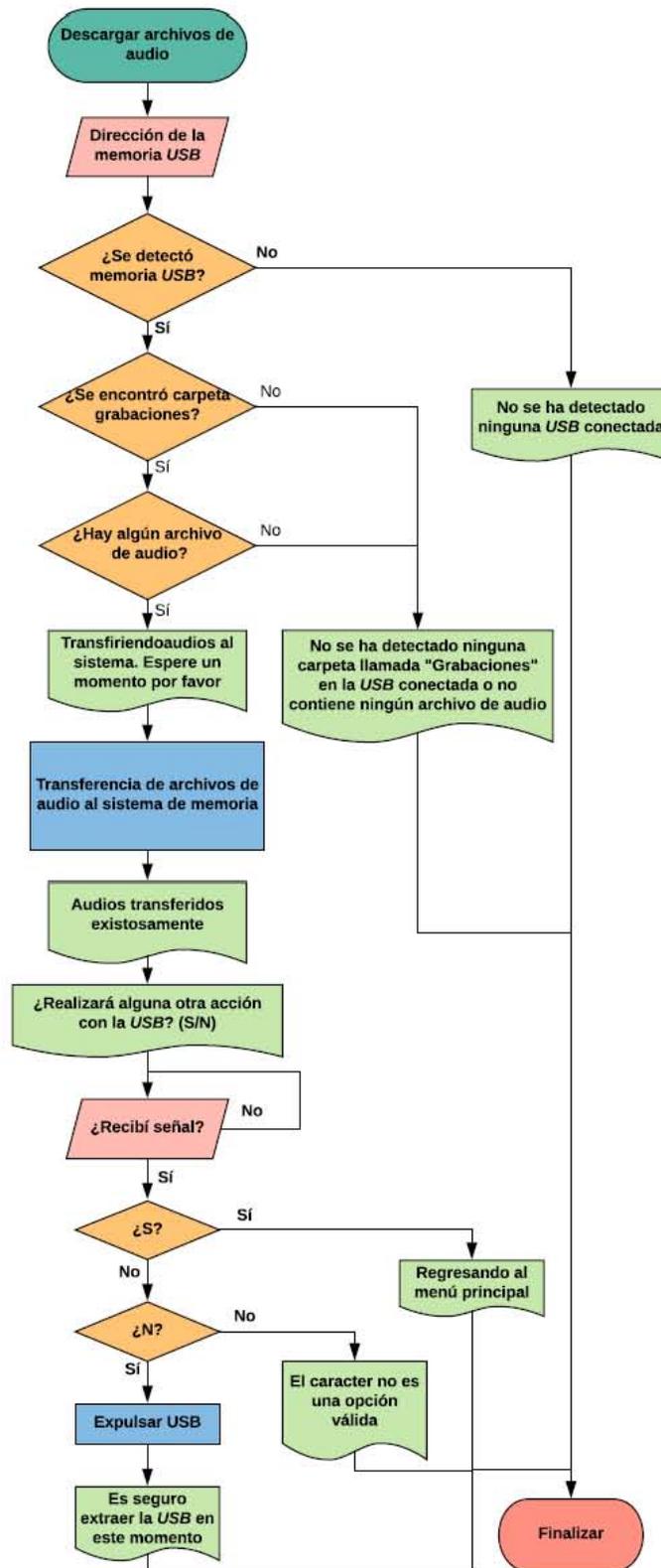


Figura 5.30. Diagrama de funcionamiento de la opción de “Descargar archivos de audio”.

Hasta el momento, la mayoría de las funciones que se han comentado son con respecto a las acciones que podrá tener el usuario con el sistema previa y posteriormente a que la mascota se encuentre sola -carga de premios y manejo de archivos con *USB*- como también del modo manual, en donde se controla el movimiento, la iluminación, la entrega de premios, la generación de sonidos, así como tomar fotografías y video cuando el dueño lo desee, al tener en cuenta que la comunicación se dará con la mascota en todo momento, con las excepciones en el sonido ya comentadas.

Sin embargo, se tiene otro modo llamado automático, el cual hace un mayor uso del subsistema de detección que los demás subsistemas en comparación con el modo manual, ya que será el modo por el cual se dará seguimiento a la mascota cuando el dueño no la supervise.

Como se comentó ya, se hace uso tanto de la visión artificial como de los *Beacons* para poder determinar la posición de la mascota en el espacio en el que se encuentre. Sin embargo, ambas funciones del subsistema de detección deben encontrarse en continuo funcionamiento para poder desarrollar su tarea de manera correcta, es decir, ambos deben trabajar en un ciclo continuo sin interrupciones y capturar información de posicionamiento y distancia de la mascota, por lo que se deberán tratar en paralelo.

Para ello, se hace uso de la biblioteca "*Multiprocessing*" la cual permitirá ejecutar los programas para cada función de manera paralela y sin interrupciones de los procesos de cada uno, al mismo tiempo que permite su interacción, por lo que se podrá realizar un único programa en donde se reciba la información de los *Beacons* y sea procesada con la información proveniente de la *Raspicam* durante la detección. Sin embargo, para ejecutar cada programa, será necesario definir una función donde se indique la ejecución de cada uno por medio de la terminal. También será necesario realizar el "*Multiprocessing*" para arrancar la transmisión, realizar la captura de media por el usuario o grabar video mientras que el dueño no visualice lo que sucede con su mascota.

Es importante mencionar que para los programas que deban ser ejecutado fuera de *python* como es el *Mumble* para la comunicación de audio durante la transmisión -la cual en modo automático arranca junto con el video cuando el usuario lo indique- es necesario hacer uso de la función de *python* "*Subprocess*" que permitirá al indicar por medio del método "*call([r,e])*" la ruta (r) donde , está instalado como la acción (e), ya sea el arranque o el cierre del programa.

Como se puede observar en la figura 5.31, el menú del modo automático simplemente indica si se quiere salir o iniciar una transmisión. Esto se debe a que, como inicialmente se espera que el sistema funcione sin que el usuario lo controle, no hay ninguna toma de decisiones que el dueño deba tomar. Durante esta etapa el sistema realizará una grabación de video por medio de la *webcam* y de su micrófono incorporado para tener registro de la actividad de la mascota. Sin embargo, durante el transcurso de día se busca visualizar q sucede con la mascota, pero sin tener que manipular al sistema, simplemente se inicia una transmisión de video y audio y se tiene la posibilidad de tomar fotografías y grabar video únicamente. En caso de que se quiera tener alguna interacción con la mascota se deberá cambiar el usuario a modo automático.

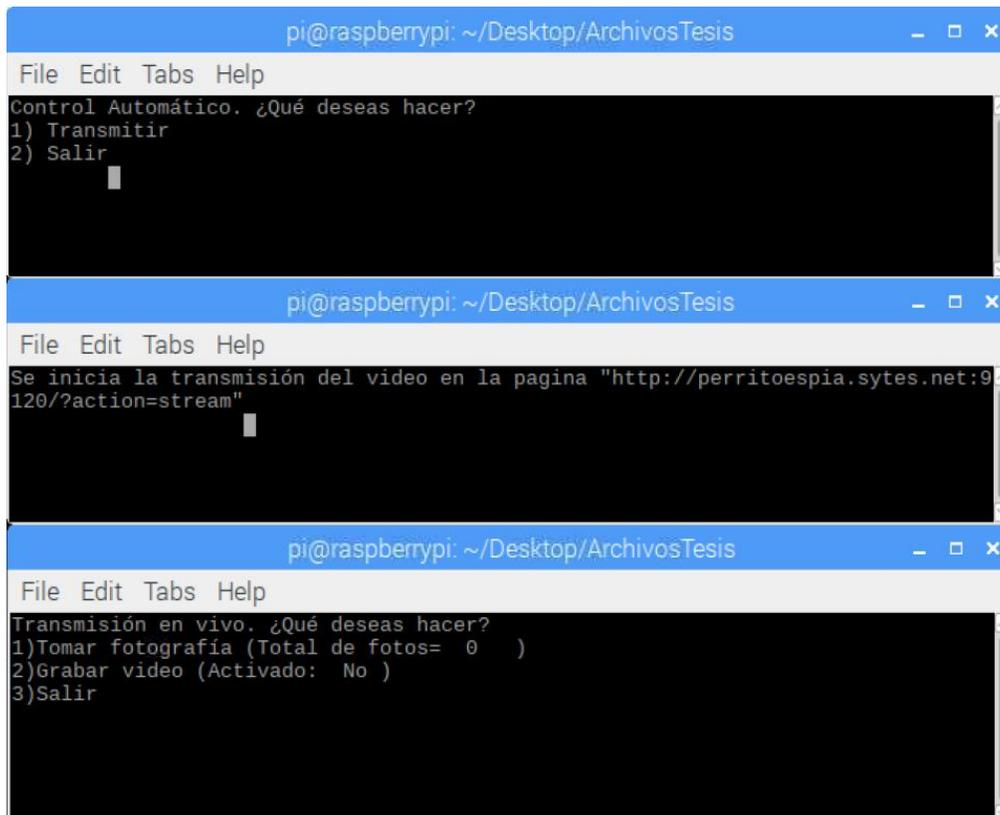


Figura 5.31. Menú final del modo automático del sistema con sus dos subfunciones.

Durante el funcionamiento automático del sistema, los motores tendrán también la asistencia de los sensores ultrasónicos para evadir obstáculos durante la marcha o evitar chocar cuando se vaya de reversa al alejarse. Además, se cuenta con una rutina de búsqueda en la cual -como sucederá al inicio de funcionamiento del sistema o al perder de vista a la mascota- inicialmente girará la cabeza de izquierda a derecha 2 veces en los 180 [°] que le permite el servomotor, por lo que se recomienda dejar al sistema en un ángulo de visión que pueda ubicar a la mascota fácilmente. En caso de que no se detecte nada el servo de la cabeza se centra y se procede a determinar por medio de los *Beacons* a qué distancia se encuentra la mascota del sistema -aún sin ser detectada- y en caso de encontrarse alejada, el sistema avanzará durante 4 [s] hacia una dirección, tras lo cual determinará si se encuentra todavía alejado o se ha acercado a la mascota. En caso de que el sistema se haya alejado aún más -el valor de *RSSI* disminuye- se hace un giro en un sentido aleatorio de 180 [°] aproximadamente y se continua en marcha. En el caso de que se encuentre el sistema alejado, pero más próximo a la mascota -el valor de *RSSI* aumenta- se avanza en la misma dirección. Finalmente, en el caso de estar en el anillo próximo, el sistema iniciará a girar en un sentido aleatorio sobre su eje con el fin de buscar en qué lado se encuentra la mascota, de manera que, al ser detectada la mascota, el sistema se posicionará a la distancia entre 1 [m] y 1.5 [m] y la seguirá como se ha comentado en los capítulos anteriores.

Para este modo, se realizaron pruebas en donde se mantuvo el collar iluminado a una altura aproximada al cuello de la mascota, como se mostró en las figuras 5.9 a la 5.11, pero ahora con

todo el subsistema de detección -*Beacons*, visión artificial y ultrasónicos- y de movimiento en funcionamiento de maneja conjunta con el fin de corroborar que se logra realizar el seguimiento como también de la búsqueda de la mascota correctamente.



Figura 5.32. Rutina de búsqueda cuando la mascota se encuentra aún alejada del sistema.

Como se puede observar en las figuras 5.33 y 5.34, el sistema respondió adecuadamente al seguimiento del collar, en donde incluso se llegó a evadir las patas de la mesa y sillas durante el seguimiento simulado por el equipo de trabajo en una de las pruebas, las cuales tuvieron lugar en la sala-comedor de un departamento cerca de la zona en donde se presentaba una mayor exposición de iluminación solar al estar al lado de un ventanal. De igual forma se realizaron pruebas al interior de la habitación, pero en una zona más oscura, donde se trabajó sin ningún problema, ya que es con la luz solar donde se pueden presentar mayores variaciones durante la detección por el sistema de visión artificial.

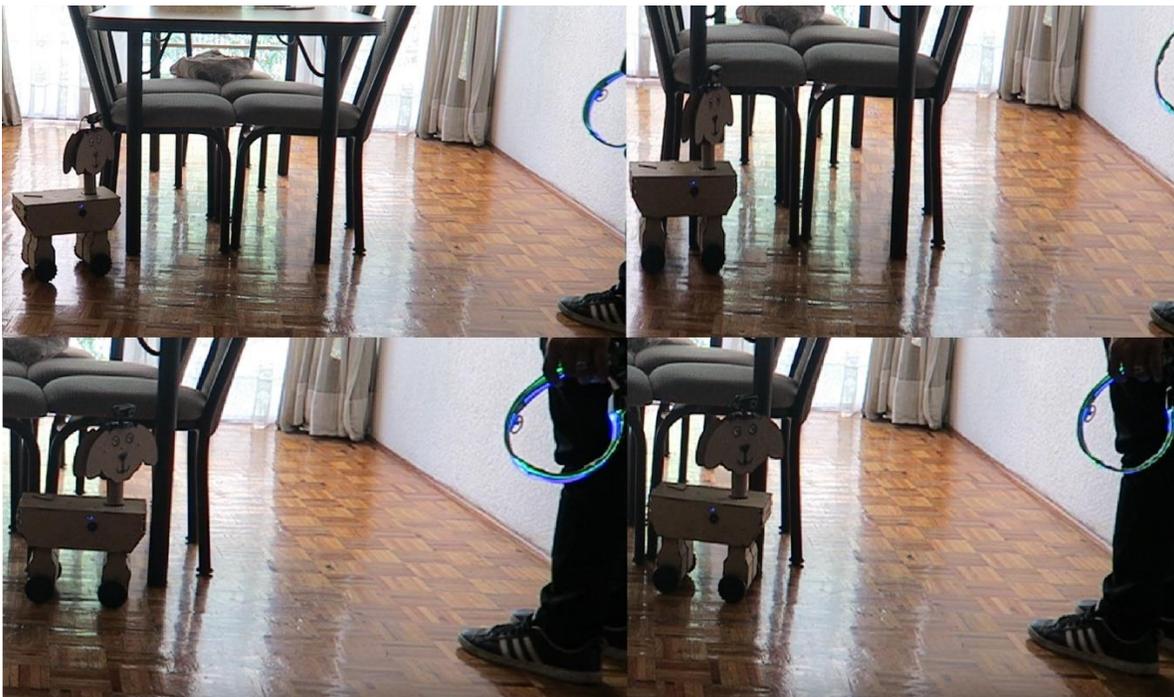


Figura 5.33. Asistencia de sensores ultrasónicos el seguimiento del collar.



Figura 5.34. Seguimiento del collar en modo automático del sistema.

Finalmente, como se muestra en la figura 5.31, la opción de “transmitir” simplemente activa la transmisión de video y audio en tiempo real lo que permitirá al usuario -desde la liga que se muestra y es la misma para el modo manual- observar y escuchar lo que sucede con la mascota, en donde se encontrará activa la bocina por si el usuario quiere hablar con ella o quiera llamar la atención si ve una acción a la cual le quiera llamar la atención. En esta etapa se le permite al usuario al igual que en el modo manual capturar fotografías o video.

Cabe mencionar que durante la programación del diseño conceptual y en esta última etapa de pruebas, se realizaron módulos o bibliotecas de *python* con el fin de reducir y organizar la cantidad de código en cada uno de los programas que integran las opciones de funcionamiento del sistema, por ejemplo, los direccionamientos de los motores, el control PID, los sensores ultrasónicos, captura de media, entre otros.

De esta forma se concluye que los subsistemas funcionan de manera adecuada dentro del chasis y en interacción entre ellos de acuerdo con la programación realizada para cada uno de éstos durante el capítulo III y el presente, junto con la elaboración de una sencilla interfaz para el usuario que se accede a través de *VNC*, con la que se puede seleccionar los diferentes modos de funcionamiento del sistema, como a los asistentes para la manipulación de los premios y la información dentro del sistema.

A continuación, se hablará con respecto a las pruebas de funcionamiento del sistema completo en condiciones controladas y reales, en las que se trabajará en los dos diferentes modos programados, manual y automático. Los dos tipos de pruebas que se realizarán para cada uno de los modos nos permitirá determinar la funcionalidad de la solución seleccionada para el

sistema desarrollado de acuerdo con los objetivos del presente trabajo, es decir, que permita supervisar e interactuar con una mascota cuando el dueño se encuentre separado de ésta.

Para la primera, se habla de condiciones controladas cuando el equipo de trabajo se encuentra junto a la mascota y dentro del espacio en donde estará sola, esto con el fin de probar su funcionamiento y poder observar lo que sucede de manera más directa, con la posibilidad de intervenir en la prueba en caso de ser necesario. Para el segundo tipo de prueba, se dejará a la mascota sola completamente por un lapso de una hora (periodo en el cual como se comentó en el capítulo I, se presentan en mayor medida los síntomas de ansiedad por separación), de manera que el equipo se moverá a una estación de trabajo alejada del hogar para que la mascota no pueda ni olfatear ni escuchar ningún ruido de personas conocidas, con el fin de simular lo mejor posible cuando ésta se encuentre sola al irse los dueños para realizar sus actividades fuera del hogar.

Para estas pruebas se contó con la participación de Daenerys, una perrita de raza mestiza, hembra, y de talla mediana de dos años; asimismo, ella participó en todas las pruebas hechas durante la realización del proyecto, mismas que ya han sido expuestas en capítulos anteriores. Es importante mencionar que la mascota tiene un gran afecto hacia sus dueños, de manera que cuando ésta se queda sola sufre ansiedad por separación diagnosticada por su veterinario cuando se le consultó el porqué de ciertas conductas de la mascota. En estas pruebas que se llevaron a cabo en 3 días distintos, la mascota estuvo libre, sin ningún tipo de restricción para moverse y hacer lo que ella quisiera, lo que anteriormente era difícil debido a su comportamiento cuando sus dueños abandonaban el domicilio.



Figura. 5.35. Daenerys lista para las pruebas y sistema en posición.

Además, estas pruebas se desarrollaron en una habitación cerrada, es decir, sin acceso a otra habitación más que la sala-comedor en donde cuenta con juguetes, su cama, bebedero y el espacio suficiente para moverse a gusto, en donde se evitó dejar objetos a su alcance que pudiera agarrar y entretenerse que no fueran sus juguetes. Para el caso de las pruebas en condiciones reales se le entregó a la mascota algún juguete relleno de algún alimento de gusto -o que le permita entretenerse mucho- para ésta, que permita distraerla de la partida del dueño de la habitación de prueba, tal como se comentó en el capítulo I, para lo que se utilizó un juguete de la marca *Kong*, con el cual la mascota está acostumbrada a jugar con o sin los dueños presentes, por lo que se tiene claro que no existe alguna relación con este juguete hacia la partida de los dueños.



Figura 5.36. Juguete de entretenimiento para perros capaz de rellenarse con comida [502].

V.1 Pruebas en condiciones controladas

Como se comentó, para estas pruebas se tendrá al equipo de trabajo presente durante el funcionamiento del sistema tanto en modo manual y automático, en la habitación en la que la mascota se quedará normalmente libre mientras que sus dueños no se encuentren junto a ella. Así, el equipo de trabajo se dividió en dos partes donde un integrante se encontró en una habitación aparte donde manipulará e interactuará con la mascota ya que simulará las acciones posibles que podría realizar el dueño, y otro junto con la mascota para supervisar el funcionamiento y acompañamiento del sistema a la mascota.

Primero, se inició con el modo manual en donde se realizará el control de movimiento y la interacción de la mascota con ciertas acciones del sistema a voluntad del dueño. Para ello, se accedió a la “opción 1” del menú del sistema -modo manual- y automáticamente se inició la transmisión en tiempo real de video y sonido como se muestra en la figura 5.37 en donde se observa la correcta comunicación de dos vías de la mascota, ya que en el monitor se puede ver a la mascota en tiempo real, así como escuchar el sonido captado por el micrófono de ésta al masticar su juguete.



Figura 5.37. Transmisión en tiempo real de la mascota desde otra habitación en modo manual.

De igual forma, se realizó la prueba de sonido por medio de la transmisión en donde el integrante que se encontraba en la habitación separada habló con la mascota, mientras que el otro integrante reportó la correcta reproducción de su voz por medio de la bocina. Sin embargo, en la figura anterior la mascota se encontraba entretenida con el juguete que se le dio al inicio de la prueba, pero no por esto se descartó que la mascota no atendiera, ya que en otras pruebas reaccionó a la voz del integrante.



Figura 5.38. Generación de sonidos pregrabado durante las pruebas de modo manual.

Así, el sistema se ubicó al centro de la habitación ya que la mascota se desplazó y se procedió a reproducir un par de sonidos pregrabados, los cuales el otro integrante del equipo que se encontraba junto a la mascota pudo escuchar y la mascota respondió a éstos ya que se acercó al

sistema y giró su cabeza al haber captado su atención como se puede observar en la figura 5.38. Como se comentó anteriormente, la transición entre el audio de la transmisión y los sonidos pregrabados al apagar la bocina para generarlos no causó ningún inconveniente en el funcionamiento del sistema, y tomó aproximadamente 2 [s] entre el apagado y el encendido del sonido de la transmisión, principalmente por el arranque del programa *Mumble*.

Posteriormente, mientras se mantenía la comunicación con la mascota, se realizó la entrega de un premio, que tras caer del sistema la mascota acudió por él sin miedo mientras el sistema se posicionaba para observarla. Cabe mencionar que el sistema ya contenía los premios antes del comienzo de las pruebas y en el transcurso de éstas los que fueron entregados no presentaron problema alguno para salir.



Figura 5.39. Entrega de un premio a la mascota mientras se comunicaba con esta.

En cuanto a la posibilidad de grabar video o tomar una foto, se realizó la prueba en distintos momentos de las sesiones de manera satisfactoria y se obtuvieron ambos archivos, los cuales se pueden observar en la figura 5.41 nombrados “FotoN” y “VideoN”, donde “N” es el número de archivo de acuerdo con el orden en que fueron capturados. En la figura 5.40 se puede observar cómo se veía la transmisión en vivo en la página *web* al momento de la captura de fotografía del lado izquierdo y del lado derecho se puede observar el momento en que se empezó a grabar el video.



Figura 5.40. Captura de fotografía y video durante las pruebas de modo automático.

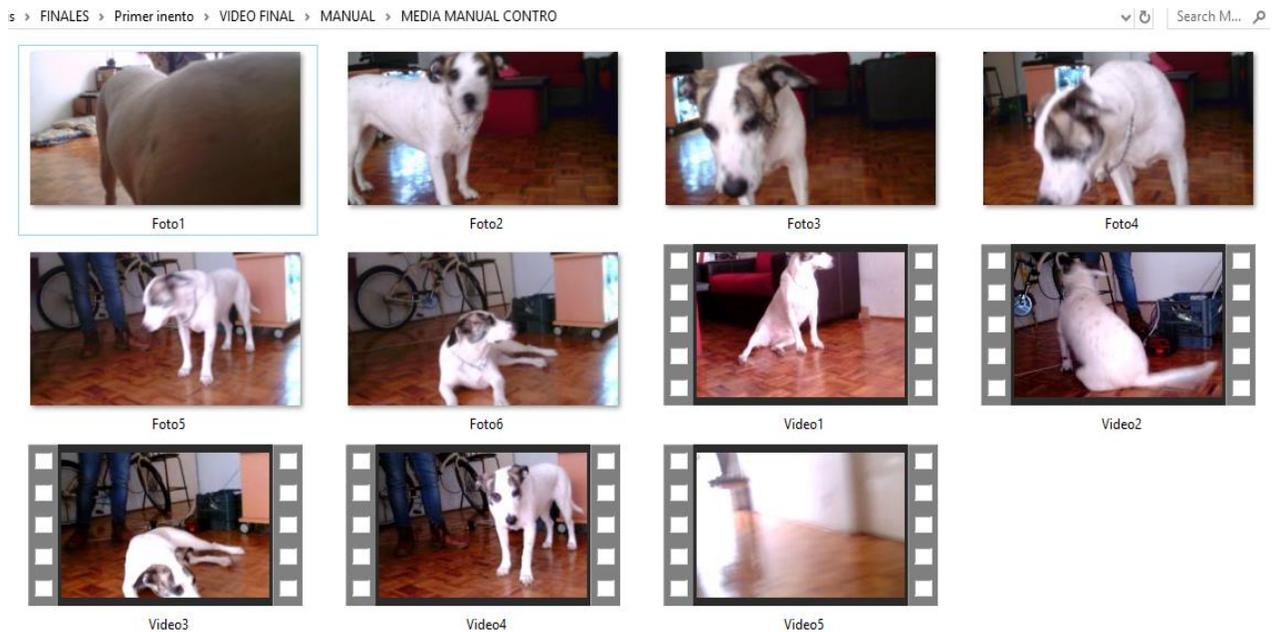


Figura 5.41. Archivos de media capturados durante una de las pruebas de modo manual.

Luego, se realizó la prueba de iluminación donde se encendieron los dos *LEDs* mientras que el sistema avanzaba y se colocaba en una posición para observar a la mascota mientras ésta se movía. Lo anterior se puede observar en la figura 5.42 en la que, aun cuando las pruebas se realizaron durante el día, se puede apreciar cómo el sistema ilumina parte del torso de la mascota.

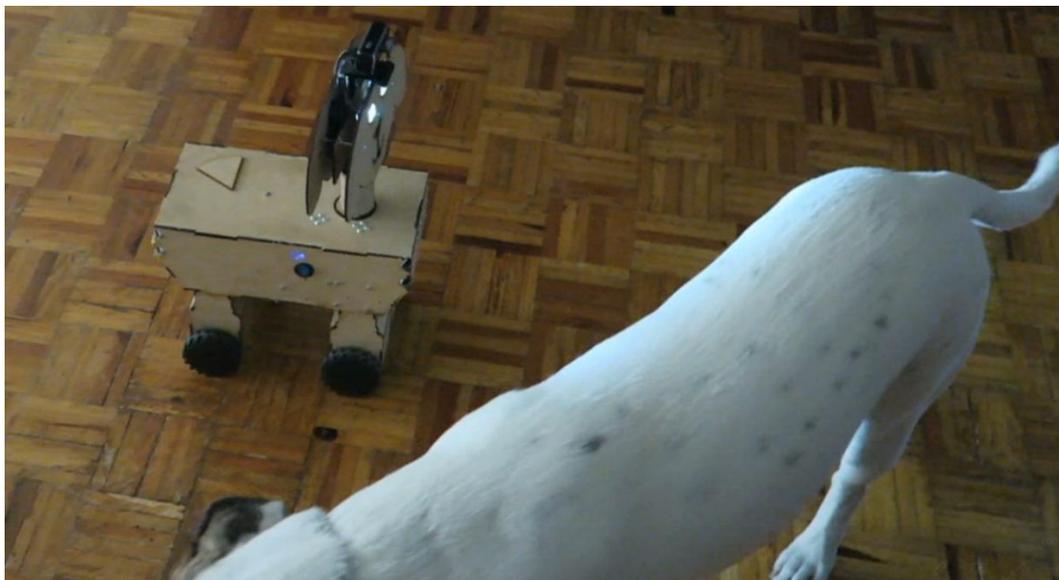


Figura 5.42. Prueba de funcionamiento de los *LEDs* durante el modo manual.



Figura 5.43. Funcionamiento de *LEDs* durante la noche.

En las figuras 5.43 y 5.44 se puede observar el funcionamiento del subsistema de iluminación durante el modo manual en donde es claro el beneficio que aportan estos elementos durante la supervisión en el caso de que sea de noche o hubiera muy poca iluminación en la habitación. Además, la mascota en ningún momento mostró algún signo de molestia por la iluminación de los *LEDs*.

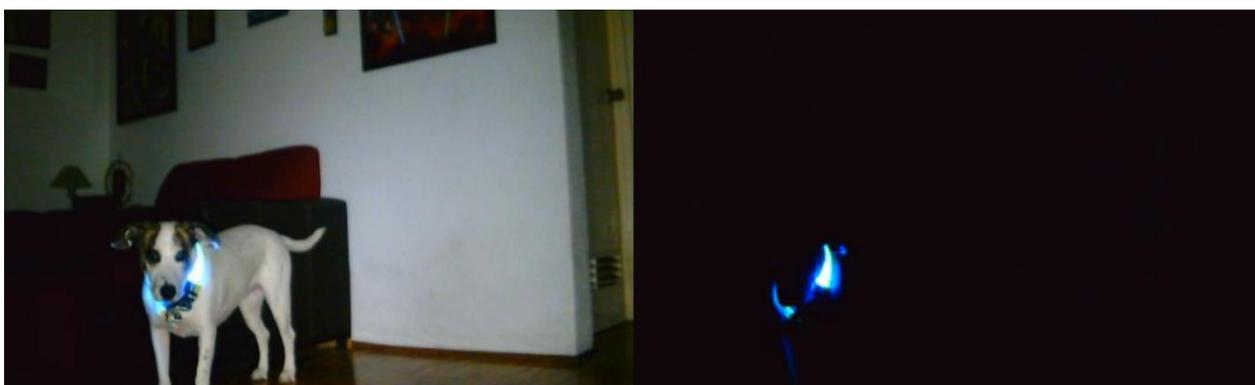


Figura 5.44. Diferencia con *LEDs* encendidos y apagados en la transmisión de video.

Durante el desplazamiento general del sistema no se presentó ningún problema al efectuar los movimientos definidos en el menú del modo manual junto con la asistencia de los sensores ultrasónicos, mientras que la velocidad establecida para este modo permitió en todo momento seguir los pasos de la mascota alrededor de la habitación. Sin embargo, durante esta prueba surgió un problema con el sistema de sonido durante la transmisión, ya que cuando se hablaba a la par que el sistema realizaba su marcha se producía un sonido parecido al soplar al micrófono del dueño, lo cual desaparecía poco después de que el sistema se detenía.

Por otro lado, durante las pruebas, la mascota no mostró ninguna señal de miedo o agresión hacia el sistema, y en varios momentos de éstas estuvo en posiciones de relajación como es el estar acostada en el suelo o caminar a través de la habitación con la cola baja (signo de tranquilidad de la mascota) sin mostrar tampoco signos de excitación durante el movimiento del sistema que pudiera entender como juego [503].



Figura 5.45. La mascota de prueba se encuentra tranquila durante las pruebas realizadas.

Debido a que las pruebas hasta ahora realizadas resultaron exitosas de acuerdo con el funcionamiento de los subsistemas en conjunto al permitir supervisar e interactuar con la mascota -al ejecutar todas las acciones posibles para el dueño en este modo- sin la presencia de algún percance, se procedió a realizar las pruebas en condiciones controladas del modo automático.

Así, una vez que se seleccionó la opción 2 -modo automático- del menú, el sistema posicionó la cabeza del chasis en su centro e inició la rutina de búsqueda, la cual detectó a la mascota gracias a su collar ya que se encontraba cerca del sistema. La rutina de búsqueda pudo detectar a la mascota en varios casos en los que se había perdido de vista, sin embargo, el tiempo de detección dependió principalmente de la posición de la mascota y si estaba en movimiento o no.



Figura 5.46. Detección de la mascota por parte del sistema tras su inicio.

Como ejemplo, se puede observar en la figura 4.47 con respecto a la rutina de búsqueda, la mascota al encontrarse en la parte posterior del sistema se encontró dentro del anillo “Cerca” de los *Beacons*, por lo que tras dar el sistema sus 4 giros de 180 [°] en búsqueda de la mascota,

éste comienza a girar sobre su centro hasta encontrar a la mascota a sus espaldas y proceder a su alejamiento hasta encontrarse a una distancia dentro del anillo “Adecuado” para poder supervisarla.



Figura 5.47. Rutina de búsqueda en acción durante pruebas de modo automático.

Por otro lado, el funcionamiento de los *Beacons* se pudo observar en varios momentos de la prueba, como en la rutina de búsqueda, cuando la mascota se alejaba del sistema o cuando la mascota se acercaba a éste y el sistema respondía al acercarse o alejarse según fuera el caso, lo que permitía una buena visibilidad de la mascota y su entorno, ya que se posicionaba a una distancia óptima para ello previamente establecida.



Figura 5.48. Alejamiento del sistema cuando la mascota se acercó a él.

Posteriormente, durante las pruebas se accionó la opción número 1 del menú del modo automático -Trasmitir- por lo que se inició la comunicación con la mascota para poder visualizarla y comunicarse con ella si así lo desea el dueño. Como se puede observar en la figura 5.49, la mascota hace un giro de su cabeza mientras que se habla con ella por medio de la bocina, por lo que se comprueba que la mascota atiende a la voz de sus dueños por este medio, como también el buen funcionamiento del subsistema de comunicación y de todos los elementos que lo integran, pues la comunicación de dos vías se realizó y tanto el dueño podía escuchar a su

mascota y ella a él. Ya que esta comunicación se efectuó varias veces en las pruebas y en todas se completó, se corrobora su funcionamiento cada que el dueño lo desee.



Figura 5.49. Comunicación con la mascota y grabación de video en modo automático.

Sin embargo, como fue para el modo manual se volvió a presentar la generación del sonido de viento en la bocina cuando el sistema realizaba algún movimiento con las ruedas y se comunicaba con la mascota en tiempo real, aunque también desaparecía una vez que el sistema se volvía a posicionar estático a una cierta distancia de la mascota durante el seguimiento de ella.

En el modo automático, fue importante verificar que el sistema siguiera adecuadamente a la mascota al tener el collar puesto y a su altura, lo cual dio resultados satisfactorios durante las pruebas en condiciones controladas. Como la mascota no se movía en gran medida, fue necesario estimular su movimiento ya que al estar presente un integrante del equipo junto a ella se encontraba sentada o acostada en una sola posición. Sin embargo, el seguimiento de la mascota arrojó resultados exitosos sin ningún inconveniente durante su marcha, al trabajar además coordinadamente junto con los demás elementos del subsistema de detección, al alejarse o acercarse a la mascota conforme la distancia, como también al evadir las paredes u objetos gracias a los sensores ultrasónicos sin perder de vista a la mascota durante el funcionamiento de estos elementos.



Figura 5.50. Seguimiento de la mascota cerca de una fuente de luz solar.

Como se puede observar en las figuras 5.50 y 5.51 el sistema sigue a la mascota sin acercarse demasiado o estar muy lejos, además trabaja de manera correcta en ambientes con iluminación solar, como lo es una parte de la habitación de pruebas y más alejado de la ventana donde había una luz artificial encendida. Asimismo, logró evadir los muebles y las paredes gracias a los ultrasónicos y el giro proporcionado por el servomotor en la cabeza hizo posible mantener la vista en la mascota, aunque el cuerpo estuviera girado o se encontraría en la realización de una maniobra para esquivar objetos y eso provocara que no estuviera centrado.

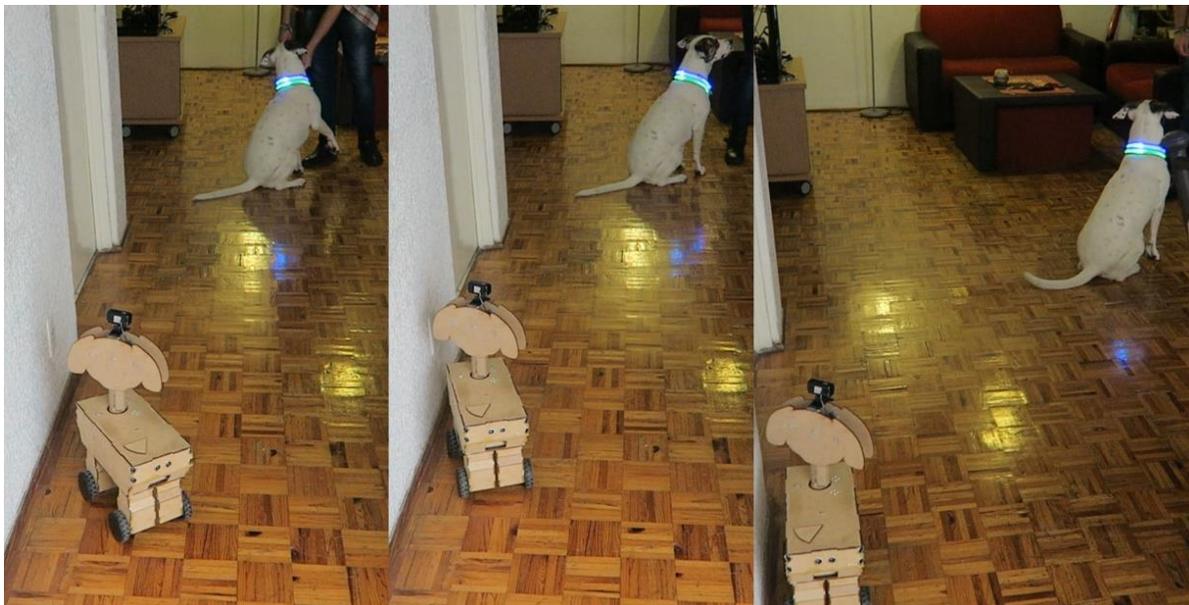


Figura 5.51. Evasión de choche con la pared gracias a los sensores ultrasónicos.

En el transcurso de las pruebas se pudo notar una situación en el seguimiento de la mascota. Cuando la mascota se movía bruscamente o cuando entre ésta y el sistema se encontraba un objeto que tapaba la visibilidad del sistema, se llegaba a perder de vista a la mascota, por lo que automáticamente se reactivaba la rutina de búsqueda. De esta forma, se volvía a buscar primero si la mascota se encontraba en el campo de visión dentro del giro de 180 [°] de la cabeza, o en su defecto si se encontraba lejos o cerca de la mascota, por lo que tras un lapso pequeño el sistema detectaba de nueva cuenta a la mascota y retomaba su seguimiento.

Sin embargo, existieron casos en los que la mascota al encontrarse detrás de algún objeto, pero cerca del sistema, fue necesario que la mascota se moviera de posición para que se retomara su seguimiento ya que por ese objeto no era posible detectar a la mascota aun cuando se determinaba que se encontraba cerca.

Por ejemplo, cuando entre el sistema y la mascota se encontraban las sillas de la mesa o una caja, la detección se interrumpía y se comenzaba con la rutina de búsqueda, sin embargo, cuando la mascota estaba quieta y se seguía en la posición de tener un objeto entre el sistema y ella, le llevaba más tiempo al sistema ubicarla en lo que la rutina de búsqueda lo hacía salir de la zona en la que se encontraba.

Asimismo, cuando la mascota se acercaba mucho al sistema y su cara se interponía entre la cámara y los collares por lo que los ocultaba, éste comenzaba a buscarla pues no veía al collar y no podía ubicarla; esto también pasaba si la mascota le daba la espalda y no se veía el collar pues agachaba la cabeza para recoger su juguete o un premio, en ese momento el sistema al no ver el collar comenzaba la rutina de búsqueda, aunque la mascota se encontrara cerca pero detrás suyo o enfrente, pero sin poder ver el collar.

Por otro lado, cuando la mascota se movía rápidamente, el sistema la perdía de vista y comenzaba a buscarla, aunque si continuaba en movimiento era difícil ubicarla y hasta que se quedara quieta o se iniciara la búsqueda al moverse todo el sistema, se lograba ubicarla y ya sea acercarse a ella si se encontraba lejos o quedarse en su lugar si la mascota estaba cerca de su posición. Enseguida, ya una vez que la tenía ubicada y si ésta se movía tranquila y caminaba el sistema podía seguirla sin problemas y mantenerse a una distancia adecuada cuando ésta se quedaba quieta.

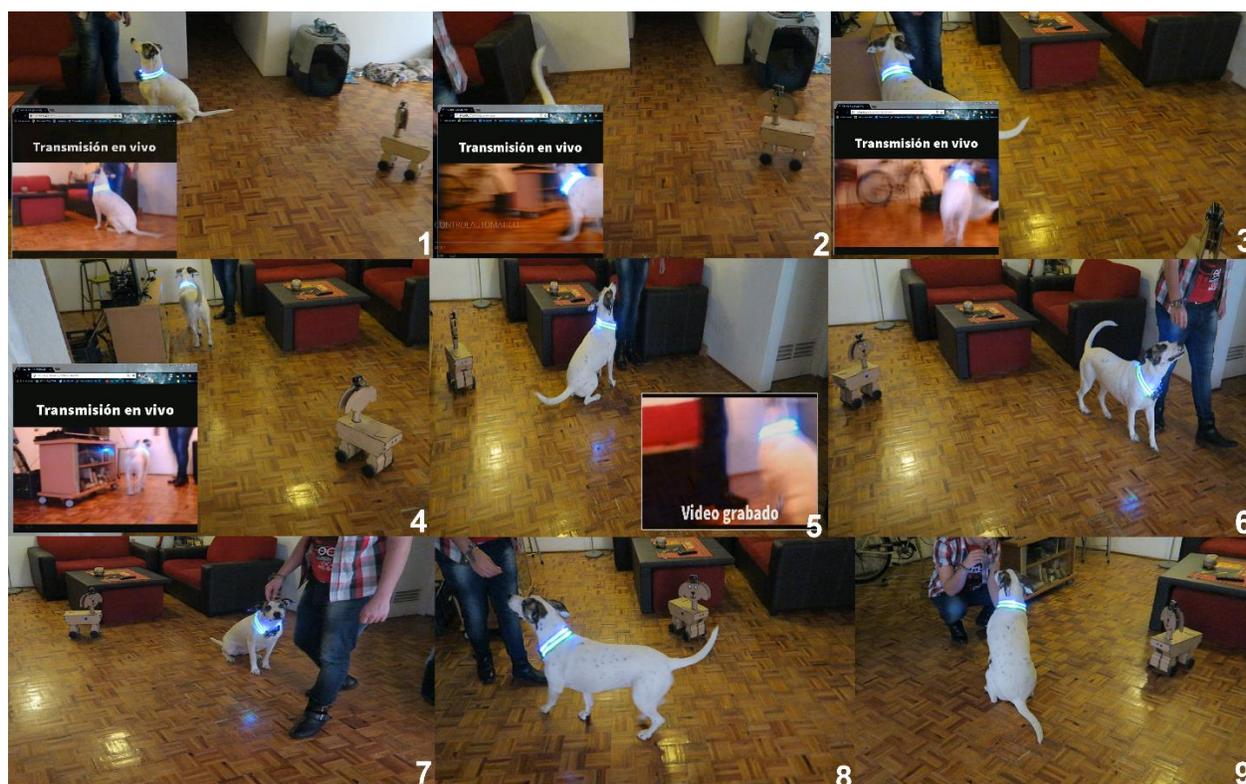


Figura 5.52. Seguimiento de la mascota, transmisión y grabación de video en modo automático.

Como ya se había comentado anteriormente, durante el modo automático se graba un video al iniciarlo, cuando el dueño no supervise a la mascota a través de la transmisión, estos videos se graban y se guardan cada que no está activa esta opción por lo que cada que se hacía la transmisión durante las pruebas se cortaba el video y se grababa uno nuevo al terminarla. En la figura 5.53 se puede ver que estos videos están disponibles en la carpeta “Automático” dentro de

la carpeta de "Video", donde el dueño puede acceder a ellos y revisar la actividad de su mascota cuando no lo pudo hacer en la transmisión.

Asimismo, las fotos que el dueño capturó y los dos tipos de video –aquel que se graba automáticamente en este modo y el que el dueño puede grabar cuando está en la transmisión en tiempo real- se encuentran guardados en el formato de "VideoN" y "FotoN", donde N indica el número en el orden que fueron tomados, mismo formato que para los archivos obtenidos en el modo manual, al continuar la sucesión numérica de archivos generados en este modo. Con lo anterior también se verificó el sistema de almacenamiento y se pudieron extraer vía el asistente de descarga de archivos –opción 4 "pasar archivos de media a *USB*"- a una memoria *USB* que fue colocada en la tapa superior del chasis en su ranura correspondiente.

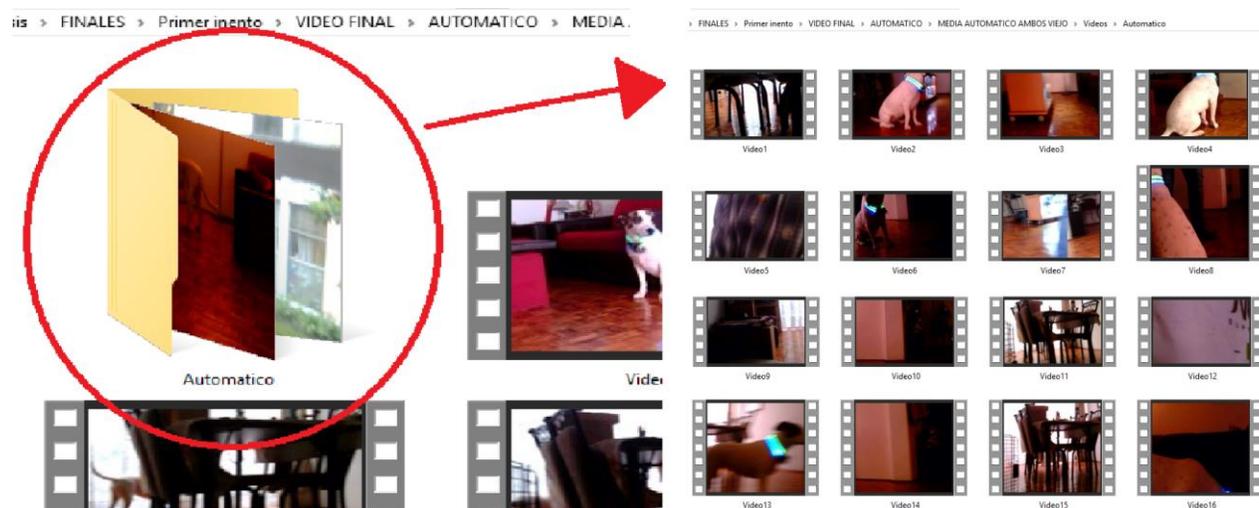


Figura 5.53. Videos grabados durante el modo automático.

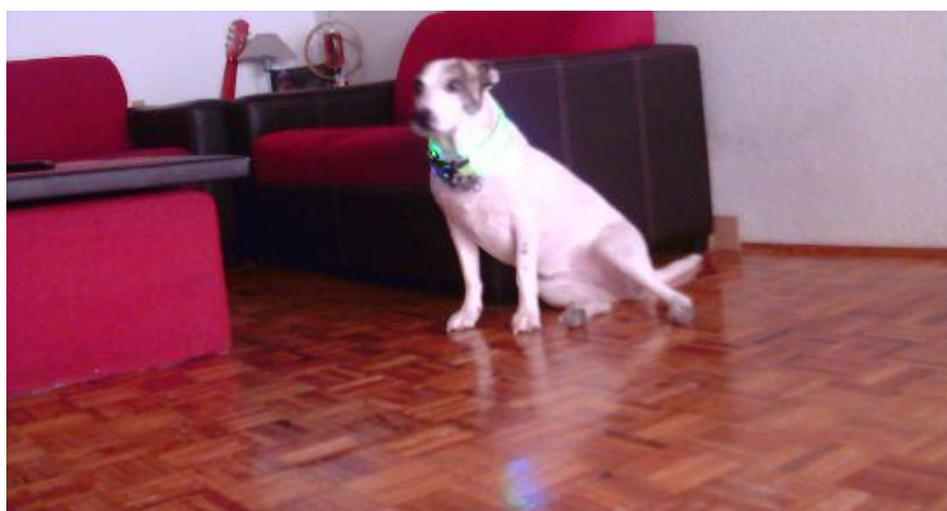


Figura 5.54. Fotografía capturada en una de las pruebas de modo automático.

Una vez concluidas las pruebas del modo automático en condiciones controladas en donde los subsistemas mostraron trabajar de manera conjunta y hacer funcionar al sistema de acuerdo a sus propósitos se procedió a continuar con las pruebas en condiciones reales, por lo que se preparó al sistema (carga completa del sistema y el collar junto con el abastecimiento de premios) y los miembros del equipo se desplazaron a una estación de trabajo lejos del domicilio para simular cuando el dueño parte a sus actividades y la mascota debe quedarse sola.

V.2 Pruebas en condiciones reales

Las pruebas realizadas en condiciones reales se llevaron a cabo en distintas sesiones con lapsos crecientes, es decir, se comenzó con 30 minutos, después 1 [h] y se finalizó con 4 [h], en las cuales el sistema se mantuvo activo, y en el caso de modo manual se probaron de nuevo todas las funciones disponibles, así como en el modo automático. Sin embargo, para el modo manual el tiempo de prueba fue en menor medida que para el modo automático, ya que al manipularlo y con las pruebas realizadas en condiciones controladas resulta sencillo manejarlo y seguir a la mascota.

De nueva cuenta, al hacer caso a las recomendaciones hechas en el capítulo I sobre los auxiliares para la ansiedad por separación, la mascota cuenta con un juguete lleno de premios al momento en que el equipo de trabajo abandonó el domicilio en el que la mascota se encontraría completamente sola junto con el sistema.



Figura 5.55. Inicio de las pruebas en condiciones reales.

Para el modo manual, al acceder a éste de manera remota y ejecutar un sonido pregrabado para saludar a la mascota al inicio de las pruebas, ésta aún se encontraba entretenida con su juguete, por lo que no se había percatado que su dueño había abandonado el domicilio ya, y, por lo tanto,

se pasó a posicionar el sistema a una distancia en la que se pudiera ver a la mascota jugar tranquilamente.

Después de un rato, la mascota dejó a un lado su juguete y se procedió a reproducir los sonidos pregrabados en varios momentos, en donde en ciertas situaciones como cuando la mascota se encontraba totalmente relajada al ver por la ventana o cuando parecía buscar algo -actividades cotidianas de ella cuando el dueño está en casa-, ella respondió a los sonidos con un giro de su cabeza mientras observaba a la cámara o con movimiento de sus orejas en respuesta a los sonidos, y en algunos casos acudió al sistema.

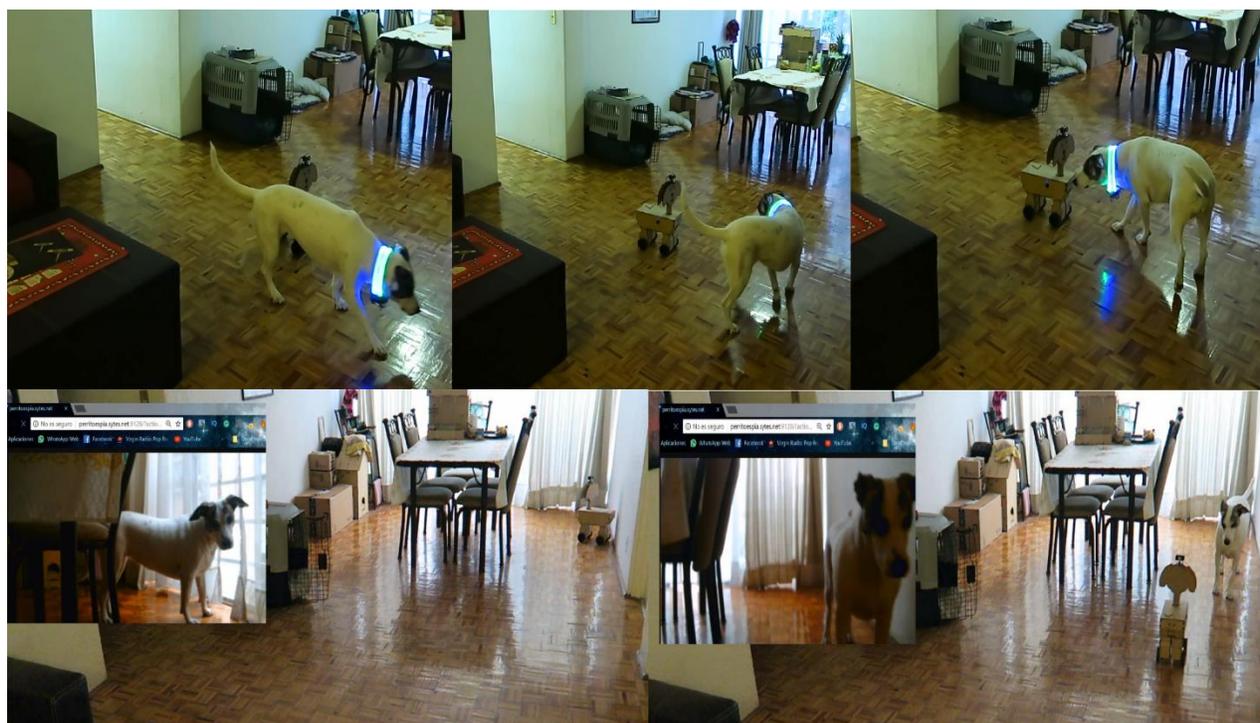


Figura 5.56. Reacción de la mascota a los sonidos pregrabados.

Por lo tanto, se puede observar que la mascota distingue los sonidos generados al lograr captar su atención y así poder llamarla en caso de que no se encuentre, para distraerla o en cierto momento llamarle la atención ante una actividad indeseada. Sin embargo, hubo casos en los que los sonidos pregrabados no pudieron captar su atención, por ejemplo, cuando estaba entretenida con su juguete o cuando en un momento comenzó a ladrar cerca de la ventana, aunque, justo en ese instante se reprodujeron repetidamente los sonidos de un “NO” enfático grabado por dueño y tras varios se logró disuadir de que continuara con los ladridos.

Así tras un “NO”, la mascota desvió la mirada como se observa en la figura 5.57, en la cual se aprecia como la mascota volvió a ladrar, pero en menor medida -igual que como hace cuando el dueño le llama la atención-, por lo que se presentó el cambio de los sonidos pregrabados para poder hablarle en tiempo real y corregirla y calmarla. Por lo tanto, el dueño continuó ahora con su voz con el llamado de atención mientras que se dirigió al sistema hacia la posición en la que se

encontraba la mascota para alejarla progresivamente de la ventana (figura 5.57), y aunado a las correcciones con la voz del dueño se logró que dejara de ladrar y se calmó, ya que se encontraba con la cola hacia abajo y ya no ladró.

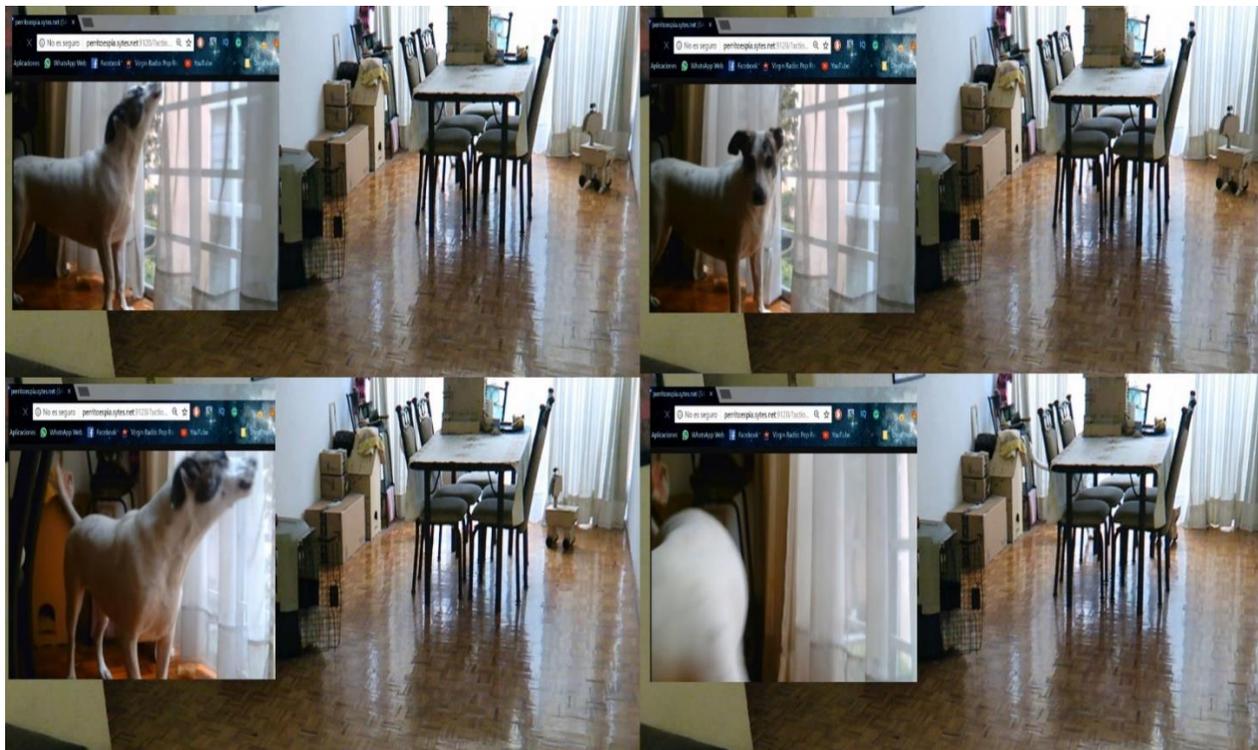


Figura 5.57. Mascota al ladrar y su llamada de atención.

Asimismo, el patrón de acudir al sistema se presentó al realizar las pruebas de comunicación de audio con la mascota, en donde al escuchar la voz de su dueño, se sorprendió por tal hecho y se dirigió hacia el sistema o como para los sonidos pregrabados, giró su cabeza u orejas.

Si bien los sonidos pregrabados lograron captar la atención de la mascota, se pudo notar que cuando el dueño hablaba se reaccionaba más, es decir, se lograba calmarla más rápido o corregirla cuando ladraba y también se notó que cuando el dueño le hablaba, la mascota le ponía mucha atención al sistema al grado de seguirlo alrededor de la habitación. Lo anterior probablemente se debe a que por medio de la comunicación de audio se da la posibilidad de que la mascota identifique los diferentes tonos conforme a cada situación.

Sin embargo, los sonidos pregrabados resultan útiles ya que son una manera rápida de comunicar comandos simples a la mascota o para captar su atención o buscarla, por lo que es importante que los comandos de voz sean grabados con el tono más parecido al que se utilizaría con la mascota en presencia del dueño. Asimismo, fueron los sonidos de llanto y ladrado de perros a los que más reaccionó la mascota en comparación con el sonido pregrabado de saludo o de su nombre por parte del dueño.



Figura 5.58. Comunicación del dueño por medio de la bocina con la mascota.

En otro momento durante las pruebas, la mascota presentó llanto mientras caminaba por la sala debido quizá por ver a través de la ventana a algún vecino conocido, por lo que se comenzó a hablarle a través de la bocina para poderla calmar, y tras un breve instante se logró, por lo tanto, se le entregó un premio después al estar relajada.

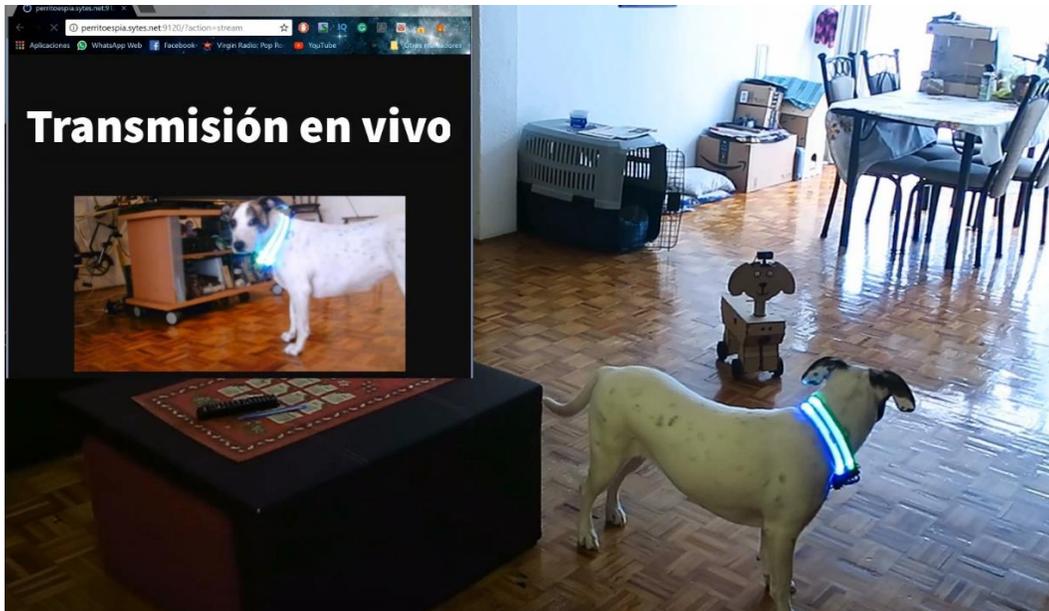


Figura 5.59. La mascota escucha a su dueño y se calma.

También, durante estas pruebas se realizó la actividad de esconder premios alrededor de la habitación mientras que la mascota se encontraba distraída del sistema, por lo que se movió al sistema hasta posiciones alejadas de la mascota y se soltaron premios, a los cuales la mascota acudió inmediatamente tras ser entregados y se dirigió a ellos mediante su olfato y su audición, ya que al parecer la mascota relacionó durante las pruebas el sonido generado por el servomotor del carrusel con la entrega de un premio, relación que podría llegar a ser útil en casos en que sea necesario distraerla.



Figura 5.60. Mascota al ir por el premio escondido en la habitación.

Al igual que se puede observar en la figura 5.59 y 5.60, el subsistema de iluminación permitió durante estas pruebas poder desplazar al sistema y observar a la mascota en ambientes oscuros como fue en el pasillo en el que se dejó el premio escondido para la mascota.

La iluminación proporcionada por el sistema sirvió para el área que aun cuando era de día se encontraba oscura y no se presentaron señales de molestia por parte de la mascota, como se puede observar en la figura 5.60 del lado izquierdo es difícil observar a la mascota con claridad cuando se adentra en el pasillo, mientras que con la luz encendida del sistema se puede observar a la mascota y su alrededor, lo que es útil en casos de que la mascota haga algo indeseado o se acceda al sistema en algún horario nocturno y no se haya contemplado dejar alguna fuente de iluminación para la mascota.



Figura 5.61. Asistencia del subsistema de iluminación en ambientes oscuros.



Figura 5.62. Mascota sigue al sistema tras escuchar la palabra "Premio".

De igual forma, durante las pruebas se notó que la mascota identificó cuando el dueño por medio de la bocina mencionaba la palabra “premio” -figura 5.61-, ya que movía la cabeza al escucharla y se acercaba al sistema e incluso olfateaba la parte trasera que es donde se encuentra la salida para los premios.

Por lo tanto, esto podría ser útil para distraerla cuando ladre o alguna actividad no deseada por parte del dueño, ya que como se expuso en el capítulo I los perros asocian los reforzamientos a las actividades inmediatamente anteriores a éstos, entonces, si la mascota es atraída por la voz del dueño cuando se diga la palabra “premio” -u otra que presente los mismos signos expuestos- y se llega a calmar o distraer de lo que hacía, se puede soltar un premio para reforzar su conducta calmada.

Es importante mencionar que la entrega de premios solo se realizó cuando se observaba que la mascota estaba relajada, cuando el dueño quiso jugar con ella para ponerla activa al esconder los premios o después de que la mascota estuviera inquieta y se relajara, en señal de una recompensa, aunque siempre se tiene presente que este recurso solo puede ser utilizado 5 veces, por lo que el dueño deberá decidir en qué ocasiones lo ocupará de acuerdo con el comportamiento de la mascota.

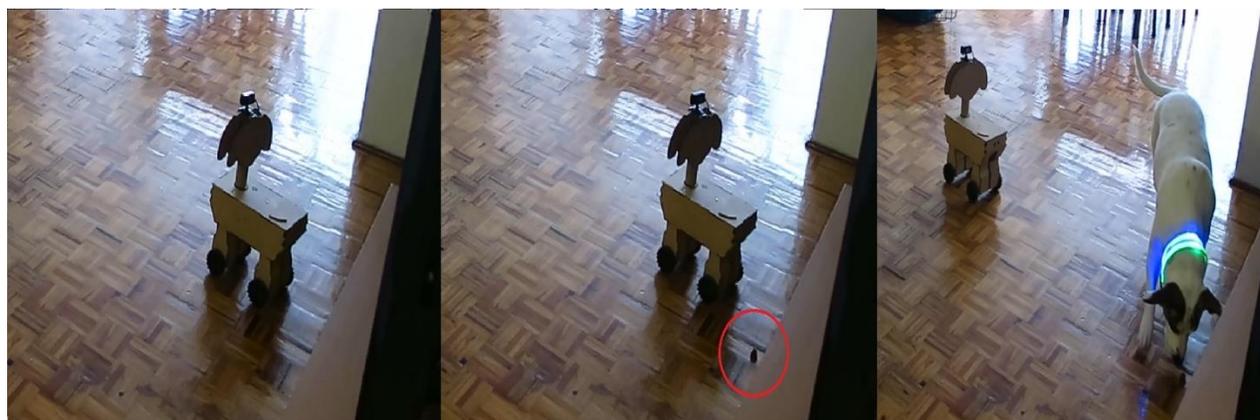


Figura 5.63. Entrega de premio a la mascota.

Por otro lado, con respecto al movimiento del sistema, se logró a lo largo de las pruebas un desplazamiento adecuado para poder seguir y supervisar a la mascota a través de la transmisión en tiempo real del sistema. Estos movimientos no presentaron ningún inconveniente al igual que en las pruebas en condiciones controladas, al poder visualizar a la mascota a distancia y con el tiempo suficiente para el dueño de cambiar la dirección si fuera necesario.

En las figuras 5.63 y 5.64 se presenta el seguimiento de la mascota más concurrente durante las pruebas en donde va desde la mitad de la sala hasta la ventana por uno de los costados de la mesa del comedor. En la primera figura, es posible ver la secuencia de seguimiento del sistema con respecto al movimiento de la mascota desde la perspectiva de la cámara colocada durante las pruebas en condiciones reales, mientras que en la segunda figura se puede ver el mismo movimiento, pero ahora desde el punto de vista de la transmisión en tiempo real.

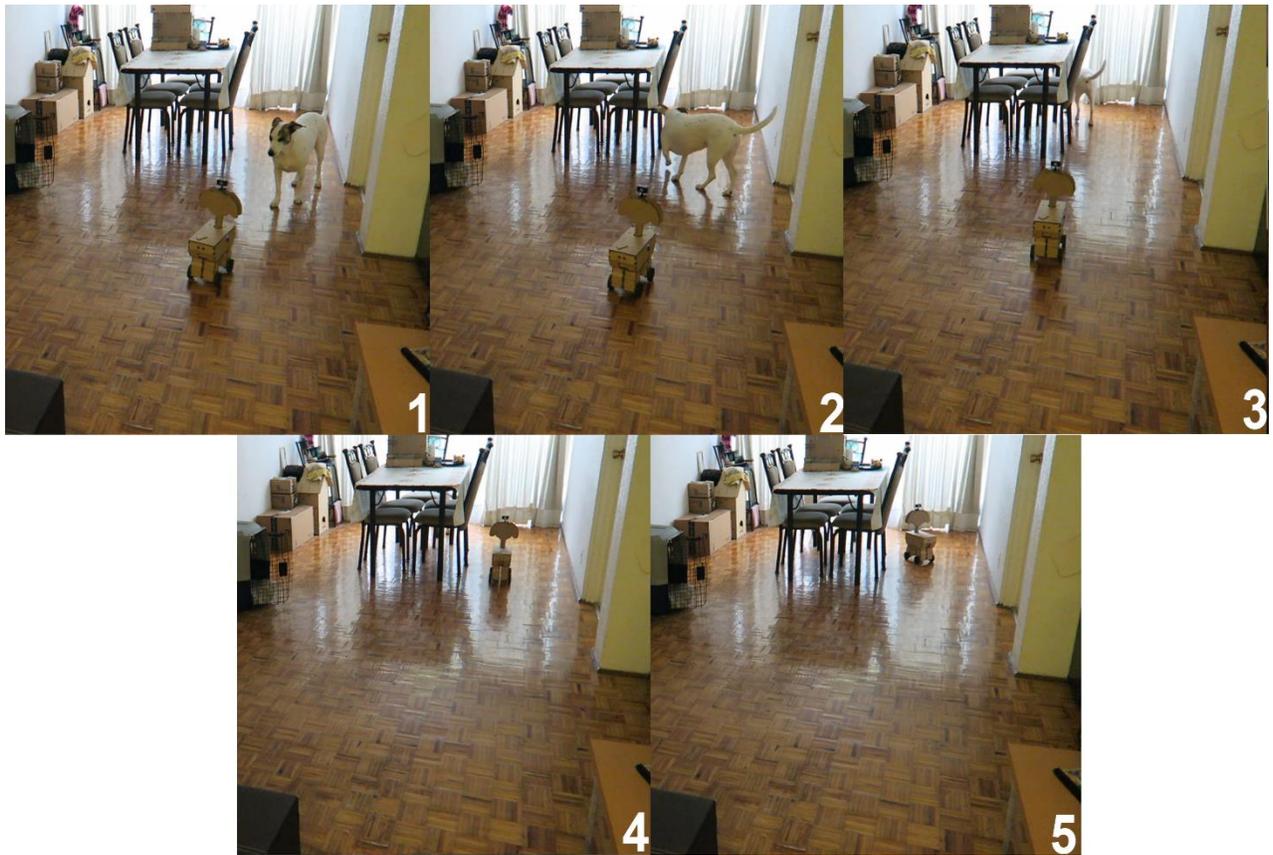


Figura 5.64. Seguimiento de la mascota en modo manual en condiciones reales.



Figura 5.65. Seguimiento de la mascota visto desde la Webcam.

Asimismo, hubo casos en los que no fue necesario el seguir a la mascota e ir tras ella, ya que con la mera rotación del sistema sobre su eje se podía lograr visualizar la trayectoria de la mascota desde ciertas posiciones en las que se encontraba el sistema, y con el simple giro se abarcaba todo el movimiento de la mascota. Como ejemplo se tiene la figura 5.65 en donde, desde una posición aproximadamente céntrica de la sala, fue posible visualizar el recorrido de la mascota, mismo que se pudo ver desde una esquina al final de la mesa como la imagen 5 de la figura 5.63.

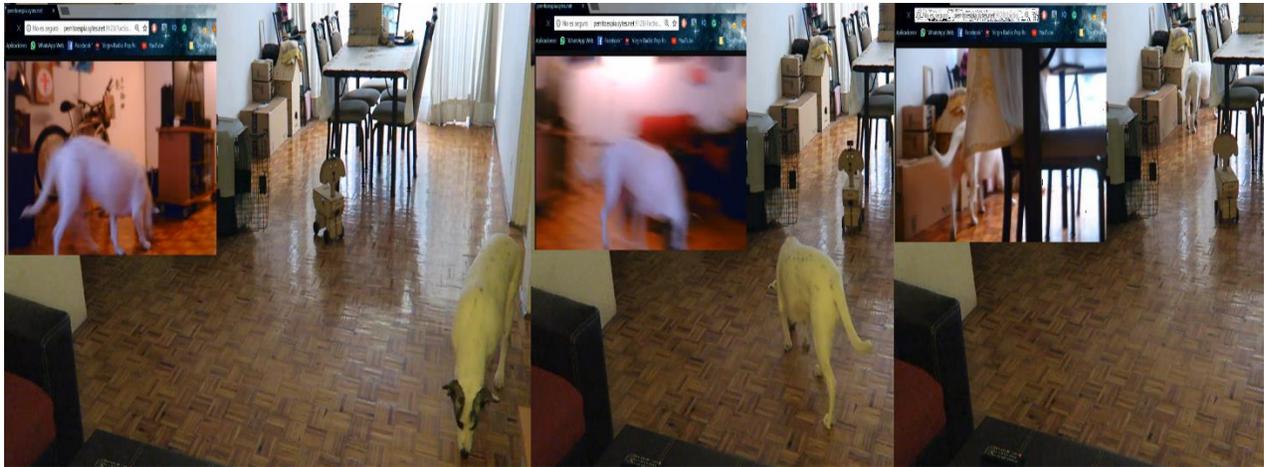


Figura 5.66. Seguimiento con rotación sobre el eje del sistema.

A lo largo de todas las pruebas realizadas en modo manual en condiciones controladas se realizó la captura de fotografías y video en ciertos momentos en donde se pudiera apreciar completamente a la mascota a través de la transmisión en tiempo real. Estos archivos fueron capturados de manera correcta como sucedió anteriormente, y se generaron de acuerdo con el patrón establecido para los nombres de éstos y en el direccionamiento deseado para una correcta descarga por el dueño vía *USB*.



Figura 5.67. Fotografías tomadas durante las pruebas en condiciones reales en modo manual.

Es importante destacar el hecho de que la toma de fotografías y de video es una función independiente una de la otra, es decir, es posible realizar la captura de fotografías mientras se graba un video al mismo tiempo.

Por otro lado, en cuanto a la transmisión en tiempo real se pudo notar que se vio afectada, donde incluso se llegó a detener y en otras ocasiones presentó retraso, por lo que se pensó que esto es causado por la velocidad y señal de conexión a internet por parte del usuario. Para estas pruebas, como fue necesario encontrarse lejos de la mascota, se utilizó la señal proporcionada por los teléfonos celulares, y en ciertas ocasiones la señal bajó y como consecuencia se llegaron a presentar estos inconvenientes, sin embargo, éstos desaparecieron al estar cerca a una señal de un módem o al estar conectado a éste.

Aunque, como los videos que fueron grabados se basan de la transmisión presentada al usuario, lo anterior no ocurrió ya que son hechos con base en el internet del hogar en el que se encuentra el sistema, por lo que, si se tiene una conexión estable, a una buena velocidad y con buena señal, éstos serán producidos sin presentar algún desfase.



Figura 5.68. Video grabado durante una prueba en condiciones reales en modo manual.

Finalmente, al igual que en las pruebas en condiciones controladas, la mascota aun cuando se encontraba sola junto con el sistema después de haber pasado tiempo encerrada en estas circunstancias, no mostró ninguna señal de miedo o ataque hacia al sistema, tomando posturas que expresaron relajación y tranquilidad en la mascota, como fue la cola baja o tomar una posición acostada durante sus actividades cotidianas. Además, durante las pruebas realizadas se logró superar los primeros 30 minutos después de que el dueño dejara sola a la mascota sin ningún accidente y se pudo calmar en los casos que llegó a presentar llanto o ladridos.



Figura 5.69. Mascota tranquila junto al sistema durante las pruebas en modo manual.

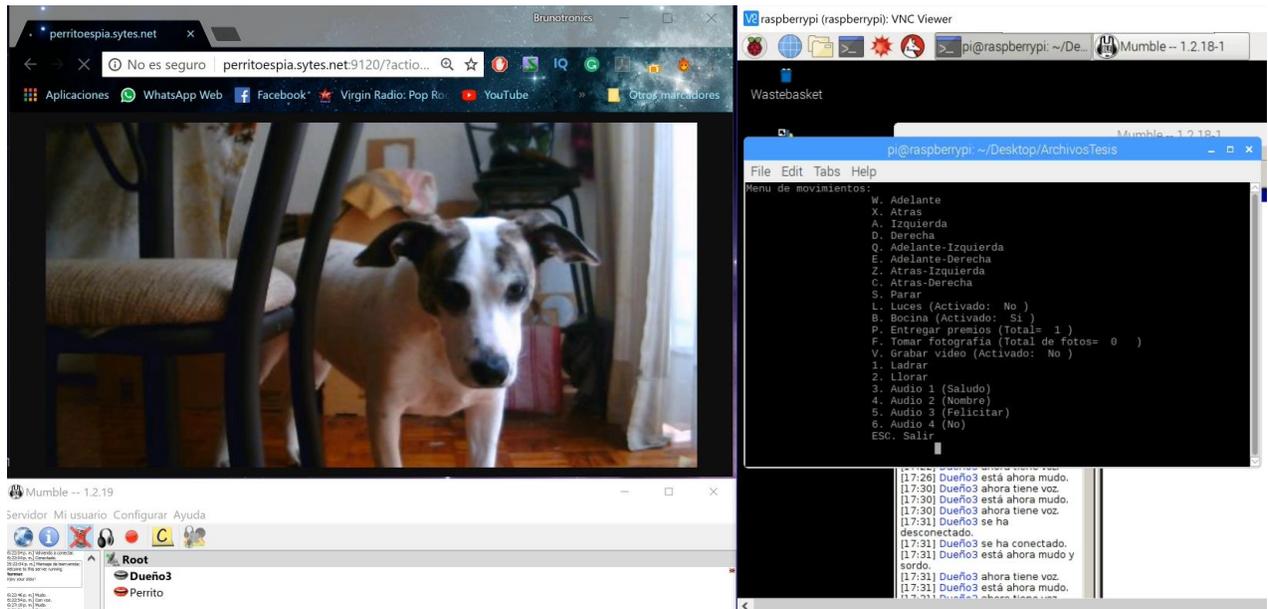


Figura 5.70. Vista desde una computadora de la transmisión de video, audio y menú manual.

En la figura 5.69 se puede observar de lado derecho el menú final del modo manual del sistema presentado por *VNC Viewer*, en el que se encuentran todas las funciones posibles a realizar por parte del dueño para la supervisión e interacción con su mascota, mientras que del lado izquierdo se muestran los elementos de la transmisión en tiempo real, en la parte superior se encuentra el video desde la página web cread por *MJPEG-Streamer* y debajo de éste se puede apreciar la interfaz de *Mumble* para la comunicación del audio del dueño.

Posteriormente se realizaron las pruebas en condiciones reales del modo automático, las cuales se iniciaron de la misma forma que el modo manual, es decir, el equipo de trabajo se trasladó de nueva cuenta a una estación de trabajo remota y antes de la partida del dueño, se le entregó un juguete con comida a la mascota. Por lo tanto, la mascota se quedó entretenida con su juguete los primeros minutos después de que el dueño saliera del hogar, pero ahora el sistema empezó a seguirla un poco antes de que se encontrara la mascota sola, ya que en el modo automático del sistema no es necesario que el dueño se encuentre conectado al sistema para tomar alguna acción para el seguimiento de la mascota.

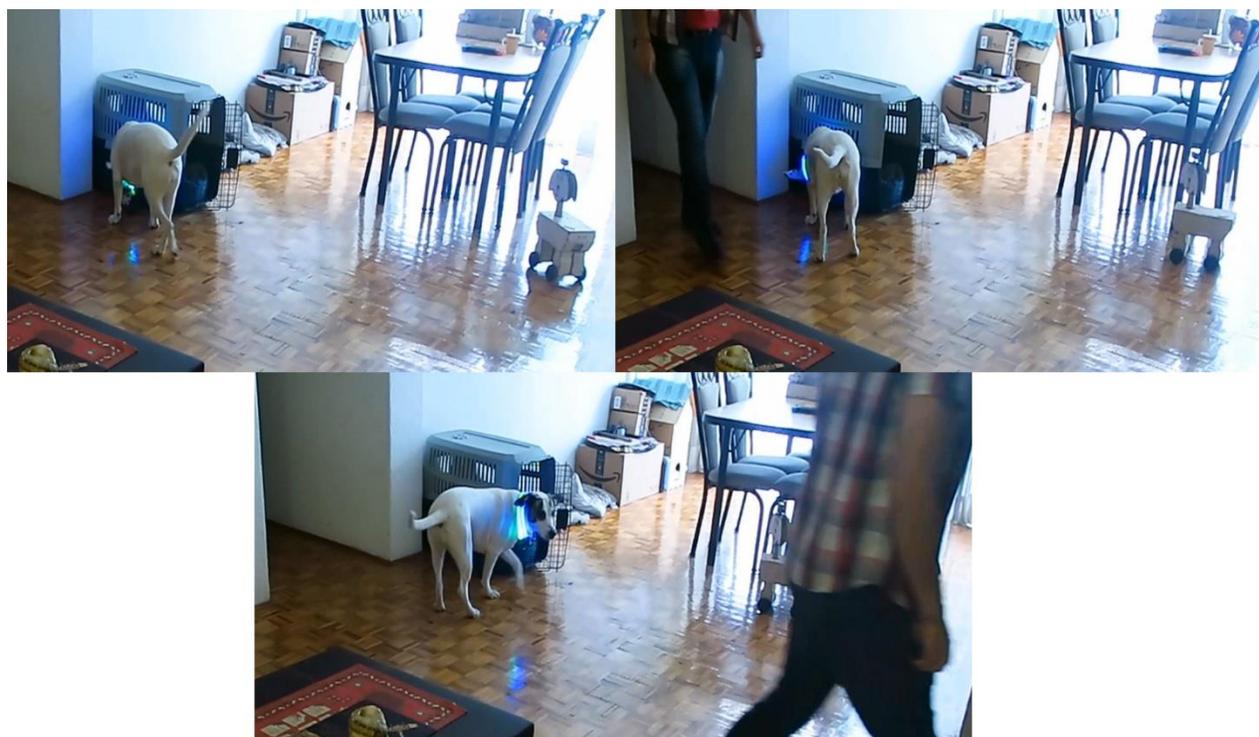


Figura 5.71. Sistema activado previamente a la partida del dueño.

De igual forma, cuando se activa el sistema en modo automático, se comenzaba la grabación de video automáticamente como se muestra en la figura 5.71, la cual permitirá al dueño poder observar la actividad de la mascota cuando no se encuentra conectado a la transmisión. Esta función es muy importante ya que cuando el dueño se va implica cierto tiempo de traslado a donde se dirige y por lo tanto, puede no prestar atención con lo que pasa con la mascota ya que no se activará la transmisión en tiempo real, entonces, como ya se comentó en el capítulo I, los

primeros minutos en los que se va el dueño son donde se manifiestan en mayor medida los síntomas de ansiedad y al tener un registro de ellos gracias a la grabación se puede tener un mejor análisis de la condición de la mascota lo que ayudará en su tratamiento.

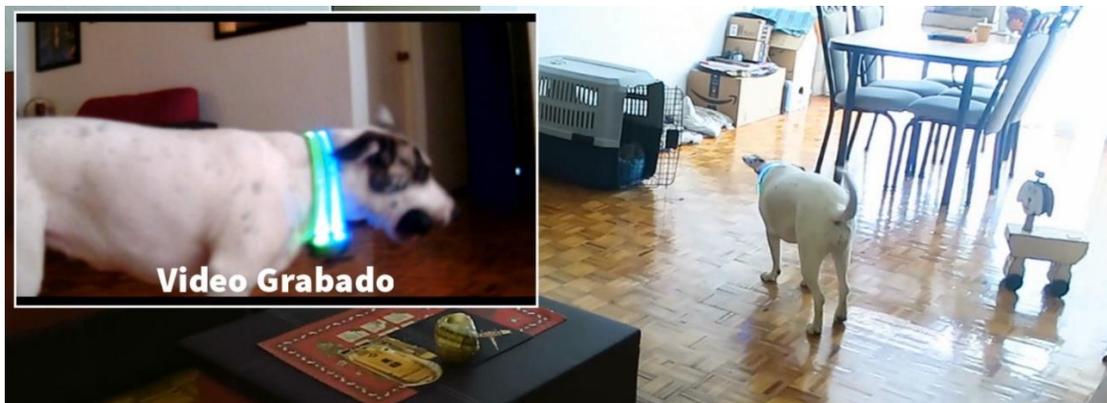


Figura 5.72. Se inicia automáticamente la grabación de video.

Sin embargo, los videos obtenidos durante las sesiones de pruebas en modo automático resultaron ser de corta duración ya que al no ser tan grande la distancia del departamento en donde se hicieron las pruebas y la estación remota de trabajo -además de que la mitad del equipo de trabajo ya se encontraba allí- se accedía a la transmisión al poco tiempo en que se iniciaban las pruebas para visualizar a la mascota y el funcionamiento del sistema.

Además, durante estas pruebas se llegaron a presentar ciertos casos en los que los videos -al no activar la transmisión por un tiempo prolongado no mayor a los 5 minutos- resultaron encontrarse cortados o con una duración inferior a la esperada. Lo anterior puede ser a causa de que, al momento de juntar el sonido y el video, el sistema por el rendimiento o por todos los demás procesos que realizaba simultáneamente, decidiera terminar con el proceso de unión de estos archivos multimedia ya que se corroboró que ambos archivos previos a este proceso se encontraban completos en duración. Por lo que para obtener un video completo se podría llevar a cabo la unificación una vez que el sistema se encuentre junto al dueño previo a su extracción vía *USB*.

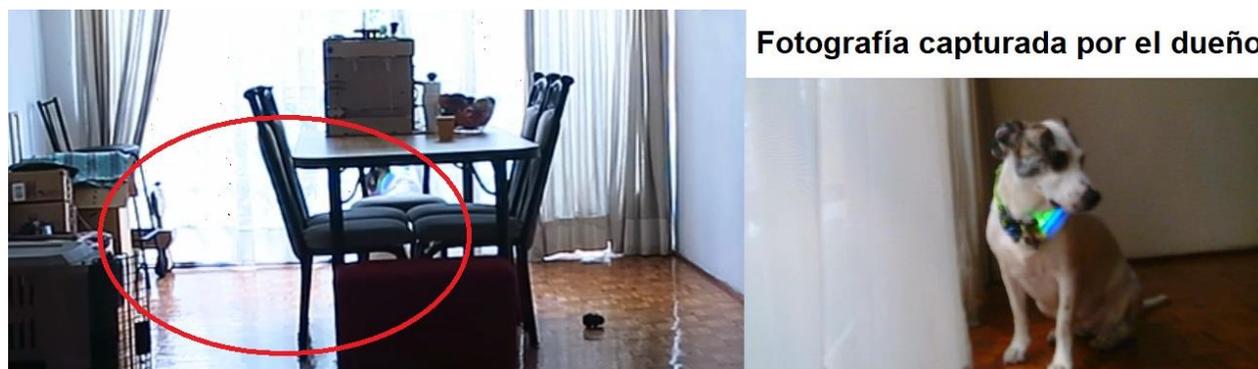


Figura 5.73. Captura de fotografías durante las pruebas en modo automático.

Por otro lado, a lo largo de las pruebas se capturaron en diferentes puntos fotografías de la mascota cuando ésta se encontraba tranquila, donde se observa que el posicionamiento del sistema permite visualizar a la mascota por completo como se muestra en la figura 5.72, también cuando se encontraba sentada y veía por la ventana, actividad muy concurrente durante las pruebas realizadas. Asimismo, los videos capturados durante la transmisión se produjeron correctamente como fue para las pruebas en condiciones controladas, al capturar breves momentos en los cuales el sistema se encontraba frente a la mascota y se podía apreciar lo que hacía.



Figura 5.74. Fotografías tomadas durante la transmisión.

Durante las pruebas mientras se realizaba la supervisión de la mascota por medio de la transmisión, al activarse de manera automática junto con la transmisión la opción de poder hablarle, se intentó en distintos momentos hablar con la mascota; como se muestra en la figura 5.74 la mascota respondía a la voz del dueño y volteaba a ver al sistema o movía sus orejas, mismos comportamientos ya presentados anteriormente al escuchar sonidos familiares para la mascota.



Figura 5.75. Mascota atiende a voz del dueño durante la transmisión.

Cabe mencionar que esta opción de poder comunicarse con la mascota durante la transmisión puede llegar a ser desactivada a través del *Mumble* en su opción de *Mute* para enmudecer al micrófono del dueño, sin tener que dejar de escuchar lo que hace la mascota.

Sin embargo, estas pruebas no fueron la excepción en cuanto a la generación del sonido de viento reportado anteriormente, en donde incluso se llegó a presentar con mayor notoriedad durante el movimiento del sistema, sonido que se podía evitar al enmudecer al micrófono y hablarle a la mascota una vez que el sistema mantuviera fija su posición junto a la mascota.

Debido a este problema, se presentó un caso en que la mascota comenzó a ladrar, al parecer porque un vecino conocido pasó cerca de la ventana en algún momento durante las pruebas. Entonces, como fue un momento en que se encontraba activa la transmisión y se escuchó que la mascota ladraba, se activó inmediatamente la opción de poder hablarle por *Mumble* para calmarla. Sin embargo, se presentó el ruido de viento en la bocina -aun cuando el sistema se encontraba parado junto a la mascota- y la mascota no prestó atención al no escuchar con claridad a su dueño, pero se pudo notar que en ciertos momentos lograba distinguir la voz del dueño del ruido producido -figura 5.75-, ya que llegó a voltear a ver al sistema y mover sus orejas como cuando el dueño le habla, y se calmó por unos pocos segundos para volver a ladrar al no recibir correctamente la llamada de atención.



Figura 5.76. Presencia de ladridos de la mascota durante pruebas de modo automático.

Por otro lado, durante las sesiones de prueba se pudo apreciar mejor el desempeño del seguimiento de la mascota por parte del sistema, ya que el sistema trabajo por largos periodos de manera autónoma sin intervención del equipo de trabajo. Como se puede ver en la figura 5.76, el sistema fue capaz de hacer un seguimiento a la mascota a una distancia adecuada para poder observar su comportamiento.



Figura 5.77. Seguimiento de la mascota mientras juega por la sala.

Asimismo, fue en estas pruebas donde se comprobó en mayor medida el funcionamiento de las rutinas de búsqueda del sistema una vez que pierda contacto con la mascota, donde primero se busca en un ángulo de visión de 180 [°] y posteriormente se desplaza por la habitación conforme qué tan cerca o lejos se encuentre separado de la mascota.

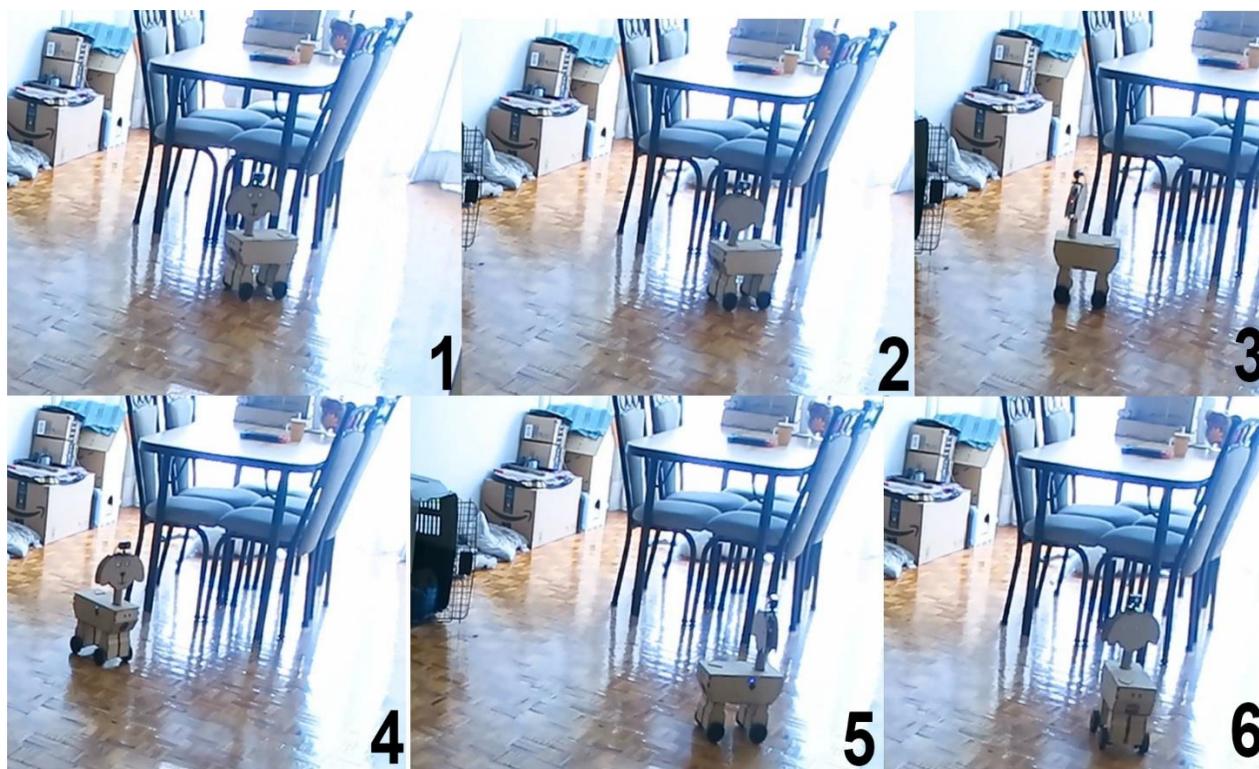


Figura 5.78. Rutina de seguimiento de la mascota al estar el sistema lejos de ella.

Así, como se puede ver en la figura 5.77 se tiene la rutina de búsqueda de la mascota en donde en las imágenes 1 y 2 se hace la búsqueda en un ángulo de 180 [°] gracias al servomotor de la cabeza del sistema, donde se centró después de 4 giros para iniciar el movimiento de búsqueda con base en el anillo de aproximación que, para este caso fue “Lejos” por lo que el sistema avanza por un cierto tiempo en línea recta para posteriormente hacer un giro de

aproximadamente 180 [°] con el fin de acercarse lo más posible a la mascota ya que en todo momento se evalúa los valores proporcionados por los *Beacons* y eventualmente detectarla. Lo anterior se puede apreciar en las demás imágenes de la figura 5.77 en donde se detectó a la mascota en la última de éstas.

Durante las pruebas realizadas, la rutina de búsqueda pudo ubicar adecuadamente a la mascota en las ocasiones en que la perdió de vista debido a que ésta se movía alrededor de la habitación detrás de objetos que interferían la visión de la *Raspicam*. También, durante su búsqueda, el sistema logró evadir tanto paredes, objetos e incluso salir de esquinas para continuar con su función.

Sin embargo, hubo casos en los que el sistema no pudo localizar fácilmente a la mascota, ya que cuando ésta se iba por el lado opuesto del que se encontraba el sistema, las sillas y las patas de la mesa se interponían entre la *Raspicam* y la mascota y, por lo tanto, se tomaba un poco más de tiempo el sistema en detectarla con la ayuda de la rutina de búsqueda, como se muestra de igual forma en la figura 5.77.



Figura 5.79. Sistema choca con una silla al seguir a la mascota.

En el transcurso de una sesión de pruebas se presentó una dificultad con el movimiento del sistema, ya que mientras éste efectuaba el seguimiento de la mascota hacia la ventana y se desplazaba muy próximo al costado de la mesa, la parte de la cabeza del sistema chocó con una silla y se quedó atorado por un momento, tal como se puede ver en la última imagen de la figura 5.78, en la cual de igual forma se puede observar a la mascota a través de la transmisión.



Figura 5.80. Sistema se libera de la silla y se centra para ver a la mascota.

Sin embargo, el sistema eventualmente pudo liberarse de la silla y continuar con su movimiento - figura 5.79- hasta colocarse en una posición desde la cual tuviera centrada a la mascota y se pudiera ver lo que hacía. Este mismo problema se llegó a presentar en otras ocasiones donde de igual manera el sistema pudo liberarse y continuar con su movimiento y seguimiento a la mascota, sin presentar algún daño físico sobre el chasis.

Durante otra sesión, otro incidente ocurrido fue la caída del sistema al chocar la cabeza contra una de las sillas y querer avanzar, como consecuencia, al impedir el paso la silla éste se fue para atrás y no pudo continuar, como se puede ver en la figura 5.80. Ya que el equipo activaba la transmisión frecuentemente, en un momento que se entró para revisar a la mascota y al sistema, el quipo se percató que no se veía más que un fondo de una superficie blanca, por lo tanto, se dedujo que se había caído y lo que se veía era el techo, en ese momento se apagó al sistema y se regresó al domicilio para revisarlo.



Figura 5.81. Sistema caído por obstáculo de la silla.

Cuando se entró a revisar el sistema no se encontraron señales de daño físico y al reiniciarlo de nuevo todo funcionó de manera correcta al probarse todos los comandos. Entonces, se procedió a seguir con las pruebas y el equipo volvió a la estación de trabajo lejos del domicilio tras haber dejado sola a la mascota otra vez.

El equipo de trabajo se dio cuenta del inconveniente al chocar con la silla cuando seguía a la mascota por un costado de la mesa hasta que se revisó el material de las pruebas -ya que en la transmisión se podía observar a la mascota- y con base en lo observado sobre esa ocasión, más otras parecidas y la vez que se cayó por chocar con la otra silla, una probable solución para estos casos sería colocar sensores ultrasónicos en la cabeza.

Con base en lo anterior, se pensó que los ultrasónicos con los que ya contaba el sistema podrían no detectar bien los objetos cuando éstos no tuvieran una superficie amplia, ya que el sistema trabajó de manera correcta al detectar paredes -figura 5.81-, muebles como los sillones o el mueble del televisor, el cristal de la ventana, así como la transportadora de la mascota y cajas de cartón que había en la habitación, entonces se llegó a la conclusión que las patas de las sillas al ser delgadas y no contar con una superficie extensa o plana, los sensores ultrasónicos no pudieron evadirlas correctamente, lo que llevó a los dos tipos de incidentes con el sistema.

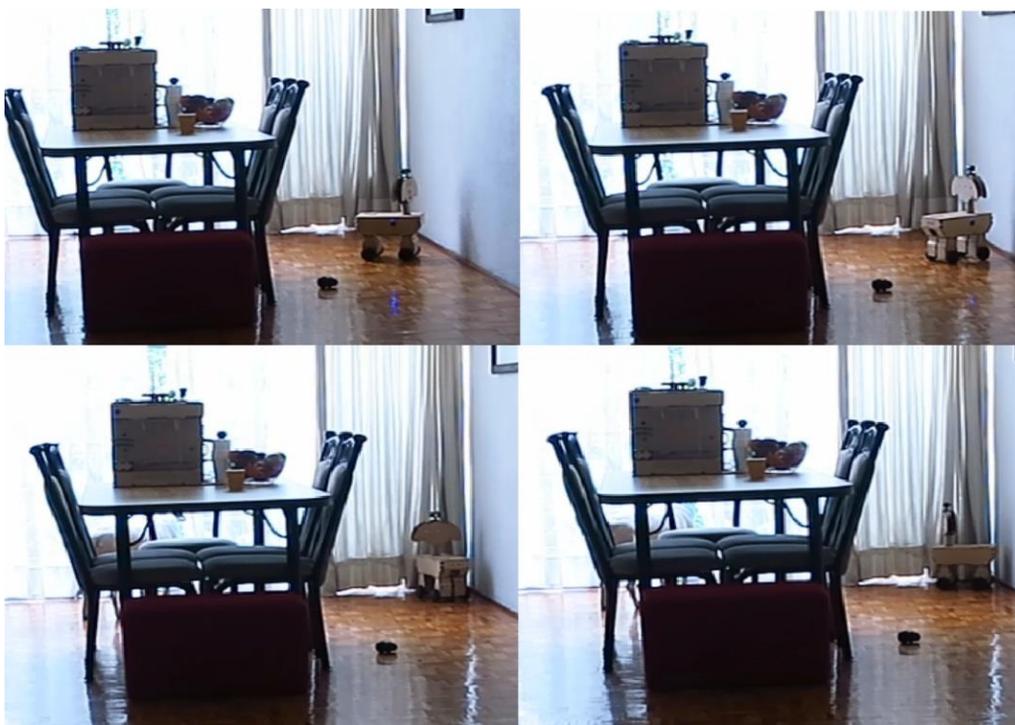


Figura 5.82. Funcionamiento de los sensores ultrasónicos al evadir la pared.

Aun con los acontecimientos presentados, el sistema al encontrarse cerca de paredes e incluso de la mesa, pudo realizar el seguimiento de la mascota al moverse alrededor del espacio en el que se quedó con ella durante las pruebas. Como se puede observar en la figura 5.82, el sistema tiene ubicada a la mascota y la sigue mientras ella juega alrededor de la mesa; en un primer

momento la sigue solamente con la cámara al girar la cabeza, sin la necesidad de desplazarse tras ella en la trayectoria que iba, y después al ubicarla nuevamente tras pasar por la mesa determinó su distancia y se acercó a ella. Con lo anterior, se tiene el mismo caso presentado durante las pruebas en modo manual, donde no fue necesario cubrir el completo movimiento de la mascota más que solo hacer un giro gracias a la rutina de búsqueda.



Figura 5.83. Ubicación y seguimiento de la mascota por parte del sistema.

Sin embargo, en otros casos como el que se muestra en la figura 5.83 en donde la mascota de nueva cuenta se mueve detrás de la mesa y no es posible detectarla posteriormente por la rutina de búsqueda del sistema -ya que la mascota se va a descansar a su transportadora-, el sistema al determinar que se encuentra a una distancia lejana, activa el desplazamiento por la rutina de búsqueda dentro del anillo “Lejos” y al moverse en uno de sus giros logra detectar a la mascota y posicionarse para visualizarla.

Asimismo, al igual que en las pruebas en condiciones controladas del modo automático, el equipo se percató que el cuerpo de la mascota al encontrarse entre el collar y el sistema, provocaba una interferencia para su detección, debido a que como se comentó en el Capítulo III sobre los *Beacons*, tanto la altura como los cuerpos humanos -en este caso de la mascota- causaban una variación en los valores de *RSSI* emitidos por estos elementos, lo cual tenía como resultado que el sistema se aproximara o en ciertos casos se alejara de los valores planteados para el anillo “Adecuado”.

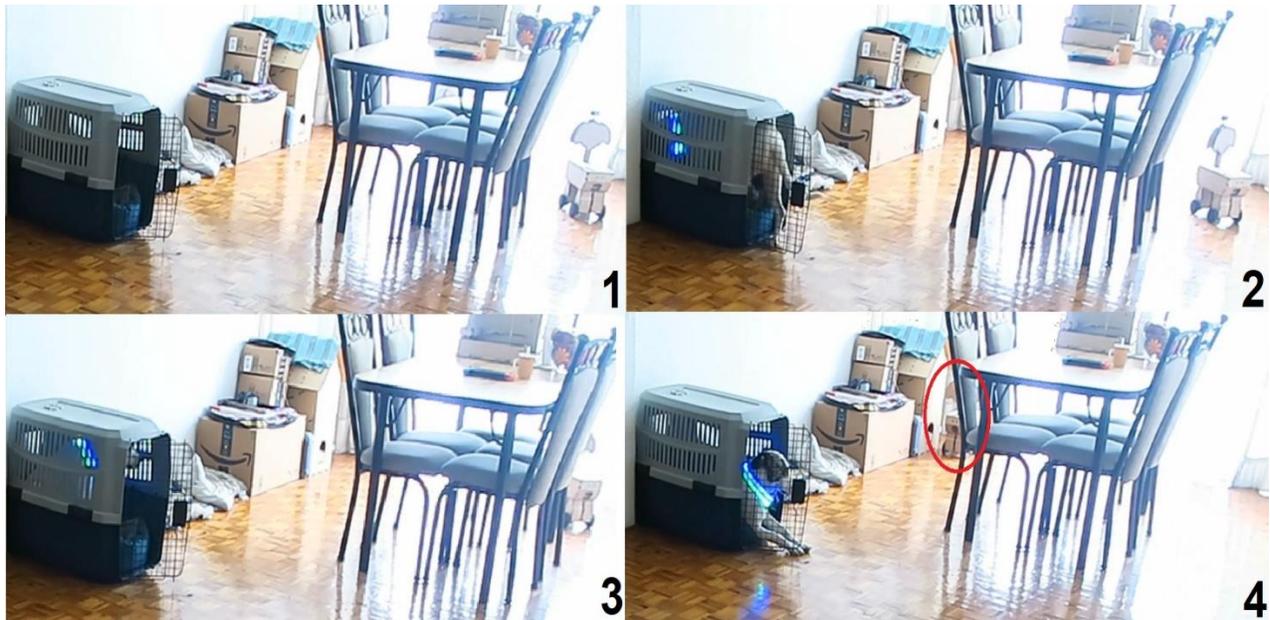


Figura 5.84. Seguimiento de la mascota alrededor de la mesa.

Asimismo, durante las pruebas, el sistema logró detectar a la mascota gracias a los *Beacons* y al collar por medio de la visión artificial. El funcionamiento del collar en situaciones donde la luz solar predominaba era algo que podría presentar problemas, sin embargo, no lo fue, ya que aun cuando la mascota se encontraba la mayor parte del tiempo cerca de la ventana, la visión artificial ubicó al collar y con ello a la mascota, como se puede apreciar en la figura 5.84.



Figura 5.85. Sistema junto a la mascota cerca de la ventana.

Sin embargo, en esta zona concurrida por la mascota, a veces ella se metía entre la cortina y la ventana para poder observar más allá del exterior, hecho que en cierta medida llegó a afectar la detección del collar por parte del sistema, aunque en varias ocasiones el collar sí era detectado

correctamente cuando la mascota se quedaba quieta en una posición como se puede observar en la figura 5.85. Lo anterior puede ser a causa de que la cortina atenuara los colores en la *Raspicam* y afectara de esta forma su detección.



Figura 5.86. Mascota detectada por el sistema a través de la cortina.

En cuanto a los *Beacons* y los anillos de proximidad se vio en las pruebas que los valores para cada anillo eran correctos para poder observar a la mascota, y en el caso de los anillos “Cerca” y “Lejos” estaban bien establecidos para no estar muy próximo a la mascota y poder apreciarla completamente, y en el otro caso permitir el desplazamiento del sistema hacia la mascota.



Figura 5.87. Mascota relajada durante las pruebas en condiciones reales.

Como se puede ver en la figura 5.86, la mascota a lo largo de las pruebas mostro en varias ocasiones signos de relajación mientras se encontraba cerca del sistema; de igual forma realizaba las actividades que haría cuando se encuentra el dueño en casa y en un cuarto separado; el lugar más frecuentado por ella fue la ventana, en donde pasaba largos periodos sentada, parada e incluso acostada, donde en este último caso el sistema, al encontrarse a la mascota y los elementos de detección sobre el collar, se llegó a presentar un movimiento de “ajuste” para poderla detectar mejor, ya que se alejaba o acercaba un poco e incluso llegaba a girar la cabeza mínimamente.

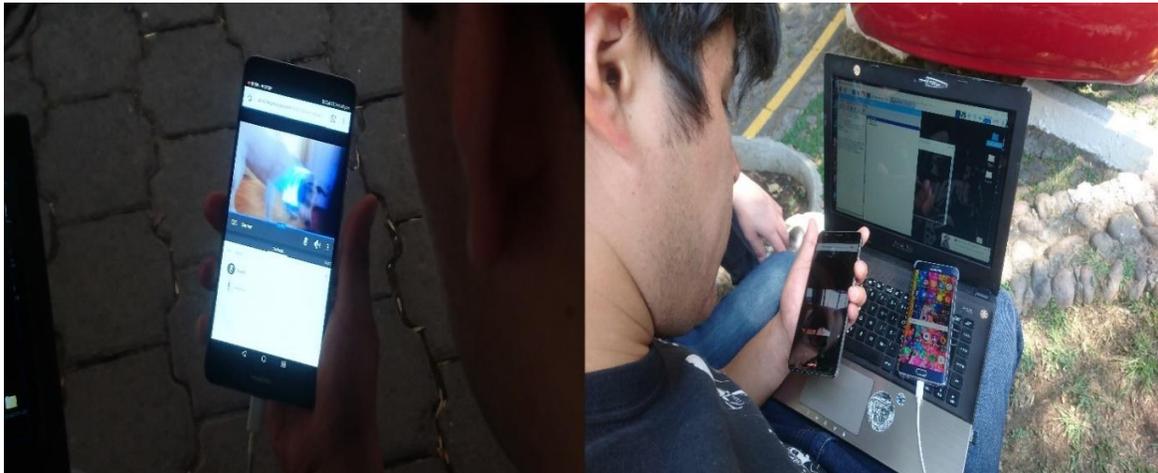


Figura 5.88. Equipo de trabajo durante la observación de la mascota en modo automático.

Finalmente, al terminar las pruebas, curiosamente la mascota al escuchar u observar que sus dueños acudían de nuevo al hogar se metía a su transportadora; quizá porque, durante el tiempo en que se dejó a la mascota encerrada con el fin de evitar ciertos síntomas de ansiedad por separación, la mascota pensó que era en ese lugar en donde sus dueños debían encontrarla al ingresar, lo que podría ser un vestigio de cuando permanecía dentro de la transportadora, por lo que será interesante observar en un futuro si la mascota continuará con esta conducta cuando entienda que pueda estar libre mientras se encuentre acompañada del sistema.



Figura 5.89. Mascota en espera a la entrada de sus dueños al final de las pruebas.

Como resultado en general de las pruebas realizadas, para los archivos multimedia, al tener en cuenta que los videos pueden llegar a poseer un mayor peso de memoria que las fotografías, programas y el peso del propio sistema operativo dentro del subsistema de memoria, en promedio, se ocupa 300 [MB] por minuto de video grabado por medio de la *webcam* en el modo

automático y 150 [MB] durante la transmisión, por lo que será necesario aumentar la capacidad del subsistema de memoria o implementar una compresión de video durante la generación de este archivo con el fin de reducir el peso de estos elementos.

Lo anterior se debe a que, como se trata de archivos capturados directamente de sus respectivas fuentes, no se cuenta con un método de compresión de peso, por lo que será de gran importancia la implementación de uno con la menor pérdida de calidad para que sea de utilidad para el dueño, principalmente para el video durante el modo automático ya que los demás videos podrán ser de menor duración al ser grabados cuando el dueño lo desee y no durante el periodo que no supervise. Sin embargo, se tiene la capacidad de realizar la grabación de video durante la primera media hora en la que la mascota se encuentra sola, ya que en este tiempo como se comentó en el capítulo I, es el momento en donde se llega a presentar los síntomas de la ansiedad por separación.

Fue hasta esta etapa donde se presentó la mayor extensión de video con respecto al modo automático -ya que durante la transmisión el dueño capturará video en menor medida- en comparación con las pruebas en condiciones controladas, ya que en estas pruebas en modo automático se tuvo en mayor medida activada la transmisión para visualizar lo que sucedía con la mayoría de los subsistemas y observar el correcto funcionamiento de éstos.

Sin embargo, ya en condiciones reales en el intervalo de cambio de la estación de trabajo e intervalos de no supervisión establecidos por el equipo de trabajo de alrededor de 10 minutos, se presentó el caso en que entre el modo automático y el inicio de la transmisión dentro de este modo se tuviera que esperar un aproximado de 10-15 [s] por minuto de video que se había grabado, al igual que al salir de modo automático al menú del sistema.

Lo anterior fue debido al peso de los archivos recién comentados, por lo que, al estar separados el audio y el video, se toma un tiempo en unirlos, el cual es proporcional al peso de cada uno de los archivos. Por lo que será necesario mejorar la codificación y reducir el peso de los archivos previo la unión de éstos, lo cual mejorará tanto la velocidad de unión como el peso final del video, pero será necesario encontrar la mejor manera de realizar para evitar una pérdida de calidad.

Por otro lado, durante las pruebas se presentó en varias ocasiones el sonido generado en la bocina parecido al de aire por el micrófono, el cual se producía principalmente cuando se intentaba comunicar con la mascota y el sistema se encontraba en movimiento. Sin embargo, durante estas pruebas fue posible observar que en ciertos casos el sonido de viento poseía el mismo ritmo o duración de las palabras que se intentaban comunicar, por lo que quizá el problema radique también en el propio *Mumble* ya que se probó tanto la aplicación en celular y en computadora, y se presencié el mismo caso, aunque en mayor medida con el celular.

Sin embargo, en varios foros y sitios relacionados con *Raspberry Pi*, se comenta que el hecho de que la tarjeta no cuente con un placa de sonido integrada, el sonido producido por la *Raspberry* tiene que ser generado por medio de *PWM*, por lo que contar durante el funcionamiento del sistema con varias señales de *PWM* simultáneas, puede incidir directamente en el sonido emitido

por la bocina y ser la causa del ruido de viento, ya que en estos sitios se insiste en el uso de una tarjeta de sonido para esa función específicamente [504-508].

También, como se comentó durante las pruebas realizadas en este capítulo, la mascota en ningún momento presentó signos de miedo o agresión al sistema, aun cuando la mascota eventualmente aprendió por donde salían los premios e incluso fue capaz de olfatearlos, no se presentó algún ataque o intentos de morder al sistema con el fin de obtenerlos. Asimismo, la mascota nunca relacionó algún movimiento realizado por el sistema como invitación al juego, ya que siempre mantuvo una postura relajada durante su caminata alrededor de la habitación o simplemente se limitó a caminar junto a él o seguirlo.

Por otro lado, aun cuando el objetivo del presente trabajo fue el desarrollo de un modelo funcional, se comprobó a lo largo de las pruebas que tanto el diseño, tamaño y material seleccionado para el chasis permitieron correctamente desarrollar las funciones de cada uno de los subsistemas sin ser expuestos a sufrir algún daño, de igual forma estas características probaron ser adecuadas para la interacción con la mascota.

Asimismo, durante las pruebas se notó que la *Raspberry* tendía a calentarse; principalmente, en las pruebas realizadas durante periodos largos para el modo automático donde se ejecutaban varios procesos simultáneamente. Aunque este hecho nunca presentó algún problema en su funcionamiento general ni provocó que algún elemento no hiciera su trabajo o retraso en sus acciones, se tiene la idea de colocar un disipador de calor para evitar que se caliente excesivamente lo que podría provocar algún daño durante su funcionamiento continuo.

Por último, para ambas pruebas se puede hipotetizar qué sucedería con nuevos perros. Ya que Daenerys estuvo involucrada en el proceso de diseño, se presume la existencia de cierta adaptación al funcionamiento del sistema. Sin embargo, este comportamiento puede no presentarse en otros perros, pues se les presenta algo nuevo, por lo que será necesario tomar un tiempo para la aceptación del sistema en su hábitat para interactuar.

Para que esto sea posible, las recomendaciones serían que se deje el sistema apagado por un tiempo para que la mascota lo analice, olfatee y lo tome como un elemento más del hogar. Posteriormente, con el uso del control manual y con la supervisión del dueño siempre junto a su mascota, realizar funciones básicas de movimiento, como utilizar la entrega de premios para que interactúe aún más y comprenda que al contrario de lo que pudiera esperar, el sistema lo recompensa. Asimismo, es importante que el perro no asocie al sistema con la partida del dueño, por eso es clave la parte de adaptación y que el perro ubique que el sistema funciona en presencia del dueño aparte de cuando se encuentra solo en el hogar.

Por lo tanto, es necesario que esto se dé progresivamente para que, una vez que la mascota lo acepte, y entienda que el sistema es algo normal en el ambiente y no representa algo malo, se puedan tener resultados satisfactorios.



Capítulo VI. Trabajo a futuro

Como resultado del capítulo anterior con respecto a la metodología seguida, se han identificado las áreas a mejorar del sistema después de haber visto su desempeño en las pruebas, cuya implementación permitirá enriquecer las características actuales del proyecto, además de tomar en cuenta aquellas consideraciones hechas durante el desarrollo del presente trabajo que, con base en los objetivos planteados, se presentaron en el desarrollo del presente trabajo, y serán primordiales para las siguientes iteraciones de trabajo.

A continuación, se presentan posibles alternativas que permitirán la mejora de las funciones actuales del sistema:

- 🐾 Desarrollar el subsistema de detección de signos vitales en la mascota, con base en una investigación que permita determinar la localización y método óptimo para su medición.
- 🐾 Investigar a profundidad la causa del ruido presentado en la bocina e implementar si es el caso una tarjeta de sonido especializada para *Raspberry Pi* o por medio de *bluetooth*.
- 🐾 Implementar sensores ultrasónicos en la sección frontal de la cabeza del chasis.
- 🐾 Ampliar la capacidad energética del subsistema de alimentación para cubrir un mínimo de 10 [h] al considerar ahora los tiempos de traslado de ida y regreso de las personas.
- 🐾 Poner en funcionamiento un método de compresión de los archivos multimedia para reducir el consumo de memoria de éstos, con la mínima pérdida de calidad.
- 🐾 Ajuste del código para la unión de archivos multimedia previo a su extracción *USB* para evitar posibles pérdidas de información.
- 🐾 Inclusión de nuevas funciones para el modo automático utilizadas en el modo manual, como la entrega de premios o sonidos pregrabados.
- 🐾 Investigar la posibilidad de la reproducción simultánea de sonidos de diferentes fuentes a través de la bocina.
- 🐾 Mejoramiento del filtro utilizado para la recepción de la información proveniente de los *Beacons*, al utilizar posiblemente el filtro Kalman recomendado para estos elementos
- 🐾 Incorporación de un sensor de sonidos para la detección de ladridos, así como la posibilidad de notificar dicho suceso al dueño.
- 🐾 Desarrollo de un circuito impreso que permita la reducción de cables y espacio dentro del chasis.

- 🐾 Elaboración de una aplicación multiplataforma que permita acceder a los elementos de transmisión y manipulación del sistema en un mismo lugar.
- 🐾 Inclusión de algún modo nuevo alternativo de entretenimiento y de relajación para la mascota.
- 🐾 Implementación de la segunda configuración para el collar de la mascota presentado en el capítulo IV.
- 🐾 Diseño y manufactura de un segundo modelo de chasis de acuerdo con la opción seleccionada en el capítulo IV junto con las posibles mejoras de ésta al tomar en cuenta los tamaños de los perros, elaborado con algún plástico de los investigados en el capítulo II.
- 🐾 De acuerdo con la investigación hecha para el subsistema de detección de signos vitales, reevaluar el uso de un chaleco en lugar de collar para tener una mayor área de detección y pueda ser utilizado además como elemento para la reducción de ansiedad (Capítulo I).



Capítulo VII. Conclusiones

De acuerdo con el proceso de diseño utilizado a lo largo del presente trabajo junto con las investigaciones realizadas, se tuvo como resultado satisfactorio el diseño y elaboración de un sistema funcional capaz de supervisar a una mascota de manera tanto manual como autónoma al poder visualizar y escuchar en tiempo real lo que sucede con ella gracias a su desplazamiento a lo largo del ambiente en que se encuentra, así como permitir la interacción con la mascota al poder comunicarse con ella, suministrarle premios y acompañarla a distancia durante el día.

Para esto, el haber seguido un proceso de diseño organizado por etapas y adaptado a las necesidades del trabajo permitió el avance progresivo en la elaboración del sistema, lo cual llevo a determinar y localizar de manera correcta los elementos necesarios para poder solucionar un problema identificado, el cual fue un problema de conducta en las mascotas, para revisar sus síntomas y lograr un diagnóstico con base en evidencia directa proporcionada por el sistema. Asimismo, será un auxiliar en el tratamiento de la ansiedad por separación y a través de él se podrán ver avances, así como reforzar conductas deseadas por las personas para lograr una continuidad en el tratamiento y fortalecer una relación sana dueño-mascota para prevenir el maltrato -debido a que no se comprende la razón de su comportamiento y a un regaño extemporáneo- y el abandono.

El modelo funcional del sistema ha demostrado su utilidad para recabar información sobre la actividad de la mascota mientras el dueño no se encuentra con ella -principalmente los primeros 30 minutos-, ya que gracias a los videos en modo automático más aquellos que el dueño puede grabar en ambos modos, pueden ser una evidencia directa que permita a un veterinario o etólogo efectuar un diagnóstico preciso sobre algún problema conducta que presente la mascota.

En cuanto a las pruebas realizadas con la mascota Daenerys, se pudo observar que dentro de ese lapso se presentaron ladridos e incluso llanto, pero al tener la evidencia por parte del sistema se pudo ver el porqué de esas acciones, lo que fue el ver a vecinos conocidos pasar por la ventana, comportamiento que también se da en presencia del dueño.

Por un lado, la recomendación seguida de dejar a la mascota entretenida con un juguete que le gustara y no fuera exclusivo de cuando se encuentra sola, ayudó a la transición de la partida del dueño, ya que en los videos se pudo apreciar que aun cuando lo llegaba a notar se mantenía distraída con su juguete y al quedarse sola mostró hacer las actividades cotidianas al igual que en presencia de su dueño.

Por otro lado, gracias a la transmisión en tiempo real de la actividad de la mascota se pudo de manera visual recibir la retroalimentación del funcionamiento del sistema, es decir, se pudo observar la reacción de la mascota al acompañamiento de éste al encontrarse sola. Estos resultados fueron satisfactorios ya que se le vio tranquila y relajada en la mayor parte del tiempo; asimismo, la primera media hora después de la partida, que es el periodo de más intensidad de los síntomas y que era crucial, fue superada sin señales de ansiedad.

También fue por este medio donde se corroboró la efectividad de la reproducción de sonidos - tanto los pregrabados como la voz del dueño- ya que en múltiples ocasiones la mascota respondió a ellos y se captó su atención. En cuanto a la voz del dueño, aun con los inconvenientes de ruido que se presentaron, la mascota pudo reconocerla y en ocasiones sirvió para calmarla cuando llegó a ladrar o llorar.

Al igual que con los sonidos, los premios mostraron ser un medio eficaz tanto para llamar su atención y curiosidad lo que la incentivó a moverse por la habitación, como para poder premiarla ya que en un caso donde se calmó después de ladrar y atender a la voz del dueño, se le premió una vez relajada. Esto nos indica que puede ser posible llevar a cabo el reforzamiento de conductas de manera positiva, aunque, hay que recordar que es necesario su constancia, al ser practicado por el dueño y auxiliado por el sistema cuando esté sola.

Es importante recalcar que el dueño debe ser quien suministre los premios para que el efecto de éstos recaiga sobre la conducta deseada, es por eso por lo que en esta primera etapa funcional solo pueden ser suministrados manualmente ya que es cuando el dueño tiene el control total del sistema tanto en supervisión como para interactuar al tener su completa atención en la actividad de su mascota.

De igual manera, se ha aprendido gracias al primer capítulo que aunque se busque la corrección de conductas de forma automática, el refuerzo a través de premios o la disuasión por medio de un regaño con un sonido pregrabado o por medio del micrófono no pueden ser automáticos, ya que el dueño debe hacerlo y será a su criterio los comportamientos que desea reforzar o eliminar, es decir, en el futuro que el sistema cuente con un sistema de alertas en caso de ladridos, si hay una alerta y se activa un sonido de regaño automáticamente, puede ser un ladrido porque quieren entrar a robar la casa y el sistema solo sabrá que fue un ladrido, pero no la causa, por lo tanto es importante la identificación de conductas y su causa para no regañar al perro de forma injusta, como ya se ha mencionado. Por lo tanto, el sistema ayudará al dueño a identificar de mejor forma qué quiere decir cada acción de su perro y sus causas.

Aun cuando la mascota había sido diagnosticada por su veterinario con ansiedad por separación y llevaba al menos medio año sin estar libre cuando el dueño no estaba, durante las pruebas no mostró ningún signo de ansiedad. Tampoco mostró agresividad o miedo al sistema y se vio relajada en su compañía. El equipo presume que este logro fue gracias al sistema y a la recomendación de dejarla con un juguete cuando el dueño se va. Aunque no se puede asegurar al no tener una respuesta directa por parte de la mascota, se puede llegar a esta interpretación gracias a su comportamiento observado a través del sistema.

Sin embargo, para lograr lo anterior fue necesario realizar una amplia investigación en áreas sobre las cuales el equipo de trabajo no contaba con un conocimiento profundo, como lo son la veterinaria, la etología y la psicología canina. Aunque, gracias al acceso a la información actual, así como a las habilidades de búsqueda y síntesis de información del equipo se pudo lograr una base que permitiera comprender el problema a atacar. En consecuencia, para el futuro del presente trabajo sería de gran importancia contar con un equipo multidisciplinario que permita

una mejor validación tanto de los elementos que integran al sistema como una distribución de trabajo y poder llevar a cabo un producto final que podría llegar a ser comercializado.

Aun cuando el proyecto fue pensado para mascotas con ansiedad con separación o con algún problema de conducta para su diagnóstico, puede ser utilizado también por dueños de mascotas que simplemente quieran ver qué es lo que hacen y cómo se encuentran mientras ellos no están en casa, así como tener la posibilidad de interactuar con ellas si lo desean.

Es importante mencionar que el sistema en ningún caso es la solución a ningún problema de conducta por sí solo, es decir, el dueño es el responsable de su mascota y con base en la investigación hecha en el primer capítulo, es necesario que el perro reciba un entrenamiento adecuado y mantenga rutinas, también se requiere por parte del dueño constancia y tiempo invertido para lograr resultados satisfactorios en el tratamiento de cualquier problema de conducta.

Finalmente, durante el desarrollo del proyecto, el equipo de trabajo pudo hacer uso de los conocimientos y habilidades adquiridas durante la carrera de ingeniería mecatrónica, sin embargo, hubo elementos que requirieron una investigación y práctica con la cual no se contaba, por lo tanto, se tuvo que ser autodidactas para poder emplearlos correctamente, lo que llevó a una inversión de tiempo que no fue considerada pero al final dio frutos al poder implementar los elementos en conjunto y ver su correcto funcionamiento. Lo anterior llevó a ampliar los conocimientos del equipo, así como a una reflexión sobre el trabajo multidisciplinario en el cual se pueden desarrollar los ingenieros mecatrónicos enfocado al tratamiento de la salud de los seres vivos.



Apéndice I. Premios comerciales

A continuación, se presentan las imágenes de los estados nutrimentales y dosis recomendadas para perros, los cuales fueron encontrados en las tiendas comerciales *Petco* (Av. Universidad 1778) y *+Kota* (Av. Miguel Ángel de Quevedo 739) ubicados en la CDMX. Cada imagen es nombrada de acuerdo con el nombre del premio de cada marca consultada, los cuales fueron 55 marcas de premios en total tanto para entrenamiento como de uso diario, en diferentes tamaños, formas y sabores.

Lo anterior se debe a que se consideró mejor tener una dosificación más controlada con base en el peso de la mascota para el entrenamiento ya que es muy probable utilizar una gran cantidad de premios, mientras que para uso diario sería más recomendado de acuerdo con su tamaño además del peso.

Calorías diarias recomendadas por NUPEC				
Peso del perro [kg]	Gramos [g]	Kilocalorías [kcal]	Kilocalorías diarias [kcal]	10% diario [kcal]
1-3	85	297.5	595	59.5
3-5	120	420	840	84
5-10	190	665	1330	133
15-20	305	1067.5	2135	213.5
20-30	400	1400	2800	280
30-40	485	1697.5	3395	339.5
40-50	565	2222.5	3955	395.5

Premios comerciales para perros							
Empresa	Marca	Minitura (hasta 5 [kg])	Pequeño (5 [kg] - 9 [kg])	Mediano (9 [kg] - 22 [kg])	Mediano (22 [kg] - 34 [kg])	Grande (34 [kg] - 45 [kg])	Gigante (mayor a 45 [kg])
Purina Dog Chow	Abrazzos Empanaditas	2	2	3	5	6	7
Purina	Smoochies tiritas de tocino	2	4	7	10	11	15
Purina	Smoochies Churrasco	2	2	3	5	6	7
Purina Pro Plan Savor	Tender Strips	1	1	3	3	5	5
Purina Dog Chow	Abrazzos Mix del campo	1	1	2	3	4	5
Science Hills	Jerky Mini-strips	2	3	5	7	8	9
Science Hills	Crunchy Fruity Snacks	1	2	4	5	6	7
Science Hills	Hypo Treats	2	4	7	10	12	15
Pedigree	Biscuits Adulto	3	3	8	8	13	13
Eukanuba	Healthy Extras Raza grande	0	0	2	2	4	4
Eukanuba	Healthy Extras Raza chica	2	2	4	4	0	0
Nupec	Relax Treats	1	1	2	2	3	3
Nupec	Digestive Care Treats	1	1	2	2	3	3
Barkys	Tiras de carne	1	3	5	5	8	8
Barkys	Biscuits Peanut Butter	4	4	6	6	8	8
Fancy Pets	Doggies	1	1	3	3	5	5
Barkers Club	Salchichitas	2	4	5	7	8	10
Barkers Club	Tocinitos	2	4	5	7	8	10
Barkers Club	Chuletitas	2	4	5	7	8	10
Barkers Club	Tiras de carne	1	2	3	5	6	8
Petit monsters	Super cookies	1	2	3	5	6	8
Petit monsters	Super Treats	1	2	3	5	6	8
Sanilat	Smart treats Arandano	1	2	3	4	5	6
Sanilat	Smart treats Vegano	1	2	3	4	5	6
Sanilat	Smart treats Manzana	1	2	3	4	5	6
Sanilat	Smart treats BBQ	1	2	3	4	5	6
One-day Treats	Twizzlers	1	1	2	2	3	3
One-day Treats	Beacon Rashers	1	1	2	2	3	3
One-day Treats	Chew Bars	1	1	1	2	2	2
One-day Treats	Stick Rolls	1	2	3	3	4	5
One-day Treats	Marrow Bone Sticks	1	1	1	2	2	2
Choice Nutrition	Chicken Jerky	1	1	2	2	3	3
	Promedio de premios al día	1.375	1.333333333	2	4.607142857	5.75	6.642857143

Premios de entrenamiento para perros								
Empresa	Marca	2.3 [kg]	4.5 [kg]	9.1 [kg]	18 [kg]	27 [kg]	36 [kg]	45 [kg]
Science Hills	<i>Soft & Chewy Training Treats</i>	7	12	20	33	45	56	66
Nupec	<i>Training Treats</i>	20	28	44	71	93	113	131
Petit monsters	<i>Super Training Bites</i>	5	8	10	12	16	20	25
Zuke's Super Berry	<i>Superfood berry blend</i>	9	13	20	32	42	51	59
Zuke's Mini naturals	<i>Delicious duck recipe</i>	20	28	44	71	93	113	131
Zuke's Super Betas	<i>Yummy betas blend</i>	8	11	17	28	37	45	52
Zuke's Bakes	<i>Baked with peanut butter & bananas</i>	6	9	14	23	30	36	42
Droolers	<i>Droolers training</i>	6	9	15	23	31	37	43
One-day Treats	<i>Micro Treats</i>	2	3	6	12	18	24	30
Royal Canin	<i>Treats</i>	5	6	8	13	18	23	27
Royal Canin	<i>Satiety Weight loss</i>	5	6	9	15	21	27	33
Royal Canin	<i>Satiety Weight maintenance</i>	6	7	11	17	23	30	36
	Promedio de premios al día	8.7	12	18.8	29.16666667	38.91666667	47.91666667	56.25

Apéndice II. Valores de RSSI

Tabla I. Valor de RSSI a una distancia de medición en metros									
0	0.2	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.7	2	2.2
-52	-53	-43	-52	-56	-53	-62	-68	-83	-86
-36	-54	-44	-65	-67	-69	-66	-62	-74	-73
-51	-39	-43	-63	-67	-52	-78	-62	-85	-75
-36	-55	-44	-68	-65	-68	-66	-66	-77	-87
-37	-54	-58	-68	-58	-51	-60	-62	-77	-83
-36	-54	-43	-66	-59	-53	-66	-74	-70	-83
-36	-38	-43	-65	-73	-70	-76	-75	-71	-71
-51	-38	-46	-67	-59	-69	-75	-77	-66	-85
-37	-38	-59	-58	-61	-53	-75	-66	-78	-73
-54	-40	-45	-69	-70	-68	-62	-77	-68	-77
-37	-55	-46	-53	-57	-68	-61	-72	-61	-83
-52	-56	-44	-53	-57	-51	-67	-70	-67	-72
-52	-39	-44	-51	-56	-54	-61	-71	-67	-68
-37	-54	-45	-51	-81	-51	-78	-77	-61	-84
-52	-54	-43	-54	-73	-65	-62	-77	-61	-84
-37	-38	-42	-69	-70	-68	-69	-66	-68	-82
-36	-55	-42	-70	-70	-70	-66	-71	-66	-70
-37	-55	-42	-66	-79	-53	-61	-71	-76	-72
-36	-39	-58	-51	-81	-68	-67	-71	-62	-83
-51	-39	-44	-68	-68	-68	-77	-62	-70	-70
-37	-38	-43	-69	-59	-66	-67	-76	-68	-69
-37	-43	-45	-49	-70	-51	-77	-66	-81	-84
-37	-39	-58	-65	-56	-54	-76	-83	-77	-85
-37	-39	-43	-50	-86	-53	-77	-71	-77	-85
-36	-55	-44	-66	-81	-55	-73	-77	-80	-74
-37	-55	-42	-64	-81	-69	-79	-62	-67	-82
-36	-38	-42	-67	-68	-51	-69	-78	-68	-69
-53	-55	-43	-54	-59	-68	-69	-83	-77	-82
-37	-39	-56	-49	-56	-53	-61	-62	-76	-69
-35	-54	-42	-51	-69	-54	-61	-66	-80	-82
-51	-39	-42	-53	-73	-68	-61	-66	-70	-83
-36	-39	-59	-52	-57	-53	-67	-81	-70	-85
-36	-55	-44	-50	-70	-70	-67	-63	-68	-72
-36	-38	-56	-66	-70	-70	-79	-62	-63	-86
-53	-37	-43	-67	-71	-53	-61	-67	-76	-69

Tabla II. Valor de RSSI/a una distancia de medición en metros									
0	0.2	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.7	2	2.2
-21	-48	-66	-58	-66	-64	-69	-69	-68	-71
-22	-49	-64	-59	-64	-65	-73	-69	-66	-66
-24	-49	-58	-59	-66	-61	-69	-75	-73	-69
-26	-49	-59	-61	-62	-64	-70	-75	-70	-69
-27	-48	-64	-58	-65	-65	-79	-77	-67	-73
-24	-49	-58	-57	-64	-62	-79	-75	-73	-73
-25	-49	-58	-57	-68	-64	-72	-69	-72	-71
-25	-49	-62	-62	-70	-63	-71	-72	-69	-71
-24	-48	-64	-61	-66	-64	-72	-73	-66	-70
-25	-48	-58	-58	-65	-60	-73	-76	-72	-75
-24	-50	-57	-58	-65	-64	-83	-75	-69	-74
-24	-50	-58	-57	-63	-63	-86	-75	-67	-74
-24	-50	-57	-60	-67	-63	-68	-71	-67	-73
-24	-50	-64	-62	-65	-63	-69	-69	-72	-67
-24	-50	-58	-58	-66	-62	-71	-68	-72	-71
-25	-49	-58	-58	-65	-63	-73	-72	-70	-80
-26	-50	-58	-61	-66	-62	-71	-74	-70	-79
-24	-48	-57	-62	-65	-62	-74	-75	-67	-74
-23	-50	-57	-62	-62	-63	-75	-68	-73	-71
-24	-50	-62	-58	-66	-63	-76	-69	-74	-79
-24	-50	-64	-61	-66	-63	-78	-75	-70	-74
-24	-50	-58	-61	-65	-62	-70	-75	-67	-73
-24	-48	-58	-57	-66	-63	-72	-75	-67	-73
-24	-48	-55	-62	-65	-64	-70	-76	-72	-68
-24	-48	-64	-62	-67	-63	-69	-69	-70	-69
-23	-50	-58	-58	-65	-63	-77	-75	-66	-74
-22	-49	-58	-56	-65	-64	-70	-75	-66	-68
-23	-49	-58	-58	-67	-61	-77	-69	-66	-69
-24	-48	-57	-61	-65	-65	-71	-70	-66	-69
-24	-49	-57	-59	-65	-61	-70	-75	-71	-73
-24	-49	-64	-59	-65	-62	-71	-74	-70	-71
-23	-49	-58	-57	-62	-65	-70	-78	-70	-69
-24	-49	-57	-60	-65	-64	-79	-76	-66	-69
-23	-48	-57	-60	-67	-58	-82	-74	-66	-73
-24	-49	-65	-58	-65	-63	-71	-74	-72	-73

Tabla III. Valor de <i>RSSI</i> a una distancia de medición en metros									
0.2	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.7	2	2.2	2.5
-52.8333	-66.1667	-72.8333	-74.8	-75.2	-79.8571	-82.2	-83.3333	-83.5	-83
-53.0595	-66.1833	-72.9167	-74.9	-74.4	-79.6286	-82.7	-83.5	-82.4167	-83.3333
-53.3254	-66.4	-73.1667	-74.8	-75.3222	-79.0857	-82.3556	-82.5	-82.1111	-84.1111
-53.619	-65	-72.675	-74.7	-75.825	-79.2643	-82.4542	-82.5417	-82.0333	-84.0333
-53.3752	-64.4	-72.4543	-74.36	-75.9267	-79.7114	-82.43	-83.2833	-82.1267	-83.6267
-53.2889	-64.3889	-72.2452	-74.3833	-75.8278	-79.9262	-82.23	-83.0167	-82.3278	-83.6222
-53.3619	-64.3741	-72.2102	-74.2429	-76.019	-80.0796	-81.99	-82.9833	-82.4595	-83.6048
-53.3792	-64.0952	-72.3089	-74.1625	-76.1417	-80.2259	-82.2067	-83.8833	-82.4333	-83.4042
-53.4481	-64.4624	-72.1794	-74.2185	-76.0593	-80.173	-82.2067	-83.55	-82.663	-83.2759
-53.5867	-64.6329	-71.9214	-74.0167	-75.9033	-80.2557	-82.14	-82.3	-82.5217	-83.3083
-53.62	-64.6162	-71.8881	-74.0033	-75.8833	-80.47	-82.3667	-81.9	-82.4517	-83.425
-53.8343	-64.6962	-71.8481	-74.0033	-76.1233	-80.59	-82.4867	-81.44	-82.5683	-83.8333
-53.8629	-64.7414	-71.7957	-74.1833	-75.9733	-80.84	-82.2367	-80.5067	-82.685	-83.6267
-53.6129	-65.1781	-71.8507	-74.2683	-75.76	-80.91	-82.1867	-81.04	-82.905	-83.6217
-53.8604	-65.5281	-71.8269	-74.485	-75.6067	-80.81	-82.4867	-81.04	-82.855	-83.6717
-53.9996	-65.4448	-71.964	-74.555	-75.8533	-80.7767	-82.67	-81.89	-82.7883	-83.845
-54.0396	-65.3995	-71.914	-74.775	-75.8033	-80.7517	-82.6	-82.05	-82.7383	-83.795
-53.8496	-65.7686	-71.8712	-74.8483	-75.77	-80.7767	-83.1	-82.85	-82.8467	-83.935
-53.8354	-65.5686	-71.7736	-74.8317	-75.75	-80.9017	-82.75	-82.3567	-82.8217	-84.335
-53.552	-65.2119	-71.8636	-74.9783	-75.7333	-80.9017	-82.1167	-82.69	-82.9717	-84.475
-53.5479	-64.9319	-71.7279	-74.9317	-75.85	-80.9017	-81.5333	-82.84	-82.8917	-84.3783
-53.3383	-65.0069	-71.5679	-74.7717	-76	-80.9417	-81.4833	-82.84	-83.0017	-84.1367
-53.2407	-64.9783	-71.3821	-74.5717	-76.0933	-80.7917	-81.1233	-81.7733	-83.1017	-84.2017
-53.3407	-65.145	-71.4071	-74.3717	-76.0067	-80.7417	-81.3733	-82.7333	-82.9017	-84.3517
-53.3532	-65.335	-71.4881	-74.105	-76.2767	-80.7583	-81.6567	-82.35	-82.8267	-84.4617
-53.3139	-65.5683	-71.311	-74.11	-76.03	-80.6917	-81.94	-81.55	-82.86	-84.4283
-53.3511	-65.91	-71.421	-73.8167	-76.1833	-80.5833	-82.04	-82	-82.6517	-84.6617
-53.5577	-65.9433	-71.3238	-73.8262	-76.1167	-80.3333	-82.28	-82.5	-82.685	-84.7217
-53.572	-66.02	-71.2871	-73.719	-76.0633	-80.2583	-82.28	-82.0333	-82.41	-84.5967
-53.7887	-66.06	-71.2871	-73.7857	-76.0967	-80.1417	-82.29	-82.3833	-82.335	-84.3967
-53.919	-65.9233	-71.3062	-73.7857	-76.08	-79.8667	-82.6067	-82.5333	-82.31	-84.3517
-53.919	-65.4483	-71.3062	-73.8857	-76.01	-79.7167	-82.7067	-82.8833	-82.15	-84.0433
-54.0857	-65.1683	-71.4943	-73.8257	-75.83	-79.8367	-82.36	-83.3167	-82.0833	-83.8383
-54.2024	-65.1017	-71.5143	-73.8293	-76.03	-79.8767	-82.4933	-83.0633	-82.1833	-83.6633
-53.9024	-64.9017	-71.5714	-74.046	-75.9133	-79.7433	-82.7333	-83.03	-82.4583	-83.7433

Tabla IV. Valores RSSI IDEALES		
Distancia	RSSI/F1	RSSI/F2
0.1	TXp -74	TXp -74
0.2	-54.816	-60.0206
0.3	-60.441	-63.542425
0.4	-63.8638	-66.0412
0.5	-66.3734	-67.9794
0.6	-68.3726	-69.563025
0.7	-70.0428	-70.901961
0.8	-71.4821	-72.0618
0.9	-72.7498	-73.08485
1	-73.8846	-74
1.1	-74.9133	-74.827854
1.2	-75.8551	-75.583625
1.3	-76.7245	-76.278867
1.4	-77.5323	-76.922561
1.5	-78.2874	-77.521825
1.6	-78.9966	-78.0824
1.7	-79.6654	-78.608978
1.8	-80.2986	-79.10545
1.9	-80.8999	-79.575072
2	-81.4727	-80.0206
2.1	-82.0196	-80.444386
2.2	-82.5432	-80.848454
2.3	-83.0453	-81.234557
2.4	-83.5279	-81.604225
2.5	-83.9925	-81.9588



Apéndice III. Códigos

Los códigos utilizados para el funcionamiento del sistema desarrollados en los capítulos III al V se encuentran en el sitio *GitHub* en el siguiente enlace para su documentación y acceso debido a su extensión. En la siguiente lista se presenta el nombre con los que se pueden identificar a cada uno de los códigos y una pequeña descripción de cada uno.

Principal:

- 🐾 Arranqueauto.py – Arranque y preparación del modo automático del sistema
- 🐾 BeaconRSSI.py – Lectura de *RSSI* de los *Beacons* en el collar de la mascota
- 🐾 Cargarpremios.py – Asistente de carga de premios del sistema
- 🐾 CargarUSB.py – Carga de fotos y videos grabados por el usuario a una memoria USB
- 🐾 Controlauto.py – Modo automático del sistema y su menú
- 🐾 Controlmanual.py – Modo manual del sistema y su menú
- 🐾 DescargarUSB.py – Descarga audios grabados por el usuario desde una memoria USB
- 🐾 Menu.py – Menú de inicio de la interfaz del sistema

Bibliotecas:

- 🐾 Adicionales.py – Asistentes adicionales en las funciones de los subsistemas del proyecto
- 🐾 Blescan.py – Lectura de dispositivos *Bluetooth* por parte de la *Raspberry Pi*
- 🐾 CPID.py – Control PID del sistema
- 🐾 Ctrlcamara.py – Posicionamiento de la *RaspiCam* de detección a través del servomotor
- 🐾 MotorDIR.py – Direccionamiento del sistema
- 🐾 PCA9685.py – Uso y funcionamiento de PCA9685 de *Adafruit*
- 🐾 Ultrasonicos.py – Lectura de los sensores ultrasónicos y su asistencia durante el movimiento del sistema

Media:

- 🐾 Grabaraudio.py – Grabación del sonido para el video grabado por el dueño
- 🐾 Grabaraudiocam.py – Grabación del sonido para el video en modo automático
- 🐾 Grabarmedia.py – Activación para grabar media y su para el video grabado por el dueño
- 🐾 Grabarmediacam.py – Activación para grabar media y su unión para el video automático
- 🐾 Grabarvideo.py – Grabación de video para el video grabado por el dueño
- 🐾 Grabarvideocam.py – Grabación de video para el video en modo automático
- 🐾 TomarFoto.py – Captura de un cuadro de la transmisión en tiempo real del sistema
- 🐾 Transmitir.py – Iniciar la transmisión en tiempo real de audio y video del sistema

Enlace a *GitHub*: <https://github.com/BrunOrsatti/Diseno-de-un-dispositivo-interactivo-para-la-supervision-de-mascotas-domesticas>.



Apéndice IV. Diagrama de conexiones

A continuación, se presenta un diagrama con las conexiones realizadas en los diferentes pines y entradas de la *Raspberry Pi* [509], en donde se indica para que fue utilizado cada uno de éstos durante el desarrollo del sistema.

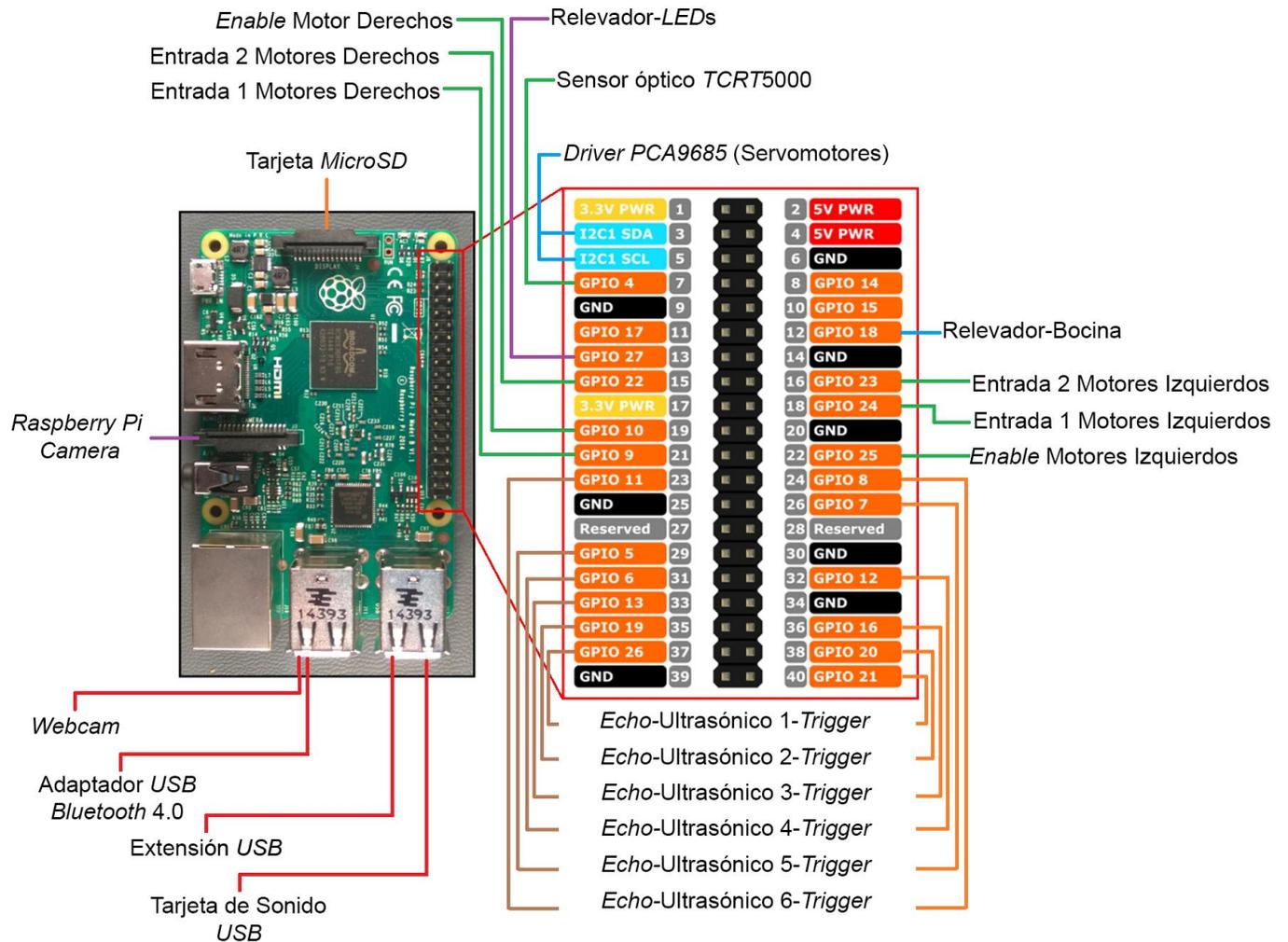


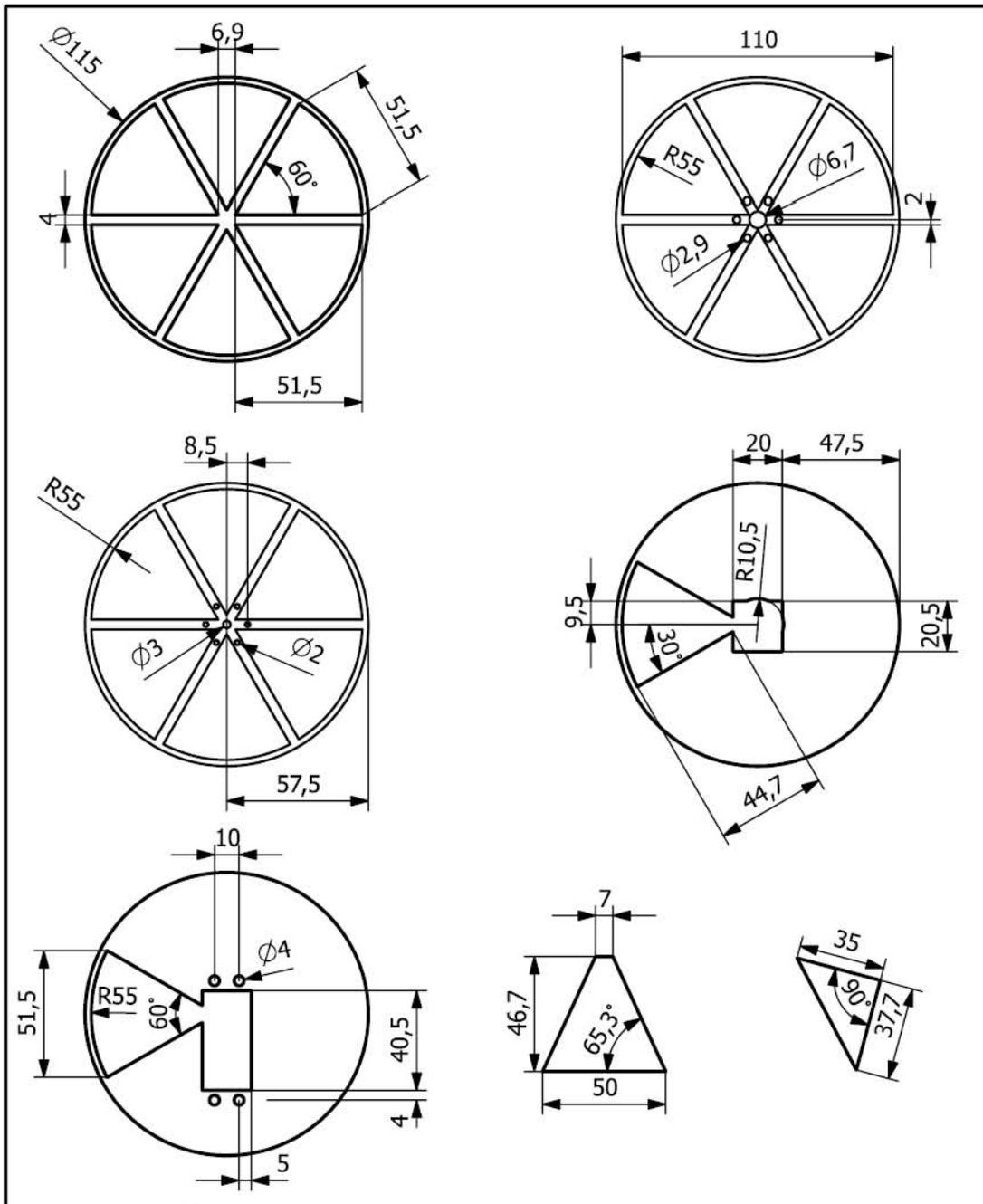
Figura IV.1 Diagrama de conexiones del sistema.



Apéndice V. Planos

7	CARRUSEL DIVISIONES	3
6	CARRUSEL TORNILLOS TAPA	1
5	CARRUSEL TORNILLOS	1
4	BASE SERVO TAPA	1
3	BASE SERVO	4
2	RAMPA BASE	1
1	RAMPA LATERAL	2
NÚMERO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD

	Universidad Nacional Autónoma de México	
	Ensamble: Carrusel	
	Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro	
	Revisó: Luis Yair Bautista Blanco	
Fecha: Diciembre 2017		Cotas: [mm]



Universidad Nacional Autónoma de México

Piezas: Carrusel divisiones, C, tornillos tapa, C, tornillos, Base servo tapa, B, servo, Rampa base, R, lateral

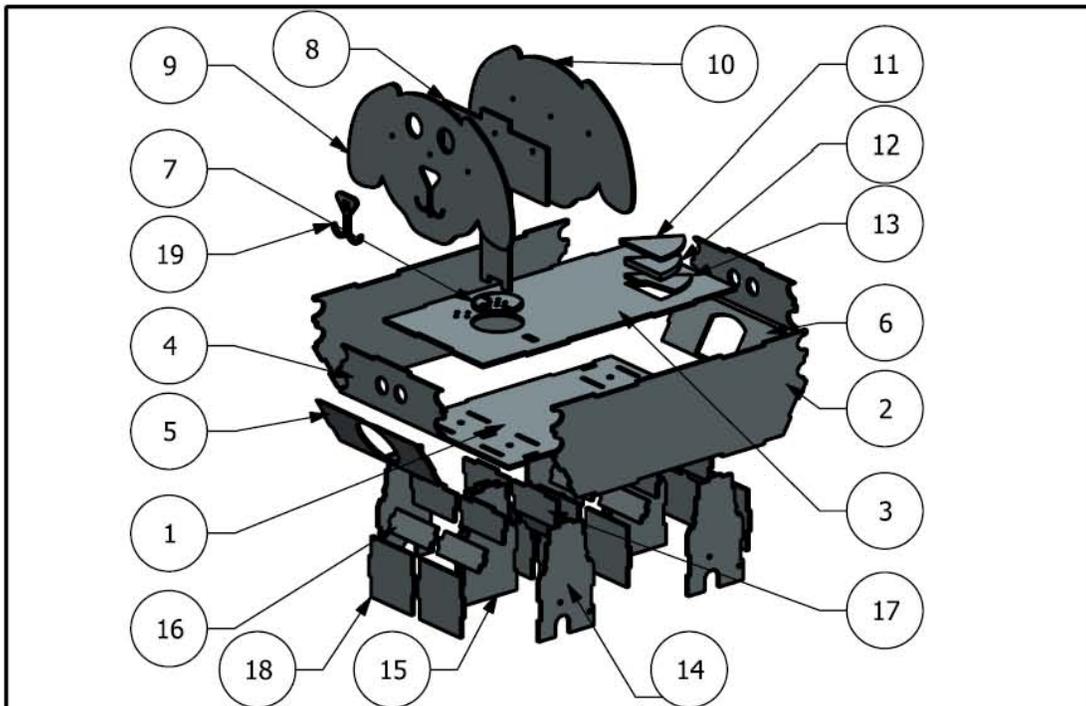
Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

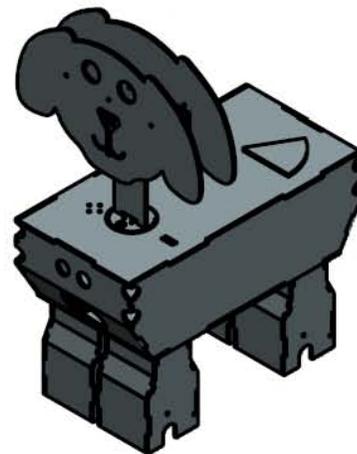
Escala: 1:2

Fecha: Diciembre 2017

Cotas: [mm]



19	NARIZ	1
18	PATA LATERAL INFERIOR	8
17	PATA LATERAL SUPERIOR	8
16	PATA LATERAL CENTRO	8
15	PATA INTERIOR	4
14	PATA RUEDA	4
13	TAPA PREMIOS INFERIOR	1
12	TAPA PREMIOS CENTRO	1
11	TAPA PREMIOS SUPERIOR	1
10	CARA POSTERIOR	1
9	CARA ANTERIOR	1
8	CUELLO	1
7	CUELLO BASE	1
6	COLA	1
5	PECHO	1
4	TORSO ANTERIOR Y POSTERIOR	2
3	TORSO SUPERIOR	1
2	TORSO LATERALES	2
1	TORSO INFERIOR	1
NÚMERO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD



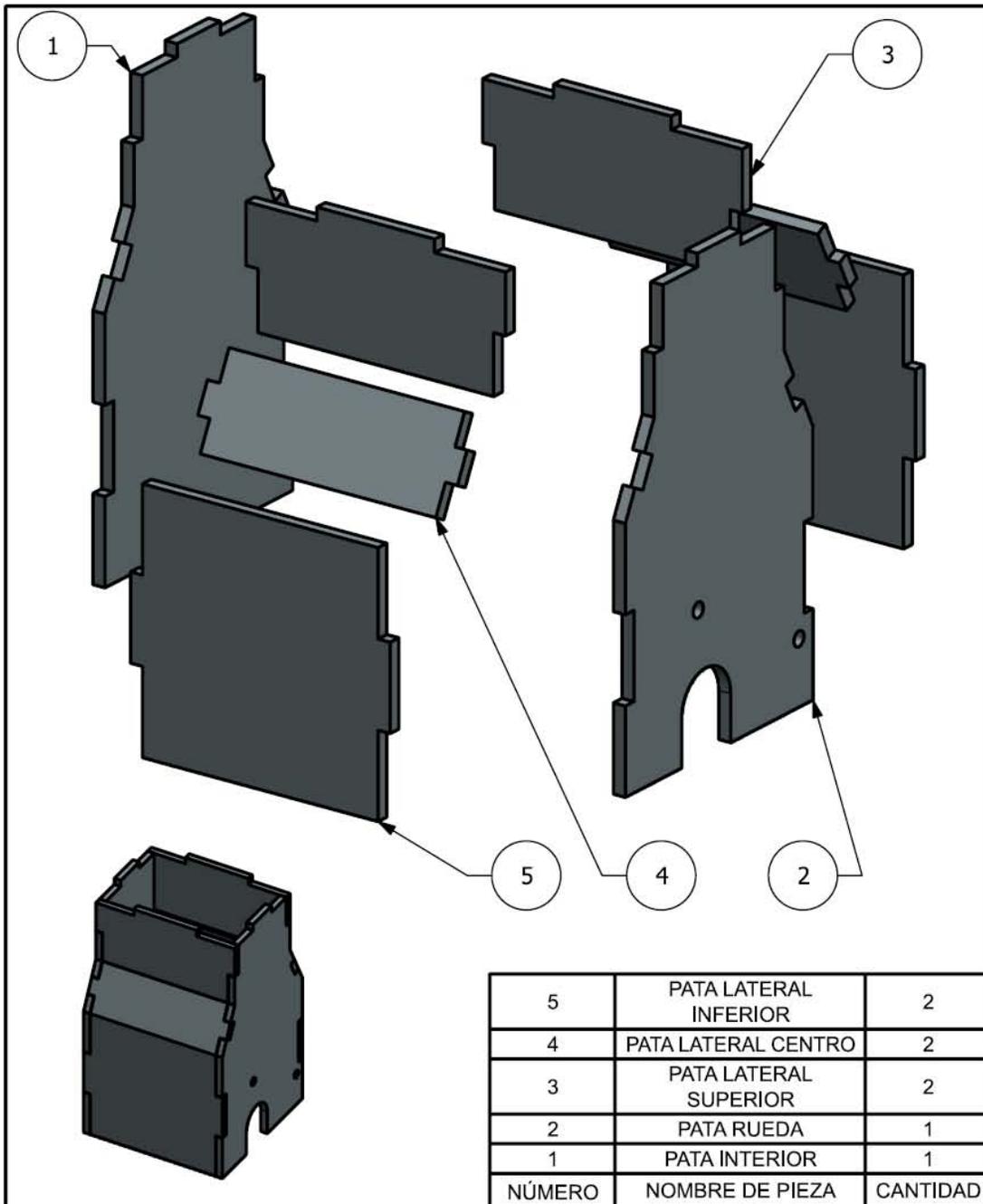
Universidad Nacional Autónoma de México

Ensamble: Cuerpo del sistema

Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

Fecha: Diciembre 2017



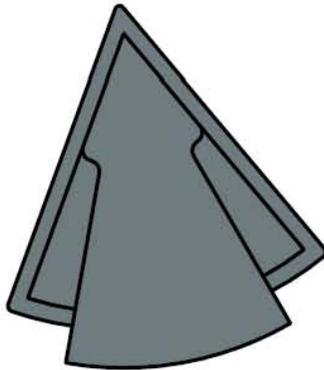
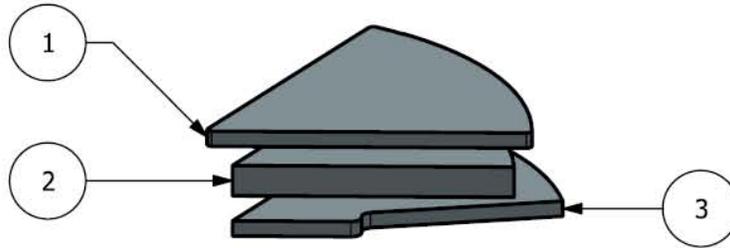
Universidad Nacional Autónoma de México

Ensamble: Pata

Diseñó: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

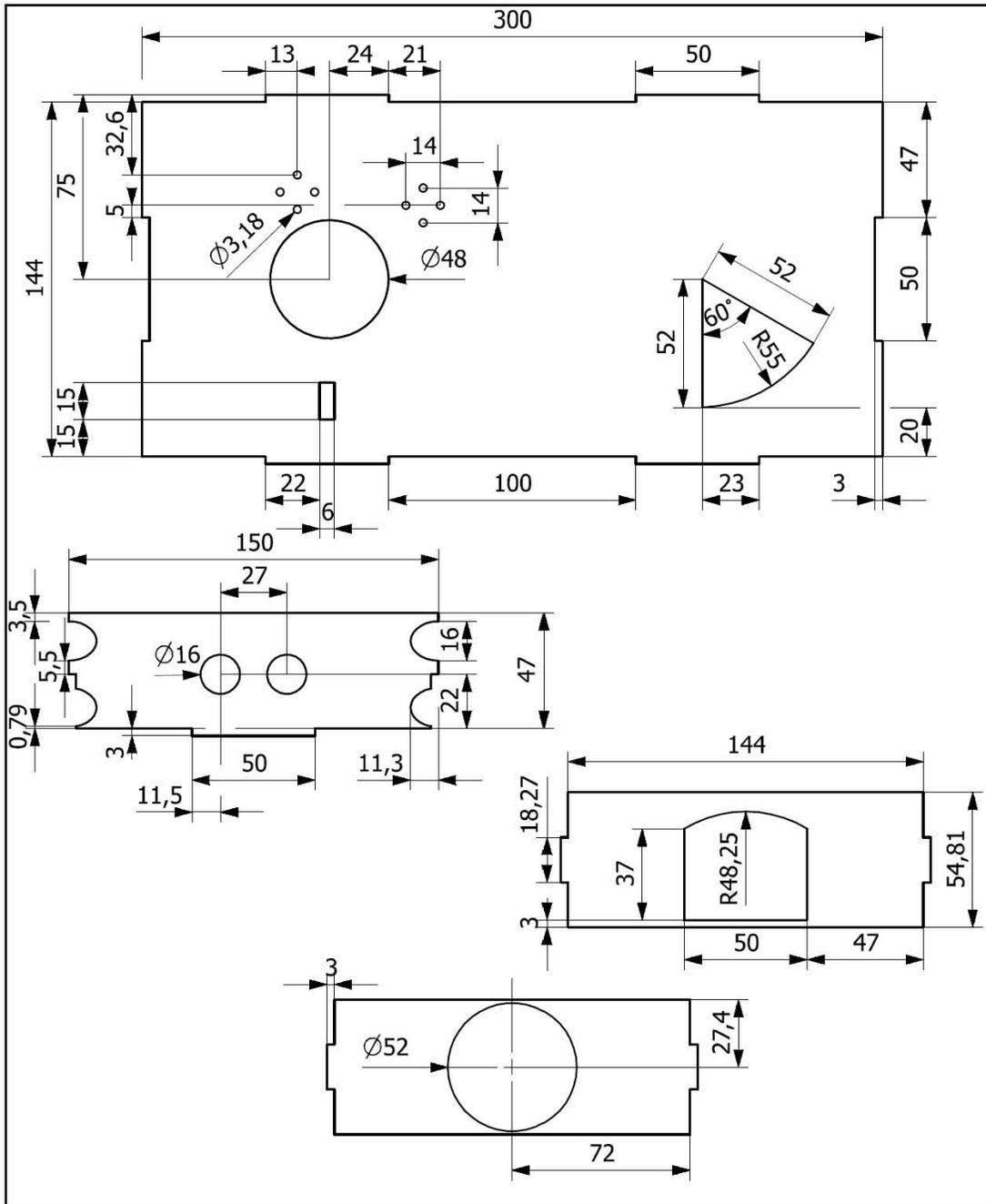
Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

Fecha: Diciembre 2017

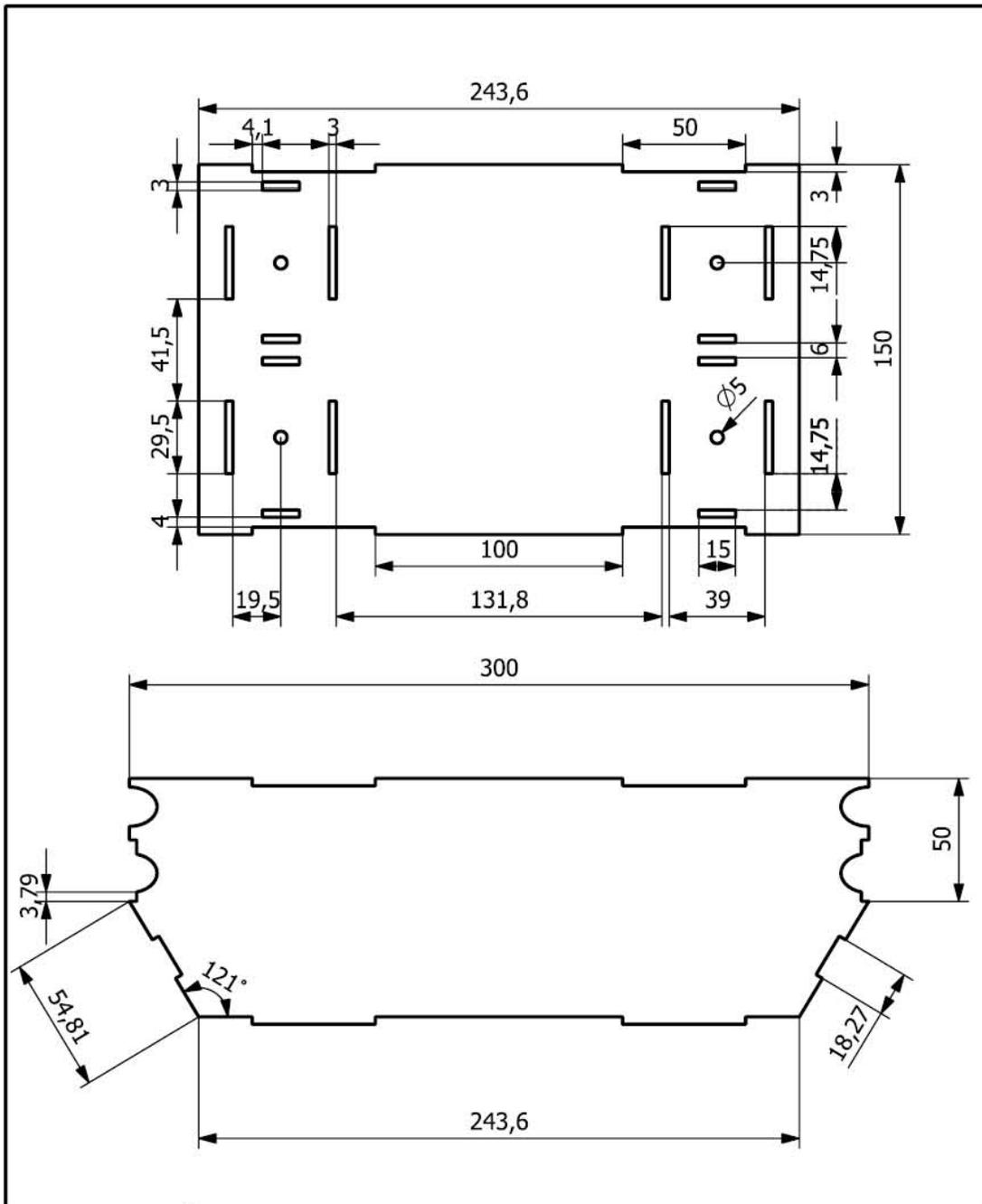


3	TAPA PREMIOS INFERIOR	1
2	TAPA PREMIOS CENTRO	1
1	TAPA PREMIOS SUPERIOR	1
NÚMERO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD

	Universidad Nacional Autónoma de México	
	Ensamble: Tapa de almacen de premios	
	Diseñó: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro	
	Revisó: Luis Yair Bautista Blanco	
Fecha: Diciembre 2017		



	Universidad Nacional Autónoma de México	
	Piezas: Torso superior, Torso anterior/posterior, Pecho y Cola	
	Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro	
	Revisó: Luis Yair Bautista Blanco	Escala: 1:2
	Fecha: Diciembre 2017	Cotas: [mm]



Universidad Nacional Autónoma de México

Piezas: Torso inferior, Torso laterales

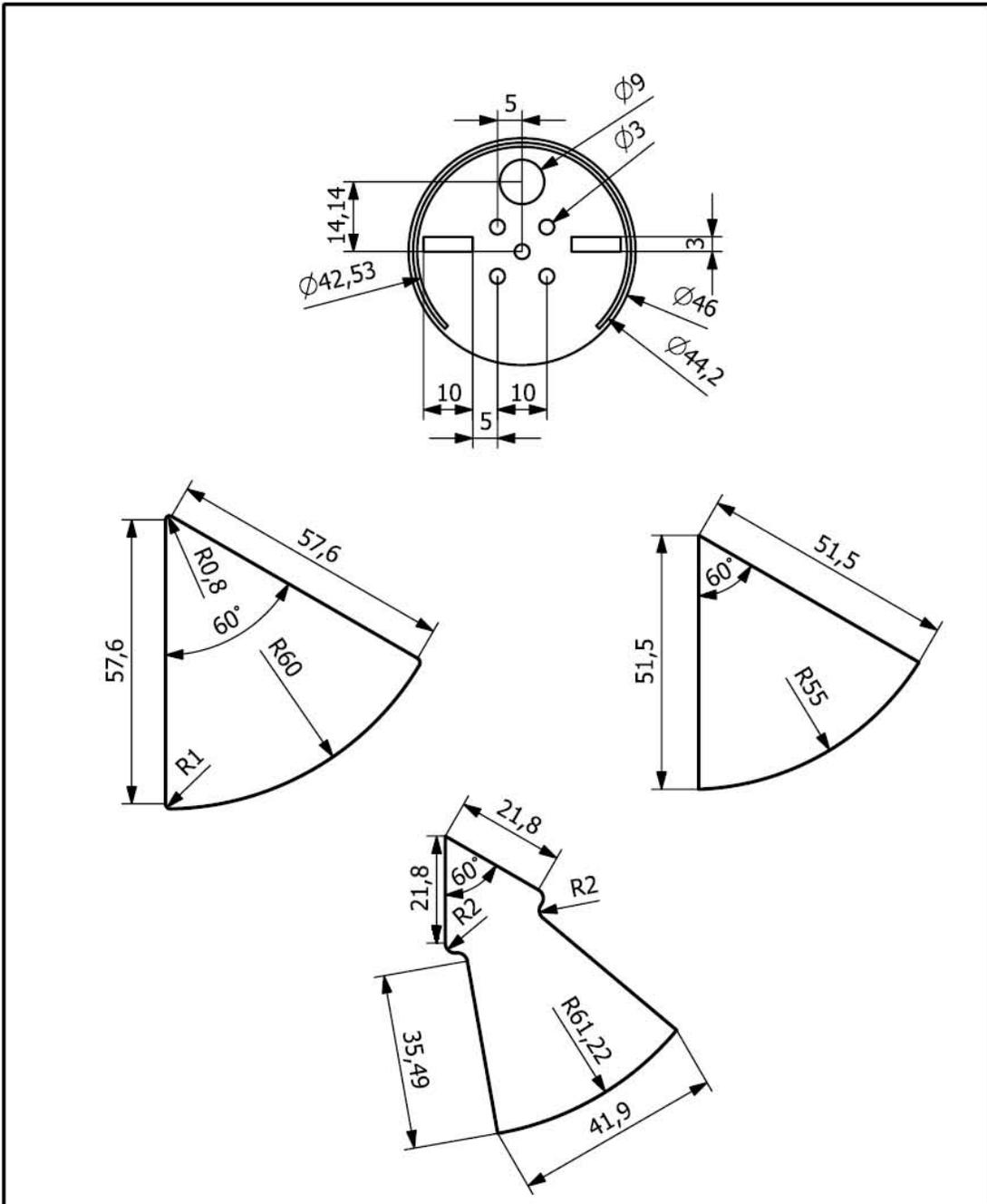
Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

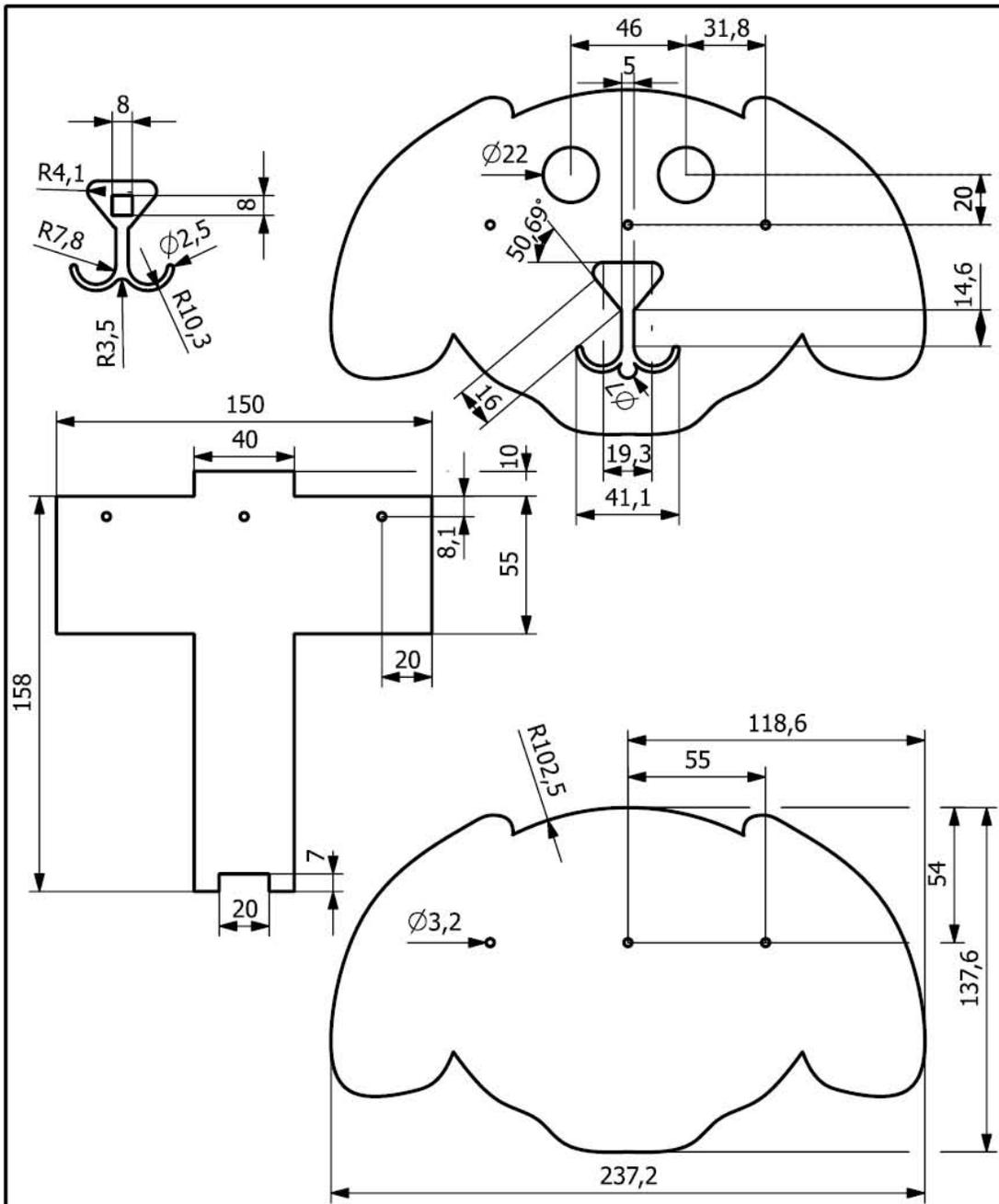
Escala: 1:2

Fecha: Diciembre 2017

Cotas: [mm]



	Universidad Nacional Autónoma de México	
	Piezas: Cuello base, Tapa premios superior, Tapa premios centro, Tapa premios inferior	
	Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro	
	Revisó: Luis Yair Bautista Blanco	Escala: 1:1
Fecha: Diciembre 2017	Cotas: [mm]	



Universidad Nacional Autónoma de México

Piezas: Nariz, Cara anterior, Cuello, Cara posterior

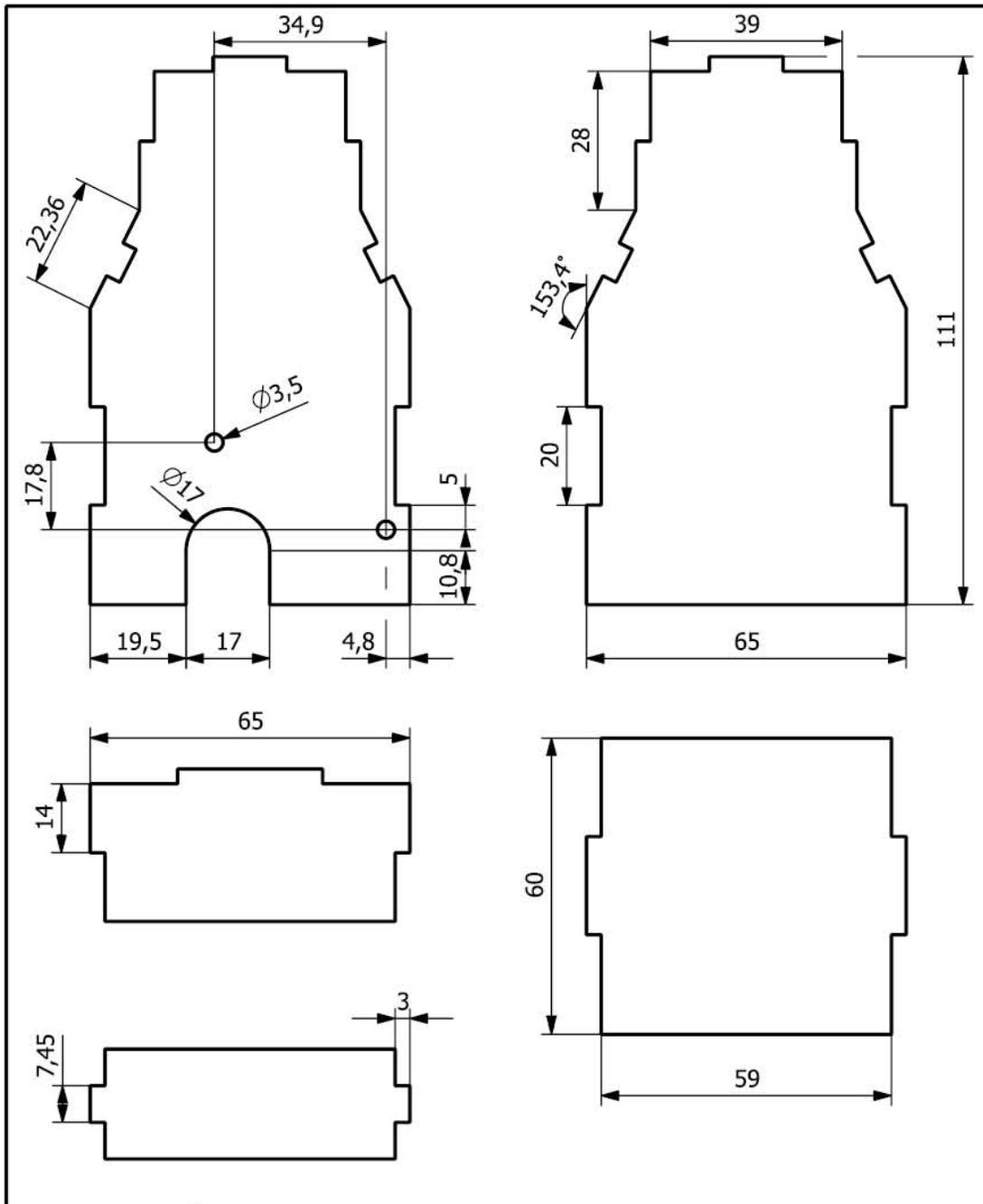
Diseñó: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

Escala: 1:2

Fecha: Diciembre 2017

Cotas: [mm]



Universidad Nacional Autónoma de México

Piezas: Pata Rueda, Pata Interior, Pata lateral superior, Pata lateral inferior, Pata lateral centro

Diseño: Orsatti Sánchez Bruno Alejandro

Revisó: Luis Yair Bautista Blanco

Escala: 1:1

Fecha: Diciembre 2017

Cotas: [mm]

Tabla de especificaciones		
Pieza	Material	Espesor [mm]
Carrusel divisiones	MDF	6
Carrusel tornillos tapa	MDF	3
Carrusel tornillos	MDF	6
Base servo tapa	MDF	3
Base servo	MDF	3
Rampa base	MDF	3
Rampa lateral	MDF	3
Nariz	Acrílico Negro	3
Pata lateral inferior	MDF	3
Pata lateral superior	MDF	3
Pata lateral centro	MDF	3
Pata interior	MDF	3
Pata rueda	MDF	3
Tapa premios inferior	MDF	3
Tapa premios centro	MDF	6
Tapa premios superior	MDF	3
Cara posterior	MDF	3
Cara anterior	MDF	3
Cuello	MDF	3
Cuello Base	MDF	3
Cola	MDF	3
Pecho	MDF	3
Torso anterior y posterior	MDF	3
Torso superior	MDF	3
Torso laterales	MDF	3
Torso inferior	MDF	3

Nota: Los nombres indicados de las piezas en cada una de las hojas anteriormente presentadas van en orden respectivamente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.



Referencias

- [1] Anónimo, *Perro doméstico*, National Geographic, 2010. [Online]. Available: <http://www.nationalgeographic.es/animales/perro-domestico>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [2] Anónimo, *¿Dónde y cómo comenzó la domesticación de los perros?*, Ecoosfera, 2015. [Online]. Available: <https://ecoosfera.com/2015/10/donde-y-como-comenzo-la-domesticacion-de-los-perros-aqui-te-lo-decimos/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [3] Anónimo, *Los perros surgieron una vez y de un solo grupo de lobos*, ABC, 2017 [Online]. Available: http://www.abc.es/ciencia/abci-perros-surgieron-y-solo-grupo-lobos-201707191015_noticia.html. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [4] A. Tejada Perea, “La correcta interpretación de señales en la comunicación perro-dueño”, *Animales de Cía.*, no. 157, pp. 4-8, Apr. 2015
- [5] R. S. Mujica Gonzáles, “Etología clínica en caninos”, *Mundo Pecuario*, vol. VIII, no. 1, pp. 60-72, 2012 [Online] Available: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/34623/articulo5.pdf;jsessionid=F937D6361E9BF9DABBBA51F76DD16C3B?sequence=1> [Accessed: 23 Apr. 2018]
- [6] J. Salas, *Los lobos se hicieron perros siguiendo a los primeros cazadores europeos*, *Materia*, 2013 [Online]. Available: <http://esmateria.com/2013/11/14/los-lobos-se-hicieron-perros-siguiendo-a-los-primeros-cazadores-europeos-segun-un-estudio/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [7] M. Ansele, *Tu perro surgió hace 33.000 años a partir de lobos del sur de China*, EL PAÍS, 2015. [Online]. Available: https://elpais.com/elpais/2015/12/14/ciencia/1450119868_472566.html. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [8] M. Cabrera, “¿Por qué amamos a los perros?”, *Animales de Cía.*, no. 115, pp. 4-8, Feb. 2015
- [9] Anónimo, *El perro proviene de lobos domesticados en sudeste de Asia*, Doogweb, 2011. [Online]. Available: <https://www.doogweb.es/2011/11/24/el-perro-proviene-de-lobos-domesticados-en-sudeste-de-asia/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [10] G. Wang, *et.al.*, *Out of southern East Asia: the natural history of domestic dogs across the world*, *Nature*, 2015 [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/cr2015147>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [11] Anónimo, *La tristeza de perder un perro se equipará a la de perder a un ser querido*, Ecoosfera, 2017. [Online]. Available: <https://ecoosfera.com/2017/03/la-tristeza-de-perder-un-perro-se-equipara-a-la-de-perder-a-un-ser-querido-estudio/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [12] B. vonHoldt, J. Pollinger, R. Wayne, *Genome-wide SNP and haplotype analyses reveal a rich history underlying dog domestication*, *Nature*, 2010 [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/nature08837>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [13] A. Tejada, *Comunicación y organización social en el perro*, Departamento de Etología y Fauna Silvestre Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, n.d [Online]. Available:

<http://amaltea.fmvz.unam.mx/ETOLOGIA/TEMAS/PERROS/Senales%20y%20org%20social%20%20del%20comunicacion%20en%20el%20perro.pdf>. [Accessed: 23 Apr. 2018].

[14] Anónimo, *Los perros hacen gestos para comunicarse con los humanos*, El Universal, 2017 [Online]. Available : <http://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/ciencia/los-perros-hacen-gestos-para-comunicarse-con-los-humanos>. [Accessed: 23 Apr. 2018].

[15] A. Tejeda, "Ansiedad por separación: la soledad en animales de compañía", *Animales de Cía.*, no. 158, pp. 22-24, May 2015

[16] S. P. Villaprez Cannegro, "Modales caninos: perro, ¡compórtate por favor!", *Animales de Cía.*, no. 158, pp. 14-16, May 2015

[17] L. F. Gómez, C. G. Atehortua, S. C. Orozco, *La influencia de las mascotas en la vida humana*, Revista Colombia de Ciencias Pecuarias Universidad de Antioquia, 2007. [Online]. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a16.pdf> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[18] P. Koscinczuk, *Domesticación, bienestar y relación entre el perro y los seres humanos*, Revista Veterinaria, 2017. [Online]. <http://www.scielo.org.ar/pdf/revet/v28n1/v28n1a15.pdf> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[19] Ricardo B., *Esta imagen se ha vuelto Viral porque muestra el estatus en una manada de lobos*, La guía del varón, n.d. [Image]. <https://www.laguiadelvaron.com/imagen-muestra-estatus-en-manada-de-lobos/> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[20] Anónimo, *Lobos: Lobos alfa e beta, linguagem corporal dos lobos e sua alimentação*, Lupus Alimentos, n.d. [Image]. http://lupusalimentos.com.br/lupus_mundopet/lobos-lobos-alfa-e-beta-linguagem-corporal-dos-lobos-e-sua-alimentacao/ [Accessed: 23 Apr. 2018].

[21] del Mar R., *cachorros-lobo-artico*, Gallumar, 2015. [Image]. <https://gallumar.com/familias-de-lobos/cachorros-lobo-artico/> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[22] Anónimo, *El mundo del Lobo*, El mundo de los animales, n.d. [Image]. <http://www.elmundodelosanimales.com/animales/lobo/lobo.php> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[23] Anónimo, *Information on Emotional Support Dogs*, United States Dog Registry, 2013 [Online]. Available: <http://usdogregistry.org/information/information-on-emotional-support-dogs/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].

[24] Anónimo, *Tipos de perros*, Perros de asistencia México, 2018 [Online]. Available: <http://perrosdeasistenciamexico.org/tipos-de-perros/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].

[25] J. Correa, *La compañía del perro y sus beneficios para el ser humano*, Alabama A&M y Auburn Universities, 2016 [Online]. <http://www.aces.edu/pubs/docs/U/UNP-0058/UNP-0058.pdf> [Accessed: 23 Apr. 2018].

[26] Anónimo, *Razas de perros recomendables para niños*, Diario de Mascotas, 2018. [Image]. Available: <https://diariodemascotas.com/razas-de-perros-recomendables-para-ninos/> [Accessed: 23 Apr. 2018].

- [27] M. E. Persson, D. Wright, L. S. V. Roth, P. Batakis, P. Jensen, *Genomic Regions Associated with interspecies communication in dogs contain genes related to human social disorders*, Nature Scientific Reports, 2016 [Online]. <https://www.nature.com/articles/srep33439.pdf> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [28] ANPA Costa Rica, *Manual básico de tenencia responsable de perros y gatos*, ANPA, 2017. [Online]. Available: http://www.prodan.org.mx/edupub/Manual_tenencia_responsable.pdf [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [29] Anónimo, *¿Cómo nace la frase “el perro es el mejor amigo del hombre” ?*, Muy mascotas, 2014 [Online]. <http://muymascotas.com/como-nace-la-frase-el-perro-es-el-mejor-amigo-del-hombre/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [30] Anónimo, *Conmovedor: “EL PERRO ES EL MEJOR AMIGO DEL HOMBRE” Origen de la CÉLEBRE frase*, Seamos más animales, n.d. [Online]. <https://www.seamosmasanimales.com/el-perro-es-el-mejor-amigo-del-hombre/>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [31] Anónimo, *De dónde viene la frase el perro es el mejor amigo del hombre*, 4 Patas, 2017 [Online]. <http://www.4patas.com.co/perros/historias/articulo/origen-de-la-frase-el-perro-es-el-mejor-amigo-del-hombre/6454>. [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [32] I. Valenzuela, *5 asombrosos trabajos realizados por perros*, Vix, n.d. [Image]. Available: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4954/5-asombrosos-trabajos-realizados-por-perros> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [33] J. Muñoz, *13 Perros con trabajos que nos demuestran lo mucho que les debemos*, Rolloid, 2016. [Image]. Available: <https://rolloid.net/13-perros-con-trabajos-que-nos-demuestran-lo-mucho-que-les-debemos/> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [34] Anónimo, *El increíble trabajo de los perros de Asistencia y de Terapia*, Nutro Expertos, 2017. [Image]. Available: <https://nutroexpertos.com/perros-asistencia-terapia/> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [35] Anónimo, *Perros encuentran comida en vez de droga en el aeropuerto de Manchester*, Perros de Busqueda, 2016. [Image]. Available: <https://www.perrosdebusqueda.es/perros-encuentran-comida-en-vez-de-droga-en-el-aeropuerto-de-manchester/> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [36] B. Ignorosa, *10 datos sobre Frida, la perrita rescatista, que harán que te conquiste aún más*, InStyle, 2017. [Image]. Available: <https://instyle.mx/estilo-de-vida/pop-culture/2017/09/28/10-datos-que-no-sabias-de-frida-la-perrita-rescatista/> [Accessed: 23 Apr. 2018].
- [37] Anónimo, “Beneficios del juego: mente sana, convivencia sana”, *Animales de Cía.*, no. 163, pp. 12-13, Oct. 2015
- [38] M. Cabrera, “A tu amigo le gusta jugar (y debe hacerlo)”, *Animales de Cía.*, no. 163, pp. 6-10, Oct. 2015
- [39] Anónimo, *7 de cada 10 hogares en México tienen una mascota*, Forbes México, 2017. [Online]. Available: <https://www.forbes.com.mx/7-de-cada-10-hogares-en-mexico-tienen-una-mascota/>. [Accessed: 24 Apr. 2018].

- [40] Anónimo, *Pet ownership Global GfK survey*, GfK, 2016 [Online]. Available: http://www.gfk.com/fileadmin/user_upload/website_content/Global_Study/Documents/Global-GfK-survey_Pet-Ownership_2016.pdf. [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [41] Anónimo, *8 de cada 10 hogares en México tienen una mascota: Encuesta*, El Financiero, 2017 [Online]. Available : <http://www.elfinanciero.com.mx/after-office/de-cada-10-hogares-en-mexico-tienen-una-mascota-encuesta>. [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [42] Consulta Mitofsky, *Acerca de consulta*, Consulta Mitofsky, 2018. [Online]. Available: <http://consulta.mx/index.php/acerca-de-consulta> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [43] Consulta Mitofsky, *México: las mascotas en nuestros hogares*, Consulta Mitofsky, 2014. [Online]. Available: <http://consulta.mx/index.php/estudios-e-investigaciones/mexico-opina/item/577-mexico-las-mascotas-en-nuestros-hogares> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [44] INEGI, *Bienestar subjetivo*, INEGI, 2014. [Online]. Available: http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/investigacion/bienestar/ampliado/tabulados/2014/pob_s_at_27.xlsx [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [45] Clker-Free-Vector-Images, *Cerdo rosa*, Pixabay, 2014. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/pig-pink-animal-farm-piglet-303632/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [46] OpenClipart-Vectors, *Big brown caricature cartoon cat cute dentures*, Pixabay, 2017. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/big-brown-caricature-cartoon-cat-2024026/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [47] Clker-Free-Vector-Images, *Dog cartoon bone pet animal cute canine art*, Pixabay, 2014. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/dog-cartoon-bone-pet-animal-cute-304206/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [48] Clker-Free-Vector-Images, *Rabbit animal cartoon pet farm zoo smile*, Pixabay, 2012. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/rabbit-animal-cartoon-pet-farm-30479/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [49] Creozavr, *Fish parrot fish cartoon blue good*, Pixabay, 2016. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/fish-parrot-fish-cartoon-blue-good-1439214/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [50] Calhaora, *Bird animal blue fly*, Pixabay, 2014. [Image]. Available: <https://pixabay.com/en/bird-animal-blue-fly-548654/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [51] Anónimo, *Tortuga verde*, Pixabay, n.d. [Image]. Available: <https://pixabay.com/es/photos/tortuga%20verde/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [52] Clker-Free-Vector-Images, *Casa ventanas abiertas arquitectura*, Pixabay, 2014. [Image]. Available: <https://pixabay.com/es/casa-ventanas-abiertas-arquitectura-307952/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [53] A. Torres, *¿Cuántos perros hay en México?*, Uno TV, 2015. [Online]. Available: <https://www.unotv.com/noticias/nacional/detalle/cuantos-perros-hay-mexico-169710/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [54] Anónimo, *Medio millón de mascotas son abandonadas al año en México*, Excelsior, 2018. [Online]. Available: <http://www.excelsior.com.mx/de-la-red/2018/01/17/1214292#view-1>. [Accessed: 24 Apr. 2018].

- [55] L. Morán Rodríguez, *Proponen solución al problema de los perros callejeros*, Ciencia UNAM, 2012. [Online]. Available: http://ciencia.unam.mx/leer/109/Proponen_solucion_al_problema_de_los_perros_callejeros. [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [56] A. Mireille, *Por qué abandonamos a nuestras mascotas*, Sin embargo, 2013. [Online]. Available: <http://www.sinembargo.mx/16-01-2013/491149> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [57] M. Cendón Panadés, A- Holm, *Abandono de animales de compañía*, Universidad Autónoma de Barcelona, 2012. [Online]. Available: <https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/85680/abaanicom.pdf> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [58] L. Fernandez Leyva, *El abandono de mascotas, qué, por qué y prevención*, Animalistas, n.d. [Online]. Available: <http://www.animalistas.com/MascotasAbandonadas.htm> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [59] Anónimo, *Abandono de animales, un problema de todo el año*, Mis animales, n.d. [Online]. Available: <https://misanimales.com/abandono-animales-un-problema-de-todo-el-ano/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [60] Anónimo, *Mascotas ¿Compañero de vida, acción responsable o capricho?*, Universidad del Valle de México, 2015 [Online]. Available: <http://opinionpublicauvm.mx/projects/mascotas-%C2%BFcompa%C3%B1ero-de-vida-acci%C3%B3n-responsable-o-capricho> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [61] E. Hames, *¿Qué hace tu mascota mientras está sola en casa?*, Selecciones, 2018 [Online]. Available: <https://selecciones.com.mx/que-hace-tu-mascota-mientras-esta-sola-en-casa/> [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [62] Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F., *Guía de bienestar en animales de compañía*, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F., n.d. [Online].5 Available: http://www.paot.org.mx/micrositios/animales/pdf/Resumen_bienestar_animal.pdf [Accessed: 24 Apr. 2018].
- [63] Anónimo, *Hospital veterinario de especialidades en fauna silvestre y etología clínica*, FMVZ-UNAM, n.d. [Online] Available: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/servicios/s_etologia.html [Accessed: 24 Apr. 2018]
- [64] J. González, *¿Qué es un perrhijo?*, Neostuff, 2017. [Online]. Available: <https://www.neostuff.net/que-es-un-perrhijo/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [65] C. Ochoa, *'Perrijos', un negocio de millones de dólares*, Milenio, 2018. [Online]. Available: http://www.milenio.com/negocios/mercado_mascotas-cuidado_animal-perrijos-euromonitor-inegi_0_1099090092.html [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [66] N. Farias, *¿Tratas a tu perro como un hijo?*, Vix, 2017 [Online]. Available: <https://www.vix.com/es/relaciones/192618/tratas-a-tu-perro-como-un-hijo-la-ciencia-tiene-algo-para-decirte> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [67] Anónimo, *Un error humanizar a los animales de compañía: académico de la UNAM*, DGCS, 2017 [Online]. Available: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_809.html [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [68] Y. Flores, *Qué es un perrhijo*, Weepec, 2017. [Image]. Available: <https://revista.weepec.com/que-es-un-perrhijo/> [Accessed: 25 Apr. 2018].

- [69] Anónimo, *Perrhijos, nuevo modelo de familia en México*, DigitalMX, 2017. [Image]. Available: <http://www.digitalmx.net/perrhijos-nuevo-modelo-de-familia-en-mexico/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [70] Anónimo, *¿Tienes perrhijos? Ten cuidado porque podrías hacerles daño*, Excelsior, 2018. [Image]. Available: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2018/01/28/1216567> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [71] Anónimo, *15 señales de que tienes un perrhijo*, Te protejo, 2014. [Image]. <http://www.teprotejo.cl/15-senales-de-que-tienes-un-perrhijo/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [72] E. Molina Becker, "La humanización de las mascotas", *Animales de Cía.*, no. 157, pp. 20-22, Apr. 2015
- [73] M. Ledesma López, "Evita la ansiedad y malas conductas en perros pequeños" *Animales de Cía.*, no. 167, pp. 18-20, Feb. 2016
- [74] C. H. Moneyish, *Deluded millennials think pets will teach them to parent*, New York Post, 2017 [Online]. Available: <https://nypost.com/2017/05/29/deluded-millennials-think-pets-will-teach-them-to-parent/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [75] K. Casillas, V. Pérez Botero, *Perrhijos: un nuevo modelo de familia*, El Universal, 2014. [Online]. Available: <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2014/impreso/perrhijos-un-nuevo-modelo-de-familia-212814.html> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [76] C. Pinedo, *¿Quiere a su perro a su hijo (o casi) ?*, El País, 2015 [Online]. Available: https://elpais.com/elpais/2015/06/04/buenavida/1433433415_433298.html [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [77] Anónimo, "Tratar a los perros como humanos es frustrarlos", dice el encantador de perros César Millán, CNN, 2016 [Online]. Available: <http://cnnespanol.cnn.com/2016/05/24/tratar-a-los-perros-como-humanos-es-frustrarlos-dice-el-encantador-de-perros-cesar-millan/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [78] C. Millán, César Millán opina sobre los "perrhijos", Contenido, 2016 [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0IFW3Udof3I> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [79] H. Salvatierra, *Mascotas: "los otros hijos" que también cuestan*, Forbes, 2017 [Online]. Available: <https://www.forbes.com.mx/mascotas-los-otros-hijos-tambien-cuestan/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [80] E. Esquivel, *Mascotas: Negocio millonario y de problemas de salud*, SDPnoticias, 2015. [Online]. Available: <https://www.sdpnoticias.com/nacional/2015/03/22/mascotas-negocio-millonario-y-de-problemas-de-salud> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [81] Anónimo, *Menos bebés y más perritos. ¿La tendencia?*, Excelsior, 2014. [Online]. Available: <http://www.excelsior.com.mx/de-la-red/2014/04/10/953415> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [82] Anónimo, *El mejor amigo, también para tu economía*, CONDUSEF, 2016. [Online]. Available: <http://www.condusef.gob.mx/Revista/PDF-s/2016/200/mascota.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [83] C. Martínez Riojas, *Los servicios para mascotas se integran al índice de precios*, Expansión, 2017. [Online]. Available: <https://expansion.mx/economia/2017/08/23/los-servicios-para-mascotas-se-integran-al-indice-de-precios> [Accessed: 25 Apr. 2018]

- [84] Anónimo, *Mercado de mascotas en México con potencial*, El Horizonte, 2017 [Online]. Available: <http://www.elhorizonte.mx/finanzas/mercado-de-mascotas-en-mexico-con-potencial/1873384> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [85] Anónimo, *Grupo Amascota*, CONAFAB, 2018. [Online]. Available: <http://www.conafab.org/membresia/amascota> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [86] M.D. Soberanes Díaz, R. Vargas Bezaury, *Los perrhijos*, De la Riva Group, 2016. [Online]. Available: <http://www.delarivagroup.com/wp-content/uploads/2016/10/27.LOS-PERRIJOS.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [87] A. Velaztegui, *“Perrhijos”, los nuevos consentidos del hogar*, Contenido, 2015. [Online]. Available: <http://contenido.com.mx/2015/02/perrhijos-los-nuevos-consentidos-del-hogar/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [88] Procuraduría Federal del Consumidor, *Cuidados para el mejor amigo. Vacunas para perros*, gob.mx, 2016. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/cuidados-para-el-mejor-amigo-vacunas-para-perros-51498?idiom=es> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [89] Anónimo, *Mexicanos gastaron 36.1 mdp en sus mascotas en 2016*, Forbes, 2017. [Online]. Available: <https://www.forbes.com.mx/mexicanos-gastaron-36-1-mdp-en-sus-mascotas-en-2016/> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [90] P. Hoyo, “Hotelería canina 1ª parte”, *Animales de Cía.*, no. 152, pp. 48-49, Nov. 2014
- [91] Anónimo, *Top de las 11 cosas más importantes sobre juguetes para perros*, Mascota Fiel, n. d. [Online]. Available: <https://mascotafiel.com/juguetes-para-perros/> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [92] Anónimo, *Características y beneficios de los juguetes para perros*, n. d., Mascobox. [Online]. Available: <https://mascobox.com/juguetes-para-perros/> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [93] Anónimo, *¿Cómo elegir juguetes seguros para mi perro?*, Mis Animales, n. d. [Online]. Available: <https://misanimales.com/como-elegir-juguetes-seguros-para-mi-perro/#> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [94] O. Noguez, *Papás de perrhijos: oportunidades de negocio*, Merca 2.0, 2016. [Image]. <https://www.merca20.com/papas-de-perrhijos-oportunidades-de-negocio/> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [95] E. Torrens, *Yoga para perros – Ejercicios y consejos*, Experto Animal, 2013. [Image]. <https://www.expertoanimal.com/yoga-para-perros-ejercicios-y-consejos-672.html> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [96] Anónimo, *¿Tienes un ‘perrhijo’?*, La neta noticia, 2016. [Image]. <https://www.lanetanoticias.com/25863/tienes-un-perrhijo> [Accessed: 25 Apr. 2018].
- [97] T. Beltrán León, *Unidad de Aprendizaje: fundamentos y deontología veterinaria*, FMVZ-UNAM, n.d. [Online]. Available: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/70792/secme-18480_1.pdf?sequence=1 [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [98] Anónimo, *Hitos de la historia veterinaria*, Universidad Autónoma de Barcelona, n. d. [Online]. Available: <http://www.bib.uab.cat/veter/cuadernohistoriaelanco.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018]

- [99] P. Berríos, *Historia de la medicina veterinaria. Sus orígenes*, Patología Veterinaria, 2006 [Online]. Available: http://www.patologiaveterinaria.cl/Monografias/MEPAVET2%202006/html/Mepavet2006-4.htm#_Toc167545971 [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [100] Anónimo, *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, FMVZ-UNAM, n. d. [Online]. Available: <http://oferta.unam.mx/carreras/51/medicina-veterinaria-y-zootecnia> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [101] Anónimo, *Productos para Mascotas*, Innovett, n.d. [Online]. Available: <http://www.innovett.com/productos/mascotas/> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [102] Anónimo, *Animal Health*, Bayer México, 2016. [Online]. Available: <https://www.bayer.mx/es/segmentos-de-negocio/animal-health/> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [103] O. Bellenda, C. Esquivel, *Uso del ultrasonido en perros y gatos*, Econgرافيavet, 2002. [Online]. Available: http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910/091001ecografiavet.com/pdf/Ultrasonido_en_perros_y_gatos.pdf [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [104] C. Fragío, M. A. Daza, E. García, *Transfusiones sanguíneas en perros y gatos*, Universidad Autónoma de Barcelona, 2009. [Online]. Available: <https://ddd.uab.cat/pub/clivetpeqani/11307064v29n4/11307064v29n4p229.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [105] A. N. Colín González, *Manual de uso de ozonoterapia*, UAEM, 2016. [Online]. Available: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/49814> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [106] A. J. Flores Alés, *Principios de endoscopia diagnóstica y terapéutica (endocirugía)*, Revista electrónica de veterinaria REDVET, 2010. [Online]. Available: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910/091001.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [107] J. Talavera *et. al.*, *Terapia con células madre en medicina veterinaria: conceptos generales y evidencias clínicas*, Clínica Veterinaria de pequeños animales-AVEPA, 2017. [Online]. Available: <http://www.clinvetpeqanim.com/img/pdf/1329600056.pdf> [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [108] F. Finestres Zubeldía, *Protección en Radiología Odontológica*, Universidad de Barcelona, 2004. [Online]. Available: https://books.google.com.mx/books?id=_QoDug48TVkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [109] A. Vezzoni, H. Afonso, I. Mateo, *Mascotendencias: Nuevas técnicas o tecnología aplicada a la medicina y cirugía veterinaria*, IberzooPropet, 2017 [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=k18wn1FC_O8 [Accessed: 25 Apr. 2018]
- [110] Anónimo, *Mexicanos crean prótesis articulada en 3D para perro*, El Universal, 2016. [Online]. Available: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2016/01/21/mexicanos-crean-protesis-articulada-en-3d-para-perro> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [111] Jaque, *Estudiantes de la UVM crean prótesis especial para perros impresa en 3D*, Forbes, 2018. [Online]. Available: <https://regeneracion.mx/estudiantes-uvm-crean-protesis-para-perro/> [Accessed: 26 Apr. 2018]

- [112] Anónimo, *Orthopets*, Orthopets, n. d. [Online]. Available: <https://orthopets.com/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [113] L. Hu, *3-legged dog to receive prosthesis from UAB students now needs new home*, WBRC news, 2017 [Online]. Available: <http://www.wbrc.com/story/36440965/3-legged-dog-to-receive-prosthesis-from-uab-students-now-needs-new-home> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [114] Anónimo, *Prosthetic products*, K-9 Orthotics, 2010 [Online]. Available: <http://www.k-9orthotics.com/prosthetics/prosthetic-products> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [115] J. Griffin, *Brace yourself: This prosthetic engineer is giving animals a leg up*, PBS news, 2017 [Online]. Available: <https://www.pbs.org/newshour/science/brace-prosthetic-engineer-giving-animals-leg> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [116] Anónimo, *Animal Orthocare*, Animal Orthocare, n. d. [Online]. Available: <https://animalorthocare.com/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [117] Anónimo, "Mexicanos crean prótesis articulada en 3D para perro" *Animales de Cía.*, no. 167, p. 48, Feb. 2016
- [118] L. Ruíz, *Implementan poblanos primer marcapasos para perro en México*, e-consulta, 2017 [Online]. Available: <http://www.e-consulta.com/nota/2017-10-30/sociedad/implantan-poblanos-primer-marcapasos-para-perro-en-mexico> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [119] J. P. Barrena, et al, *Implementación de marcapaso unicameral en un perro con bloqueo atrioventricular de tercer grado*, Asociación de Veterinarios especializados en animales de compañía de Argentina, 2014 [Online]. Available: <http://www.aveaca.org.ar/implantacion-de-marcapasos-unicameral-en-un-perro-con-bloqueo-atrionventricular-de-tercer-grado-barrena-et-al/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [120] M. S. Johnson, M. W. Martin, W. Henley, *Resultado de la implementación de marcapasos en 104 perros*, Vets Affinity, 2007. [Online]. Available: <https://www.affinity-petcare.com/veterinary/actualidad-veterinaria/abstracts/2062> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [121] Anónimo, *Marcapasos para perros*, Venfido, 2016 [Online]. Available: <http://www.venfido.com.mx/articulo.php?id=1339> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [122] Anónimo, *Beneficios de pasear a tu perro*, Mis Animales, n.d. [Online]. Available: <https://misanimales.com/beneficios-de-pasear-tu-perro/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [123] Anónimo, *¿Qué es un paseador de perros? 10 aspectos importantes para conocerlo*, Mascotafiel, n.d. [Online]. Available: https://mascotafiel.com/paseador-de-perros/#3_Beneficios_de_contratar_a_un_paseador_de_perros [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [124] Anónimo, *Paseador de perros*, Entrepreneur, 2010 [Online]. Available: <https://www.entrepreneur.com/article/291396> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [125] S. Rosas, *Servicios y productos para mascotas, mercado en expansión en Querétaro*, 2015 [Online]. Available: <http://www.elfinanciero.com.mx/bajio/servicios-y-productos-para-mascotas-mercado-en-expansion-en-queretaro> [Accessed: 26 Apr. 2018]

- [126] Y. Franco, *Pasear perros, opción de empleo en la CDMX*, 2017. [Online]. Available: http://www.milenio.com/df/pasear-perros-empleo-trabajo-cdmx-cuidar-mascotas-milenio_0_994700530.html [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [127] M. Garcia, *¿Qué hacer si mi perro está estresado?*, Experto Animal, 2017. [Online]. Available: <https://www.expertoanimal.com/que-hacer-si-mi-perro-esta-estresado-20135.html> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [128] C. Edwards P., “Errores comunes en la educación de los perros” *Animales de Cía.*, no. 158, pp. 18-20, May 2015
- [129] P. Barjau, *Las 5 mejores escuelas para perros en CDMX*, The happening, 2016. [Online]. Available: <https://thehappening.com/escuelas-perros-cdmx/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [130] M. Loustaunau, *6 Escuelas ideales para entrenar a tu perro*, MXCity, 2016. [Online]. Available: <https://mxcity.mx/2016/10/6-escuelas-ideales-entrenar-a-perro/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [131] M. A. Gómez, “Microchip de identificación Avid”, *Animales de Cía.*, no. 152, pp. 50-51, Nov. 2014
- [132] K. Ramírez, *En el D.F. será obligatorio microchip y el registro de mascotas*, Excelsior, 2018. [Online]. Available: <http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2014/05/02/956936> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [133] Anónimo, *¿Qué es y cómo funciona el microchip para perros y gatos?*, Aristegui noticias, 2014. [Online] Available: <https://aristeginoticias.com/0205/mexico/que-es-y-como-funciona-el-microchip-para-perros-y-gatos/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [134] Anónimo, *Microchips e identificación para perros*, Perrospedia, n. d. [Online] Available: <http://www.perrospedia.com/microchips-e-identificacion-para-perros/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [135] Asamblea Legislativa del Distrito Federal, *Ley de Protección a los Animales del Distrito Federal*, Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2017. [Online] Available: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-54e6a63d674a3408db21ccd2c2414be8.pdf> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [136] R. Zamudio, *Los 5 mejores collares inteligentes para tus mascotas*, Qore, 2016. [Online] Available: <http://www.qore.com/noticias/50938/Los-5-mejores-collares-inteligentes-para-tus-mascotas> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [137] Anónimo, *Los nuevos wearables: collares inteligentes para perros*, Milenio, 2015. [Online] Available: http://www.milenio.com/tendencias/collares_inteligentes_perros-wearables_mascotas-petpace-voyce_0_584941610.html [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [138] P. Figuero, *El collar inteligente para perros se llama Kyon Pet Tracker*, PCWorld, 2017. [Online] Available: <https://www.pcworld.es/articulos/wearables/el-collar-inteligente-para-perros-se-llama-kyon-pet-tracker-417037/> [Accesses: 26 Apr. 2018]
- [139] Anónimo, *Tecnología en favor de las mascotas*, El financiero, 2015. [Online] Available: <http://www.elfinanciero.com.mx/tech/tecnologia-en-favor-de-las-mascotas> [Accesses: 26 Apr. 2018]
- [140] FitBark, *What do FitBark devices measure?*, FitBark, 2017. [Online] Available: <https://www.fitbark.com/articles/what-is-fitbark/> [Accesses: 26 Apr. 2018]

- [141] Kyon, *Especificaciones*, Kyon, 2016. [Online] Available: <http://www.kyontracker.com/es/specs.html> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [142] Vetercan, *Rayos X*, Vetercan, n.d. [Image] Available: <http://vetercan.com/servicios/rayos-x> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [143] E. Lancaster, *Calendario de vacunas para perros y cachorros*, Petdarling n.d. [Image] Available: <https://www.petdarling.com/articulos/vacunas-perros/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [144] Schnauzi, *Una perra con terribles problemas de corazón recibe el marcapasos que le salvará la vida*, Schnauzi, 2016 [Image] Available: <https://www.schnauzi.com/perra-problemas-corazon-recibe-marcapasos-salva-vida/> [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [145] B. Linsley, *Perro recibe prótesis en las cuatro patas*, La Prensa, 2015 [Image] Available: https://www.prensa.com/salud_y_ciencia/Perro-recibe-protesis-patas_0_4178582210.html [Accessed: 26 Apr. 2018]
- [146] E. Molina Becker, "Comportamiento de perros de talla pequeña", *Animales de Cía.*, no. 167, pp. 4-8, Feb. 2016
- [147] M. Heilblum, *Ansiedad por separación en el perro*, Adaptil, n.d [Online]. Available: <https://www.adaptil.com/mx/Articulos-Tecnicos/Ansiedad-por-separacion-en-el-perro> [Accessed: 27 Apr. 2018].
- [148] M. Heilblum, *Etología clínica en perros y gatos*, FMVZ-UNAM, 2004 [Online]. Available: http://www.fcv.uagr.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_libros/591%202646%20Etolog%C3%ADa%20Peque%C3%B1as%20Especies-20100824-105504.pdf [Accessed: 27 Apr. 2018].
- [149] C. Edwards P., "Abuso en el manejo y convivencia estresante en Navidad" *Animales de Cía.*, no. 152, pp. 40-41, Nov. 2014
- [150] R. J. Sargisson, "Canine separation anxiety: strategies for treatment and management", *Veterinary Medicine: Research and Reports*, vol. 5, pp.143-151, 2014 [Online] Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.920.3246&rep=rep1&type=pdf> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [151] C. Edwards P., "Ansiedad por separación en gatos", *Animales de Cía.*, no. 167, pp. 56-58, Feb. 2016
- [152] G. Flannigan, N. H. Dodman, "Risk factors and behaviors associated with separation anxiety in dogs", *J Am Vet Med Assoc*, vol. 219, no. 4, pp. 460-466 2001 [Online] Available: https://admin.avma.org/News/Journals/Collections/Documents/javma_219_4_460.pdf [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [153] A. Tejada Perea, *Etapas de desarrollo*, Departamento de Etología y Fauna Silvestre Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, n.d [Online]. Available: <http://amaltea.fmvz.unam.mx/ETOLOGIA/TEMAS/PERROS/Etapas%20de%20desarrollo%20y%20comunicacion.pdf> [Accessed: 27 Apr. 2018].
- [154] A. Alfageme, *¿Qué le pasa a tu perro cuando te vas?*, El país, 2014 [Online] Available: https://elpais.com/elpais/2014/04/15/animalesycia/1397534400_139753.html [Accessed: 27 Apr. 2018]

- [155] Redacción Animales de Compañía, “La relación entre gatos y humanos, qué dice la ciencia al respecto”, *Animales de Cía.*, no. 155, pp. 58-59, Feb. 2015
- [156] Anónimo, *Ansiedad por separación*, Hills Pet, n.d. [Online] Available: <https://www.hillspet.es/dog-care/behavior-appearance/dog-separation-anxiety> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [157] Anónimo, *Ansiedad causada por una separación*, Kong, n.d. [Online] Available: <https://www.kongcompany.com/es/expert-tips/ansiedad-causada-por-una-separaci%C3%B3n/> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [158] G. Huertas Piquero, *Pautas generales para tratar ansiedad por separación*, La llamada animal, 2015 [Image] Available: <http://lallamadaanimal.blogspot.mx/2015/03/pautas-generales-para-tratar-ansiedad.html#.Wu9M5YgvxhE> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [159] suramado, *Mi perro se orina en casa, en la cama, en el sofá, en su cuna Por qué y qué hacer*, Full aventura, 2018 [Image] Available: <http://www.fullaventura.com/foro/viewtopic.php?t=163970> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [160] A. Terp, *Dog Behavioral Problems – Barking, Chewing and More*, Pinterest, n.d. [Image] Available: <https://www.pinterest.es/pin/202591683208181637/> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [161] E. Casado, Evitar que mi perro ladre cuando está solo, Experto Animal, 2017 [Image] Available: <https://www.expertoanimal.com/evitar-que-mi-perro-ladre-cuando-esta-solo-22037.html> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [162] E. Molina Becker, “¿Cómo evitar el aburrimiento y la ansiedad?”, *Animales de Cía.*, no. 163, pp. 22-24, Oct. 2015
- [163] M. Ibáñez Talegón, B. Anzola Delgado, C. Valverde del Valle, “Ansiedad generalizada en un gato”, *Animales de Cía.*, no. 152, pp. 56-58, Nov. 2014
- [164] C. Edwards P., “Importancia de las rutinas en la educación canina” *Animales de Cía.*, no. 115, pp. 16-18, Feb. 2015
- [165] E. Casado, *Evitar que mi perro ladre cuando está solo*, Experto Animal, 2017 [Online] Available: <https://www.expertoanimal.com/evitar-que-mi-perro-ladre-cuando-esta-solo-22037.html> [Accessed: 27 Apr. 2018]
- [166] M. Ledesma López, “Estrategias para eliminar malos hábitos en casa” *Animales de Cía.*, no. 158, pp. 10-12, May 2015
- [167] E. Molina Becker, “¿Por qué lo hacen? Problemas de comportamiento más comunes de nuestros perros en casa”, *Animales de Cía.*, no. 158, pp. 4-8, May 2015
- [168] S. P. Villaprez Cannegro, “No te fijas en mis años, jamás dejaré de aprender”, *Animales de Cía.*, no. 163, pp. 30-32, Oct. 2015
- [169] E. Lancaster, *Ansiedad por separación aprender a solucionarla*, Petdarling, n.d. [Online] Available: <https://www.petdarling.com/articulos/ansiedad-por-separacion/> [Accessed: 29 Apr. 2018]

- [170] Anónimo, *Corregir problemas de conducta en el perro*, Kong, n.d. [Online] Available: <https://www.kongcompany.com/es/expert-tips/corregir-problemas-de-conducta-en-el-perro/> [Accessed: 29 Apr. 2018]
- [171] L. L. Davidoff, *Introducción a la psicología*, 3rd. ed. Mexico: Mc Graw Hill, 1989
- [172] F. J. Rosaldo B., "El lenguaje de comunicación de los perros, ¿es muy diferente al de las personas?", *Animales de Cía.*, no. 157, pp. 10-1, Apr. 2015
- [173] Anónimo, *Este es el secreto para calmar la ansiedad de separación de tu perro*, Ecoosfera, 2017 [Online] Available: <https://ecoosfera.com/2017/08/este-secreto-calmar-la-ansiedad-separacion-perro/> [Accessed: 1 May 2018].
- [174] C. Millán, *Audible for dogs: prepare for your dog's first listen*, YouTube, 2017 [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=thKGQjQZ03c> [Accessed: 1 May 2018].
- [175] C. Millán, *Audible for dogs: In the studio with Cesar Millan*, YouTube, 2017 [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=axRmnQSYMNM> [Accessed: 1 May 2018].
- [176] Anónimo, *¡Guau! Ya existen audiolibros exclusivos para perros*, RMX, 2017 [Online] Available: <http://www.rmx.com.mx/animateria/guau-ya-existen-audiolibros-exclusivos-para-perros> [Accessed: 1 May 2018].
- [177] L. Sarmiento, *Cesar Millán crea audiolibros exclusivos para perros*, Mundo Perros, 2017 [Online] Available: <https://www.mundoperros.es/cesar-millan-crea-audiolibro-exclusivos-perros/> [Accessed: 1 May 2018].
- [178] L. Langley, *Why do dogs watch-and react to-tv?*, National geographic, 2015 [Online] Available: <https://news.nationalgeographic.com/news/2015/01/150111-animals-dogs-television-pets-science-tv-behavior/> [Accessed: 1 May 2018]
- [179] Anónimo, *¿Los perros pueden ver la tele?*, Mis animales, 2018 [Online] Available: <https://misanimales.com/perros-pueden-ver-tele/> [Accessed: 1 May 2018]
- [180] E. Olivares Alonso, *En México hay más perros y gatos que niños*, La Jornada, 2011 [Online] Available: <http://www.jornada.unam.mx/2011/01/18/sociedad/041n3soc> [Accessed: 2 May 2018]
- [181] Redacción Animales de Compañía, "¿Un perro adolescente en casa?", *Animales de Cía.*, no. 169, pp. 10-12, Apr. 2016
- [182] A. Paramio Miranda, *Psicología del aprendizaje y adiestramiento del perro*, 2nd. ed. Spain: Díaz de Santos, 2003
- [183] E. Lancaster, *Como dejar al perro solo en casa sin que llore pautas y trucos*, Petdarling, 2015 [Online] Available: <https://www.petdarling.com/articulos/dejar-al-perro-solo-en-casa/> [Accessed: 2 May 2018].
- [184] Anónimo, *La educación canina*, Etoclinic, n. d. [Online] Available: http://etoclinic.com/pdf/LA_%20EDUCACI%C3%93N_%20CANINA.pdf [Accessed: 2 May 2018]

- [185] V. Arancibia C., P. Herrera P., K. Strasser S., "Teorías conductuales del Aprendizaje", *Manual de Psicología Educativa*, 6th ed., Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, pp. 45-76 [Online] Available: <http://galeon.com/nada/parte2.pdf> [Accessed: 4 May 2018]
- [186] Anónimo, *Aprendizaje*, Departamento de psicología de la salud de la Universidad de Alicante, 2007 [Online] Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4298/3/TEMA%203.%20APRENDIZAJE.pdf> [Accessed: 4 May 2018]
- [187] J. L. López S., "La psicología animal: sus métodos y la relevancia de su estudio", *Revista Latinoamericana de Psicología*, vol. IX, no. 2, pp. 177-199, 1977 [Online] Available: <http://www.redalyc.org/pdf/805/80590202.pdf> [Accessed: 4 May 2018]
- [188] A. C. Navarrete Pérez, *El período de impronta en los cánidos domésticos (Canis familiaris). Revisión Bibliográfica*, Universidad Austral de Chile, 2004 [Online] Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fvn321p/doc/fvn321p.pdf> [Accessed: 4 May 2018]
- [189] N. Arbulo, *Comportamiento Animal*, Centro Universitario de la Región Este, 2014 [Online] Available: <https://eva.udelar.edu.uy/pluginfile.php/122952/course/section/15458/Te%C3%B3rico%20Comportamiento%20animal%202014%20Maldonado.pdf> [Accessed: 4 May 2018]
- [190] Anónimo, *Comportamiento aprendido*, Khanacademy, n. d. [Online] Available: <https://es.khanacademy.org/science/biology/behavioral-biology/animal-behavior/a/learned-behaviors> [Accessed: 4 May 2018]
- [191] Anónimo, *Fisiología del comportamiento. Psicología y educación canina*, Campus Superior, n. d. [Online] Available: http://www.campussuperior.com/pdf/pac_demo.pdf [Accessed: 4 May 2018]
- [192] Anónimo, *Desarrollo y aprendizaje en el perro y el gato*, Universidad de Córdoba, n. d. [Online] Available: http://www.uco.es/organiza/departamentos/prod-animal/economia/aula/img/pictorex/06_07_03_TEMA_10.pdf [Accessed: 4 May 2018]
- [193] H. Curtis, et. al., *Invitación a la Biología*, 6th. ed. Argentina: Médica Panamericana, 2006
- [194] C. Martínez, *Cómo acostumar a tu perro al transportín*, Adiestrador de perros, n. d. [Image] Available: <https://www.adiestradordeperros.com/acostumar-perro-trasportin/> [Accessed: 4 May 2018]
- [195] M Domjan, *Principios de aprendizaje y conducta*, Researchgate, 2007 [Online] Available: https://www.researchgate.net/publication/49309447_Principios_de_aprendizaje_y_conducta?enrichId=rgreq-35fcde65fc362b47010d707a7114c02e-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzQ5MzA5NDQ3O0FTOjEwMzUzMTA1OTA4OTQwOUAxNDANjk1MTM3MDY2&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf [Accessed: 7 May 2018]
- [196] G. S. Reynolds, *Compendio de condicionamiento operante*, United States: University of California, 1968
- [197] E. Furio, *Comportamiento animal y tipos de aprendizaje*, Kopher's blog, 2009 [Online] Available: <https://kopher.wordpress.com/2009/05/24/comportamiento-animal-y-tipos-de-aprendizaje/> [Accessed: 8 May 2018]

- [198] Dumb Friends League, *Refuerzos positivos: adiestramiento de perros y gatos con premios y felicitaciones*, Dumb Friends League, 1999 [Online] Available: https://www.ddfl.org/wp-content/uploads/2017/06/Positive-Reinforcement_bw-spanish.pdf [Accessed: 8 May 2018]
- [199] Anónimo, *Adiestramiento canino*, Rambla Instituto, n. d. [Image] Available: <http://ramblainstituto.com/veterinaria/adiestramiento-canino/> [Accessed: 8 May 2018]
- [200] V. Ávila, *Top 10: Premios caseros saludables para perros*, Mujerde10, n. d. [Image] Available: <https://www.mujerde10.com/mi-espacio/mascotas/top-10-premios-caseros-para-tu-perro/2015/04/> [Accessed: 8 May 2018]
- [201] Anónimo, *Starmark triple Crown dog training clicker*, Pawlees, n. d. [Image] Available: <https://pawlees.com/products/starmarktriplecrownclicker> [Accessed: 8 May 2018]
- [202] Elena, *La impronta*, Depsicologia, 2018 [Image] Available: <https://depsicologia.com/la-impronta/> [Accessed: 9 May 2018]
- [203] A. Romairone, “Do as I do”, *la técnica de adiestramiento canino basada en el aprendizaje social*, Diagnóstico Veterinario, 2014 [Online] Available: <http://www.diagnosticoveterinario.com/do-as-i-do-el-aprendizaje-social-del-perro/4173> [Accessed: 9 May 2018]
- [204] J. Gutiérrez, *Sistemas generales de comportamiento*, Enciclopedia web del perro, n.d. [Online] Available: <http://www.adiestradorcanino.com/webdelperro/sistemas-generales-de-comportamiento/66> [Accessed: 9 May 2018]
- [205] Anónimo, *Premios para perros ¿cuántos y cuándo debes dárselos?*, Animales omnívoros, 2017 [Online] Available: <https://www.animalesomnivoros.es/premios-perros-cuantos-cuando-debes-darselos/> [Accessed: 11 May 2018]
- [206] M. Garcia, *¿Cuáles son los mejores premios para perros?*, Experto Animal, n. d. [Online] Available: <https://www.expertoanimal.com/cuales-son-los-mejores-premios-para-perros-23038.html> [Accessed: 11 May 2018]
- [207] K. S. Becker, *Sé un héroe en los ojos de tu mascota sin cometer estos errores comunes*, Healty pets, 2015 [Online] Available: <https://mascotas.mercola.com/sitios/mascotas/archivo/2015/12/14/premios-para-mascotas.aspx> [Accessed: 11 May 2018]
- [208] Anónimo, *Premios para perros: consideraciones y consejos*, Mis animales, n. d. [Online] Available: <https://misanimales.com/premios-perros-consideraciones-consejos/> [Accessed: 11 May 2018]
- [209] Anónimo, *Kości dla psa, psy-pies*, n. d. [Image] Available: <http://psy-pies.com/artykul/kosci-dla-psa,1870.html> [Accessed: 12 May 2018]
- [210] Anónimo, *Nupec relax treats*, Nupec, n. d. [Online] Available: <http://nupec.com/index.php?r=site/relax> [Accessed: 12 May 2018]
- [211] Anónimo, *Smart treats calming*, Petco, n. d. [Online] Available: <https://www.petco.com.mx/petco/en/PRODUCTOS/PERRO/Alimento/Premios/Smart-Treats-Calming-200Gr/p/117885> [Accessed: 12 May 2018]

- [212] K. S. Becker, *Los peores premios para perros que puedes comprar*, Healty pets, 2018 [Online] Available: <https://mascotas.mercola.com/sitios/mascotas/archivo/2018/03/19/pautas-para-alimentacion-de-premios-para-perros.aspx> [Accessed: 13 May 2018]
- [213] M. M. Yllera Fernández, M. Camiña García, J. Catalapiedra Álvarez, *Comportamiento y órganos de los sentidos de los animales*, Monografías do Ibader-Serie pecuaria 2 Ibader Universidade de Santiago de Compostela, 2016 [Online] Available: http://www.ibader.gal/archivos/201603_MonografiaPecuaria_SENT-42.pdf [Accessed: 14 May 2018]
- [214] S. Coren, *Por qué los perros están mirando más televisión*, BBC Mundo, 2013 [Online] Available: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/07/130719_perros_television_finde_lp [Accessed: 14 May 2018]
- [215] M. Gratacós, *Órgano vomeronasal: características, estructura y función*, Lifeder, n.d. [Online] Available: <https://www.lifeder.com/organo-vomeronasal/> [Accessed: 15 May 2018]
- [216] X. Manteca, *Etología clínica veterinaria del perro y del gato*, 3rd. ed., Spain: Grafica In Multimedia, 1996
- [217] Anónimo, *Nuestros productos, Calming Collars*, n.d. [Online] Available: <https://www.calmingcollars.mx/content/4-nuestros-productos> [Accessed: 17 May 2018]
- [218] Anónimo, *Calm Me Down – Calming Collars for Dog Anxiety*, Amazon, n. d. [Image] Available: <https://www.amazon.com/Calm-Me-Down-Calming-Collars/dp/B004J3DM22> [Accessed: 17 May 2018]
- [219] M. Mills, *Calming Collar working*, Youtube, n. d. [Image] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=FrOJQyUYHqo> [Accessed: 17 May 2018]
- [220] Anónimo, *Collar de feromonas antiestres para perros ADAPTIL*, Tiendaanimal, n. d. [Image] Available: <https://www.tiendanimal.es/collar-feromonas-anti-estres-para-perros-adaptil-p-4789.html> [Accessed: 17 May 2018]
- [221] Anónimo, *Camiseta tranquilizante para fiestas, cohetes...*, YellowPet, n. d. [Online] Available: <http://www.theyellowpet.es/tranquilizantes-perros/1597-camiseta.html> [Accessed: 17 May 2018]
- [222] Anónimo, *The calming coat effect*, My calming coat, n. d. [Online] Available: <https://www.mycalmingcoat.com/pages/the-calming-coat-effect> [Accessed: 17 May 2018]
- [223] Anónimo, *Camisa antiestrés y Ansiedad para Perros en azul – calming coat*, La tienda de frida, n. d. [Image] Available: <https://www.latiendadefrida.com/products/camisa-antiestres-y-ansiedad-para-perros-en-azul-calming-coat> [Accessed: 17 May 2018]
- [224] Anónimo, *Petcam*, Netgear, n. d. [Online] Available: <https://www.vuezone.com/index.php?q=use-ideas/petcam> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [225] Anónimo, *Cloud service launched for Wandant dog pedometer*, Fujitsu, 2012 [Online] Available: <http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2012/1127-01.html> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [226] Anónimo, *More than a Pet Treat Cam*, Fujitsu, n.d. [Online] Available: <https://petchatz.com/explore-petchatz/how-it-works/> [Accessed: 20 Apr. 2017]

- [227] Anónimo, *Petchatz Greet & Treat Videophone White/Black*, Fujitsu, n.d. [Image] Available: <https://www.amazon.com/PetChatz-Greet-Treat-Videophone-White/dp/B0176I7UME> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [228] Anónimo, *Say hello to iFetch*, iFetch, n.d. [Online] Available: <https://goifetch.com/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [229] Anónimo, *iFetch*, Blanco & Canela, n.d. [Image] Available: <https://blancoycanela.com/ifetch/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [230] Anónimo, *Furbo Dog Camera*, Furbo, n.d. [Online] Available: <https://shopus.furbo.com/products/furbo-dog-camera> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [231] L. Sacristán, *Con la cámara para perros Furbo podrás jugar con tu mascota a distancia*, Revista Gadget, n.d. [Image] Available: <http://www.revista-gadget.es/reportaje/furbo-camara-perros/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [232] Anónimo, *Petcam*, EYENIMAL, n.d. [Online] Available: <http://www.eyenimal.com/en/cameras/12-petcam.html> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [233] Anónimo, *Interactive Wi-Fi Pet Camera*, Petcube, n.d. [Online] Available: <https://petcube.com/play/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [234] Anónimo, *Petcube Bites*, Petcube, n.d. [Online] Available: <https://petcube.com/en-ca/bites/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [235] Anónimo, *Petcube Care*, Petcube, n.d. [Online] Available: <https://petcube.com/en-ca/care/> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [236] Anónimo, *Petcube Play*, Airflash, n.d. [Image] Available: <http://www.airflash.co/index.php/product/Petcube-Play/Mw==/view> [Accessed: 20 Apr. 2017]
- [237] Anónimo, *EyeOn Pet Monitor HD360*, D-Link, n.d. [Online] Available: <https://eu.dlink.com/uk/en/products/dcs-855lp-eyeon-pet-monitor-hd-360> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [238] Anónimo, *Sonic Birdhouse*, Dogteck, n.d. [Online] Available: http://www.dogtek.com/upload/products/86/files/75-DOGTEK_NB-SBH_Guide.pdf [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [239] Anónimo, *DOGTEK Sonic BirdHouse Bark Control Outdoor/Indoor*, Amazon, n.d. [Image] Available: <https://www.amazon.ca/DOGTEK-BirdHouse-Control-Outdoor-Indoor/dp/B00ESMUWS6> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [240] Anónimo, *Motorola BARK200U*, Motorola, n. d. [Online] Available: <https://www.motorolastore.com/pet/safety/motorola-bark200u.html> [Accessed: 17 May 2018]
- [241] Anónimo, *Fitbark*, Fitbark, n.d. [Online] Available: <https://www.fitbark.com/store/fitbark/> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [242] Anónimo, *Si tienes un iPhone y perro podrás medir su actividad física con FitBark*, Facilísimo, n.d. [Image] Available: http://tecnologia.facilisimo.com/si-tienes-un-iphone-y-perro-podras-medir-su-actividad-fisica-con-fitbark_893317.html [Accessed: 21 Apr. 2017]

- [243] Anónimo, *User's guide Wearable Smart Device with HD Camera and Wi-Fi Internet Viewing Model: SCOUT5000*, Motorola, 2015. [Online] Available: https://system.eu2.netsuite.com/core/media/media.nl?id=1005&c=4583703&h=f04a101b7b1afa09aefa&_xt=.pdf [Accessed: 17 May 2018]
- [244] Motorola, *Motorola SCOUT5000 Wearable HD Pet Camera with GPS Tracking*, Amazon, 2015. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/gp/product/B01A9DKE9Y#customerReviews> [Accessed: 17 May 2018].
- [245] Anónimo, *Kyon*, Kyon, n. d. [Image] Available: <http://www.kyontracker.com/es/> [Accessed: 17 May 2018]
- [246] Anónimo, *Pet Vision Live HD*, EYENIMAL, n. d. [Online] Available: <http://www.eyenimal.com/en/cameras/56-eyenimal-pet-vision-live-hd.html> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [247] Anónimo, *Motorola SCOUT66 WiFi HD Pet Monitoring Camera*, Hubble, n. d. [Online] Available: <https://hubbleconnected.com/motorola-scout66-wifi-hd-pet-monitoring-camera.html> [Accessed: 17 May 2018]
- [248] Anónimo, *Play with your pet. Even when you're not home*, PlayDate, n. d. [Online] Available: <http://www.startplaydate.com/> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [249] K. Li, *PlayDate: World's First Pet Camera in a Smart Ball*, Indiegogo, 2016. [Image] Available: <https://www.indiegogo.com/projects/playdate-world-s-first-pet-camera-in-a-smart-ball-pets> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [250] Anónimo, *Pebby: The most advanced smart ball! Play anytime, anywhere*, Kickstarter, n. d. [Online] Available: <https://www.kickstarter.com/projects/973862487/pebby-the-worlds-most-advanced-robotic-pet-sitter> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [251] Anónimo, *This pet cam can chase down your dog*, Cnet, 2017. [Image] Available: <https://www.cnet.com/videos/this-petcam-can-chase-down-your-dog/> [Accessed: 21 Apr. 2017]
- [252] Anthouse, *Buddy+ Your Dog's Second Best Friend by Anthouse Robotics*, Kickstarter, 2017. [Online] Available: <https://www.kickstarter.com/projects/820876177/buddy-your-dogs-second-best-friend-by-anthouse-rob/description> [Accessed: 17 May 2018].
- [253] Anthouse, *Anthouse Pet Copanion Robor*, Amazon, 2018. [Image]. <https://www.amazon.com/Anthouse-Pet-Companion-Robot-Yellow/dp/B0759V4H16> [Accessed: 17 May 2018].
- [254] Kolony Robotic Inc., *MIA- A friendly robot for cats and dogs by Kolony Robotic*, Kickstarter, 2018. [Online] Available: <https://www.kickstarter.com/projects/51244428/mia-a-friendly-robot-for-cats-and-dogs-by-kolony-r/description> [Accessed: 17 May 2018].
- [255] Ben Coxwoeth, *Pet-entertaining robot isn't stingy with the treats*, New Atlas, 2018. [Image]. <https://newatlas.com/mia-dog-cat-robot/54468/> [Accessed: 17 May 2018].

- [256] Kolony Robotic Inc., *MIA- A friendly robot for cats and dogs by Kolony Robotic*, Kickstarter, 2018. [Image] Available: <https://www.kickstarter.com/projects/51244428/mia-a-friendly-robot-for-cats-and-dogs-by-kolony-r/description> [Accessed: 17 May 2018]
- [257] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5th ed., Mexico: Mc Graw-Hill, 2013.
- [258] Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, art. 123 apartado A fr. I, DOF
- [259] Anónimo, *Capítulo 2: Visión Humana*, Biblioteca de la Universidad de Sonora, n.d. [Online] Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8558/capitulo2.pdf> [Accessed: 24 May 2018]
- [260] Anónimo, *Plásticos y juguetes de plástico*, Eco-Healthy Child Care, n.d. [Online] Available: http://cehn.org/wp-content/uploads/2017/07/Plastics_Plastic_Toys_6_16_SP.pdf [Accessed: 24 May 2018]
- [261] Anónimo, *Smart Plastics Guide Healthier Food Uses of Plastics*, Institute for agriculture and trade Policy, n.d. [Online] Available: https://myplasticfreelife.com/wp-content/uploads/2009/04/plastics_guide.pdf [Accessed: 24 May 2018]
- [262] Anónimo, *Types of Plastics*, Plastics Industry, n.d. [Online] Available: <http://www.plasticsindustry.com/types-plastics-p.asp> [Accessed: 24 May 2018]
- [263] Anónimo, *Raspberry Pi 3 Model B*, Raspberry Pi, n. d., [Online] Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> [Accessed: 28 May 2018]
- [264] Anónimo, *What's Orange Pi Plus2?*, Orange pi, n. d., [Online] Available: <http://www.orangepi.org/orangepiplus2/> [Accessed: 24 May 2018]
- [265] Anónimo, *Arduino Meg 2560 Rev3*, Arduino, n. d., [Online] Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3> [Accessed: 24 May 2018]
- [266] Anónimo, *What is Banana Pi W2?*, Banana pi, n. d., [Online] Available: <http://www.banana-pi.org/w2.html> [Accessed: 24 May 2018]
- [267] Anónimo, *MSP-EXP430G2*, Mouser Electronics, n. d., [Online] Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Texas-Instruments/MSP-EXP430G2?qs=CLImetaeaXWH2pYG%252bA%252b4Vw==> [Accessed: 24 May 2018]
- [268] Anónimo, *3.1 Características Básicas del PIC16f887*, MikroElektronika, n. d., [Online] Available: <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/caracteristicas-basicas-del-pic16f887> [Accessed: 24 May 2018]
- [269] Anónimo, *Tecnologías de la información y comunicaciones*, Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía, n.d. [Online] Available: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/ticshogares/> [Accessed: 27 May 2018]
- [270] O. Islas, *El mapa de internet en México*, El universal, 2018 [Online] Available: <http://www.eluniversal.com.mx/columna/octavio-islas/techbit/el-mapa-de-internet-en-mexico> [Accessed: 27 May 2018]
- [271] M. Symons, *Best power Banks for iPhone 6s*, iMore, 2016 [Image] Available: <https://www.imore.com/best-power-banks-iphone-6s> [Accessed: 28 May 2018]

- [272] Anónimo, *C922 pro stream webcam*, Logitech, n. d., [Image] Available: <https://www.logitech.com/es-es/product/c922-pro-stream-webcam> [Accessed: 28 May 2018]
- [273] R. M. Torres, *Sensores ultrasónicos*, Inventoteca, n. d., [Image] Available: <http://web.inventoteca.com/blog/nuestro-blog-1/post/sensores-ultrasonicos-11> [Accessed: 28 May 2018]
- [274] Anónimo, *Estimote Proximity Beacon*, CatchSM, n. d., [Image] Available: <http://catchsm.com/product/estimote-proximity-beacon/> [Accessed: 28 May 2018]
- [275] E. Lojan, *Seguimiento y detección de objetos por color y forma con OpenCV*, YouTube, 2012, [Image] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=HBwLlf-6UDQ> [Accessed: 28 May 2018]
- [276] Anónimo, *MPU6050 GY-521 Acelerómetro Giróscopo*, Prometec, n. d., [Image] Available: <https://www.prometec.net/producto/mpu-gy-521-acelerometro-giroscopo/#modal> [Accessed: 28 May 2018]
- [277] Anónimo, *MAX30100 sensor de latido de corazón y oxímetro de pulso con comunicaciones 12C para wearables de salud*, Prometec, 2016, [Image] Available: <https://polaridad.es/max30100-sensor-latido-corazon-oximetro-pulso-i2c-wearable-salud/> [Accessed: 28 May 2018]
- [278] Anónimo, *Sensor de Temperatura DS18B20 (-55°C a 125°C)*, Industrial Shields, n. d., [Image] Available: <https://www.industrialshields.com/es/product/temperature-sensor-ds18b20-55-125degrees/> [Accessed: 28 May 2018]
- [279] Anónimo, *Microfono rode smartlav +*, Radio colon, n. d., [Image] Available: <https://www.radiocolon.com/MICROFONO-RODE-SMARTLAV-%2B-aSMARTLAV.html> [Accessed: 28 May 2018]
- [280] Anónimo, *Bocina ½ W 8 OHM 36 MM*, Atom Electrónica, n. d., [Image] Available: http://www.atomelectronica.com/BOCINA-1-2-W-8-OHM-36-MM,1383_346854297 [Accessed: 28 May 2018]
- [281] Anónimo, *PIXNOR Pastilla distribuidor píldora caja medicamentos electrónicos recordatorio*, Amazon, n. d., [Image] Available: https://www.amazon.es/Pastilla-distribuidor-medicamentos-electr%C3%B3nicos-recordatorio/dp/B01GHS2GA0/ref=sr_1_4?ie=UTF8&qid=1527562312&sr=8-4&keywords=pastilleros+electronicos [Accesses: 28 May 2018]
- [282] Anónimo, *Beneficios y riesgos del uso de wifi en las empresas*, Océano It, n. d., [Image] Available: <https://www.oceano-it.es/news-individual/401/Beneficios-y-riesgos-del-uso-de-wifi-en-las-empresas> [Accessed: 28 May 2018]
- [283] Anónimo, *Raspberry Pi 3 (WiFi, BLE and 64Bit)*, Potential Labs, n. d., [Image] Available: <https://potentiallabs.com/cart/raspberry-pi-3-wifi-ble-india-online> [Accessed: 28 May 2018]
- [284] Anónimo, *Logo competition – we have a winner!*, Raspberry Pi, 2011, [Image] Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/logo-competition-we-have-a-winner/> [Accessed: 28 May 2018]
- [285] Anónimo, *Tarjeta microSD – Sandisk, 64GB, Clase 10, 80 Mbs*, Media Markt, n. d., [Image] Available: <https://tiendas.mediamarkt.es/p/tarjeta-microsd-sandisk-64gb-clase-10-1289082> [Accessed: 28 May 2018]

- [286] Iluminet, *Diodos emisores de luz de alta potencia de 1W*, Iluminet, 2008, [Image] Available: <http://www.iluminet.com/diodos-emisores-de-luz-de-alta-potencia-de-1w/> [Accessed: 28 May 2018]
- [287] Anónimo, *Motorreductor 3V a 6V Robótica- Arduino – Raspberrypi - pic*, Mercado Libre, n. d., [Image] Available: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-685035760-motorreductor-3v-a-6v-robotica-arduino-raspberrypi-pic-_JM [Accessed: 28 May 2018]
- [288] Anónimo, *Preliminary Raspberry Pi 3 support*, Xbian, n. d., [Image] Available: <http://www.xbian.org/preliminary-raspberry-pi-3-support/> [Accessed: 29 May 2018]
- [289] Anónimo, *Raspberry Pi 3 modelo B*, Electrónicos Caldas, n. d. [Online] Available: <http://www.electronicoscaldas.com/boards-raspberry-pi/500-raspberry-pi-3-modelo-b.html> [Accessed: 29 May 2018]
- [290] Anónimo, *Raspberry Pi GPIO Tutorial: The basics explained*, Pimylifeup, 2018, [Online] Available: <https://pimylifeup.com/raspberry-pi-gpio/> [Accessed: 29 May 2018]
- [291] Anónimo, *Cámara web acteck atw-1200*, CAFYM, n. d., [Image] Available: <http://cafym.com/tienda/tecnologia/camara-web-acteck-atw-1200/> [Accessed: 29 May 2018]
- [292] Anónimo, *Bocina de 2" (5 cm) 1,5 Watts PMPO*, Steren, n. d., [Online] Available: <http://www.steren.com.mx/bocina-de-2-pulgadas-5-cm-8-ohms-1-5-watts-pmpo.html> [Accessed: 29 May 2018]
- [293] Anónimo, *Tarjeta sonido externa 7.1 audio+micrófono USB 2.0*, E nuc, n. d., [Image] Available: <https://www.e-nuc.com/tarjeta-sonido-externa-71-audiomicrofono-usb-20-p-10270.html> [Accessed: 29 May 2018]
- [294] Mundo Electrónica, *Mini Amplificador de Audio Casero | LM 386*, YouTube, 2015, [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=o5JijcXIBAA> [Accessed: 29 May 2018]
- [295] Texas Instruments, *LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier*, Texas Instruments, 2017, [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf> [Accessed: 29 May 2018]
- [296] Anónimo, *Tutorial circuito integrado LM386*, Kit electrónica, 2017, [Online] Available: <https://www.kitelectronica.com/2017/01/tutorial-circuito-integrado-lm386.html> [Accessed: 29 May 2018]
- [297] Enrique, *Construye tu Propio Amplificador de Audio*, EducaChip, 2014, [Online] Available: <http://www.educachip.com/construye-tu-propio-amplificador-de-audio/> [Accessed: 29 May 2018]
- [298] Estimote, *Developer Docs*, Estimote, n. d. [Online] Available: <https://developer.estimote.com/how-beacons-work/#chapter-1-estimote-beacons-are> [Accessed: 30 May 2018]
- [299] S. Toulson, *iBeacon Parameters: UUID, Major and Minor*, kontakt.io, 2017, [Online] Available: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201620741-iBeacon-Parameters-UUID-Major-and-Minor> [Accessed: 30 May 2018]
- [300] M. C. Moldovan, *Beacons, usos y posibilidades*, Beeva Labs, 2014, [Online] Available: <https://labs.beeva.com/beacons-usos-y-posibilidades-2bdee4d67f65> [Accessed: 30 May 2018]

- [301] Estimote, *Developer Docs*, Estimote, n. d. [Online] Available: <https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/201636913-What-are-Broadcasting-Power-RSSI-and-other-characteristics-of-a-beacon-s-signal> [Accessed: 30 May 2018]
- [302] Anónimo, *Beacon: un faro en el marketing de proximidad*, Mr. Turismo, n. d., [Online] Available: <http://www.mrturismo.com/beacon-un-faro-marketing-de-proximidad/> [Accessed: 31 May 2018]
- [303] I. Harvey, *bluepy*, GitHub, n. d., [Online] Available: <https://github.com/IanHarvey/bluepy> [Accessed: 31 May 2018]
- [304] eclimcz, *RSSI to Distance Conversion*, GitHubGist, 2014, [Online] Available: <https://gist.github.com/eclimcz/446b56c0cb9cfe61d575> [Accessed: 31 May 2018]
- [305] waxds0056, *Use rssi measure the distance*, Estimote, 2016, [Online] Available: <https://forums.estimote.com/t/use-rssi-measure-the-distance/3665> [Accessed: 31 May 2018]
- [306] C. Pérez González, *Detección y seguimiento de objetos por colores en una plataforma Raspberry Pi*, Universidad Politécnica de Madrid, 2016 [Online] Available: http://oa.upm.es/43161/1/TFG_CARLOS_PEREZ_GONZALEZ.pdf [Accessed: 31 May 2018]
- [307] L. Enrique Sucar, G. Gómez, *Visión Computacional*, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Puebla, n.d. [Online] Available: <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf> [Accessed: 1 June 2018]
- [308] Anónimo, *Introducción a la visión por computador: desarrollo de aplicaciones con OpenCV*, edX, n. d., [Online] Available: <https://www.edx.org/course/introduccion-la-vision-por-computador-uc3mx-isa-1x-0> [Accessed: 1 June 2018]
- [309] M. Zimmermann Casado, *Sistema de recolección de objetos mediante visión artificial y planificación automática*, Universidad Carlos III de Madrid, n.d. [Online] Available: <http://plg.inf.uc3m.es/~mmartin/TFGM/TFG-MZC.pdf> [Accessed: 1 June 2018]
- [310] E. E. Arévalo Vázquez, A. Zúñiga López, J. Villegas Cortez, C. Avilés Cruz, *Implementación de reconocimiento de objetos por color y forma en un robot móvil*, UAM-Azcapotzalco, 2015, [Online] Available: http://www.rcs.cic.ipn.mx/2015_91/Implementacion%20de%20reconocimiento%20de%20objetos%20por%20color%20y%20forma%20en%20un%20robot%20movil.pdf [Accessed: 1 June 2018]
- [311] A. Escalera Hueso, *Visión por computador*, Universidad Carlos III de Madrid, 2017, [Online] Available: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-de-sistemas-y-automatica/sistemas-percepcion/material-de-clase-1/libro/capitulo-1.pdf> [Accessed: 1 June 2018]
- [312] M. J. Jiménez Rodríguez, *Procesamiento de imágenes digitales*, Universidad de Sevilla, 2017, [Online] Available: <http://asignatura.us.es/imagendigital/Presentacion.pdf> [Accessed: 1 June 2018]
- [313] Anónimo, *Camera Module*, Raspberry Pi, n. d., [Online] Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/> [Accessed: 1 June 2018]
- [314] Anónimo, *Camara para Raspberry Pi 5MP*, Electronilab, n.d. [Image] Available: <https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/> [Accessed: 1 June 2018]

- [315] Anónimo, *About*, OpenCV, n. d., [Online] Available: <https://opencv.org/about.html> [Accessed: 4 June 2018]
- [316] A. Rahman K., *Welcome to OpenCV-Python !!!*, Blogspot, 2012, [Image] Available: <http://opencvpython.blogspot.com/2011/04/welcome-to-opencv-python.html> [Accessed: 4 June 2018]
- [317] Anónimo, *“SAFETY FIRST” Light-up, Flashing, Safety Pet Collar*, The Passion for Pets, n. d., [Image] Available: <https://thepassionforpets.com/products/safety-first-light-up-flashing-safety-collar> [Accessed: 4 June 2018]
- [318] Anónimo, *VideoCapture Class Reference*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/d8/dfc/classcv_1_1VideoCapture.html [Accessed: 4 June 2018]
- [319] P. A. García Preciado, S. N. González Forero, *Reconocimiento de color y posición con un sensor Kinect para aplicación de robótica móvil*, Pontificia Universidad Javeriana, 2016, [Online] Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21442/GarciaPreciadoPaolaAndrea2016.pdf?sequence=1> [Accessed: 4 June 2018]
- [320] G. García Mateos, *Procesamiento Audiovisual*, Universidad de Murcia, n.d. [Online] Available: <http://dis.um.es/~ginesgm/files/doc/pav/tema5.pdf> [Accessed: 4 June 2018]
- [321] M. Garrido Satué, *Reconocimiento de señales de tráfico para un sistema de ayuda a la conducción*, Universidad de Sevilla, 2013, [Online] Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70448/fichero/10_Apendice.pdf [Accessed: 4 June 2018]
- [322] Anónimo, *Explicación de los modelos de color*, Corel Corporation, 2012, [Online] Available: http://product.corel.com/help/CorelDRAW/540240626/Main/ES/Doc/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=CorelDRAW_Help&file=CorelDRAW-Understanding-color-models.html [Accessed: 5 June 2018]
- [323] R. Olachea Cota, *Reconocimiento y cuantificación de células de peces en imágenes de cortes histológicos*, Instituto Tecnológico de la Paz, 2015, [Online] Available: <http://posgrado.itlp.edu.mx/uploads/archivos/54cc2629740c2.pdf> [Accessed: 5 June 2018]
- [324] Anónimo, *Círculo cromático*, Wikiwand, n. d., [Image] Available: http://www.wikiwand.com/es/C%C3%ADrculo_crom%C3%A1tico [Accessed: 5 June 2018]
- [325] Anónimo, *Modelos de color*, Adobe, n. d., [Online] Available: <https://helpx.adobe.com/es/photoshop/using/color-modes.html> [Accessed: 5 June 2018]
- [326] Anónimo, *Modelo de color RGB*, Hisour, n.d. [Online] Available: <https://hisour.com/es/rgb-color-model-24867/> [Accessed: 5 June 2018]
- [327] Anónimo, *Te decimos qué son los píxeles*, Hola Telcel, 2015 [Image] Available: <http://holatelcel.com/holatelcel/te-decimos-que-son-los-pixeles/> [Accessed: 5 June 2018]
- [328] R. Kothari, *What are the differences between RGB, HSV and CIE-Lab?*, Quora, 2018, [Online] Available: <https://www.quora.com/What-are-the-differences-between-RGB-HSV-and-CIE-Lab#> [Accessed: 5 June 2018]

- [329] A. I. Barranco Gutiérrez, Y. Amador Salgado, *Segmentación de imágenes usando HSV y Gaussiana de segundo orden*, ResearchGate, 2015, [Online] Available: https://www.researchgate.net/publication/285403866_Segmentacion_de_imagenes_usando_HSV_y_Gaussiana_de_segundo_orden [Accessed: 5 June 2018]
- [330] V. Gupta, *Color spaces in OpenCV (C++ / Python)*, Learn OpenCV, 2017, [Online] Available: <https://www.learnopencv.com/color-spaces-in-opencv-cpp-python/> [Accessed: 6 June 2018]
- [331] Anónimo, *HSV*, Wikipedia, 2017 [Image] Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/HSV%E8%89%B2%E7%3.50%BA%E9%96%93> [Accessed: 6 June 2018]
- [332] Dima, Penelope, *Why do we use the HSV space so often in vision and image processing?*, StackExchange, 2012, [Online] Available: https://dsp.stackexchange.com/questions/2687/why-do-we-use-the-hsv-colour-space-so-often-in-vision-and-image-processing?utm_medium=organic&utm_source=google_rich_qa&utm_campaign=google_rich_qa [Accessed: 6 June 2018]
- [333] Glare, *Detección de colores con OpenCV y Python*, Robologs, 2016, [Online] Available: <https://robologs.net/2014/07/02/deteccion-de-colores-con-opencv-y-python/> [Accessed: 6 June 2018]
- [334] Anónimo, *Miscellaneous Image Transformations*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html [Accessed: 6 June 2018]
- [335] Anónimo, *Miscellaneous Image Transformations*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.4.0/d7/d1b/group__imgproc__misc.html#gga4e0972be5de079fed4e3a10e24ef5ef0aa4a7f0ecf2e94150699e48c79139ee12 [Accessed: 6 June 2018]
- [336] A. Rosebrock, *OpenCV and Python Color Detection*, Pyimagesearch, 2014, [Online] Available: <https://www.pyimagesearch.com/2014/08/04/opencv-python-color-detection/> [Accessed: 7 June 2018]
- [337] Sentdex, *Color Filtering OpenCV Python Tutorial*, Python Programming, 2015, [Online] Available: <https://pythonprogramming.net/color-filter-python-opencv-tutorial/> [Accessed: 7 June 2018]
- [338] Anónimo, *Changing Colorspaces*, OpenCV, n.d. [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.2.0/df/d9d/tutorial_py_colorspaces.html [Accessed: 7 June 2018]
- [339] Anónimo, *Structural Analysis and Shape Descriptors*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=t=moments#moments [Accessed: 8 June 2018]
- [340] S. Xinmeng Liao, *Image Analysis by Moments*, University of Manitoba, 1993, [Online] Available: <http://ion.uwinnipeg.ca/~sliao/pdf/thesis.pdf> [Accessed: 8 June 2018]
- [341] S. Utkarsh, *Image Moments*, AI Shack, 2017, [Online] Available: <http://www.aishack.in/tutorials/image-moments/> [Accessed: 8 June 2018]
- [342] Anónimo, *Moments Class Reference*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/d8/d23/classcv_1_1Moments.html [Accessed: 8 June 2018]

- [343] Anónimo, *Contour features*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html [Accessed: 8 June 2018]
- [344] J. Kilian, *Simple Image Analysis By Moments Version 0.2*, Toby Breckon, 2001, [Online] Available: <http://breckon.eu/toby/teaching/dip/opencv/SimpleImageAnalysisbyMoments.pdf> [Accessed: 8 June 2018]
- [345] D. Shiffman, *Two-dimensional Arrays*, Processing, n. d. [Online] Available: <https://processing.org/tutorials/2darray/> [Accessed: 8 June 2018]
- [346] Anónimo, *Structural Analysis and Shape Descriptors*, OpenCV, n. d., [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/d3/dc0/group__imgproc__shape.html#ga556a180f43cab22649c23ada36a8a139 [Accessed: 8 June 2018]
- [347] A. A. Dueñas Rodríguez, C. E. Vadillo Vidal, *Conteo de varillas de acero por procesamiento de imágenes*, UPC, 2013, [Online] Available: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/302837/duenas_ra-pub-delfos.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed: 8 June 2018]
- [348] F. P. Beer, E. R. Johnston Jr., D. F. Mazurek, E. R. Eisenberg [trad. J. E. Murrieta Murrieta], *Mecánica vectorial para ingenieros*, 9th ed., Mexico: McGraw-Hill, 2010
- [349] Anónimo, *Centroide*, Mathematics Dictionary, n.d., [Online] Available: <http://www.mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/c/centroid.htm> [Accessed: 8 June 2018]
- [350] M. A. Rodríguez Vega, *Centroides*, FI-UNAM, n. d., [Online] Available: http://www.ingenieria.unam.mx/marv/ee_1213/05%20Centroides.pdf [Accessed: 8 June 2018]
- [351] Anónimo, *Centroides de áreas compuestas*, UCursos, 2008, [Online] Available: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/ME46A/2/material_docente/bajar%3Fid_material%3D195338 [Accessed: 8 June 2018]
- [352] L. G. Corona Ramírez, G. S. Abarca Jiménez, J. Mares Carreño, *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino*, 1st ed., Mexico: Patria, 2014.
- [353] 330ohms, *¿Qué es un servomotor?*, 330ohms, 2016 [Online] Available: <https://blog.330ohms.com/2016/03/14/que-son-los-servomotores/> [Accessed: 11 June 2018]
- [354] A. García González, *¿Qué es y cómo funciona un servomotor?*, Panama Hitek, 2016, [Online] Available: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/> [Accessed: 11 June 2018]
- [355] V. R. González, *Servomotores*, Centro de Formación del Profesorado e Innovación Educativa de Valladolid, 2002, [Online] Available: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm [Accessed: 11 June 2018]
- [356] Anónimo, *Servomotores: control, precisión y velocidad*, Editores, 2017, [Online] Available: http://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie318_automacion_servomotores.pdf [Accessed: 11 June 2018]

- [357] F. A. Candelas Herias, J. A. Corrales Ramón, *Servomotores*, Universidad de Alicante, 2005, [Online] Available: <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf> [Accessed: 11 June 2018]
- [358] P. Pompa, *Trabajar con servos*, SuperRobotica, n. d., [Online] Available: <http://www.superrobotica.com/servosrc.htm> [Accessed: 11 June 2018]
- [359] Anónimo, *Actuadores*, Universidad Panamericana de Aguascalientes, n. d., [Online] Available: http://www.robotica-up.org/mecatronica/lab/Presentacion_Mecatronica_UP_9.pdf [Accessed: 11 June 2018]
- [360] Anónimo, *TowerPro MG995 Metal Gear Servo w/ Arm Set B (15kg-cm / 208.6oz-in / 360°)*, Fuyuan R/C Model, n. d., [Image] Available: <http://www.fuyuanrc.com/en/detail.asp?id=20484> [Accessed: 11 June 2018]
- [361] Anónimo, *Servomotors*, Python Exemplary – RPi Tutorial, n. d., [Online] Available: http://www.python-exemplary.com/index_en.php?inhalt_links=navigation_en.inc.php&inhalt_mitte=raspi/en/servomotors.inc.php [Accessed: 11 June 2018]
- [362] E. Martín Cuenca, L. J. Asensio Morcillo, *Servomotores y su control*, PC Práctico, n. d., [Online] Available: http://www.profesaulosuna.com/data/files/ROBOTICA/SERVOMOTORES/Robot_Bioins_I.pdf [Accessed: 12 June 2018]
- [363] P. F. Pérez, *Caracterización de un Pulso*, Universidad Tecnológica Nacional, 2014, [Online] Available: <http://www1.frm.utn.edu.ar/medidase2/varios/pulso.pdf> [Accessed: 12 June 2018]
- [364] G. Thomas, *Control servos with a Raspberry Pi*, Gadget, 2014, [Online] Available: <https://www.gadgetdaily.xyz/control-servos-with-a-raspberry-pi/> [Accessed: 12 June 2018]
- [365] M. Grassi, *Mecatrónica – Apuntes 2007*, Miguel Grassi, 2007, [Online] Available: <http://www.miguelgrassi.com.ar/mecatronica/servomotores.pdf> [Accessed: 12 June 2018]
- [366] Anónimo, *Servomotores analógicos y digitales*, BeetleCraft, n.d. [Online] Available: <http://beetlecraft.blogspot.com/2015/11/tutorial-servomotores-analogicos-y.html> [Accessed: 12 June 2018]
- [367] J. López Morales, J. A. Morales Ceballos, *Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante plc con interfaz scada*, Universidad de Córdoba, 2014, [Online] Available: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13477/TFM%20Jos%C3%350%20Antonio%20Morales%20Ceballos%20y%20Javier%20L%C3%B3pez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed: 12 June 2018]
- [368] Anónimo, *DC servo principles*, YouTube, 2012, [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=tsrAP8EgcbQ> [Accessed: 12 June 2018]
- [369] A. Martínez Nuñez, M. Hidago Díaz, *Aplicación de los servos en robótica*, Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado, 2009, [Online] Available: http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/documentos/C01_PresentacionServo.pdf [Accessed: 12 June 2018]

[370] Anónimo, *MG995*, TowerPro, n. d., [Online] Available: <http://www.towerpro.com.tw/product/mg995/> [Accessed: 12 June 2018]

[371] Anónimo, *Servomotor Tower Pro MG995*, Talos Electronics, n. d., [Online] Available: <https://www.taloselectronics.com/products/servomotor-tower-pro-mg995> [Accessed: 12 June 2018]

[372] Anónimo, *TowerPro MG995 Servo*, ServoDatabase, n. d., [Online] Available: <https://servodatabase.com/servo/towerpro/mg995> [Accessed: 12 June 2018]

[373] Anónimo, *RC Servo Metal Gears 8.8Kg/cm TowerPro MG995*, Wiltronics, n. d., [Image] Available: <https://www.wiltronics.com.au/product/10364/rc-servo-metal-gears-8-8kg-cm-towerpro-mg995/> [Accessed: 12 June 2018]

[374] A. Mishra, *What are the limitations of the raspberry Pi GPIO?*, Quora, 2017 [Online] Available: <https://www.quora.com/What-are-the-limitations-of-the-Raspberry-Pi-GPIO> [Accessed: 12 June 2018]

[375] Anónimo, *Can I control more than 18 servo motor with a Raspberry Pi?*, Robotics beta, 2015. [Online] Available: <https://robotics.stackexchange.com/questions/7475/can-i-control-more-than-18-servo-motor-with-a-raspberry-pi> [Accessed: 12 June 2018]

[376] S. Monk, *Raspberry Pi Cookbook*, 2nd ed., EUA: O'Reilly, 2016 [Online] Available: https://books.google.com.mx/books?id=QMovDAAAQBAJ&pg=PA245&lpg=PA245&dq=why+cant+a+raspberrry+generate+a+stable+pwm&source=bl&ots=r7JDyftapO&sig=zMvabEQpsmpA4L_DPad3tg301P4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwis6c6FiObbAhVHS6wKHQWxAkMQ6AEITzAD#v=onepage&q=pwm&f=false [Accessed: 12 June 2018]

[377] K. Townsend, *Adafruit 16 Channel Servo Driver with Raspberry Pi*, Adafruit, 2015, [Online] Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-servo-driver-with-raspberry-pi/hooking-it-up> [Accessed: 13 June 2018]

[378] F. J. Estévez Afonso, *Construcción de un micro-brazo articulado: Parte electrónica*, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2016, [Online] Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98980/Memoria__TFG_Javier_Estevez.pdf [Accessed: 13 June 2018]

[379] Anónimo, *16-channel, 12-bit PWM Controller*, AB Electronics UK, n. d., [Online] Available: <https://www.abelectronics.co.uk/docs/pdf/datasheet-servopi.pdf> [Accessed: 13 June 2018]

[380] lady ada, *Adafruit 16-Channel PWM/Servo HAT for Raspberry Pi*, Marutsu, 2016, [Online] Available: <https://www.marutsu.co.jp/contents/shop/marutsu/ds/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi.pdf> [Accessed: 13 June 2018]

[381] Anónimo, *PCA9685*, Adafruit, n. d., [Online] Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf> [Accessed: 13 June 2018]

[382] Anónimo, *Tutorial Módulo Controlador de servos PCA9685 con Arduino*, Naylamp Mehcatronics, 2016, [Online] Available: https://naylampmechatronics.com/blog/41_Tutorial-M%C3%B3dulo-Controlador-de-servos-PCA9685.html [Accessed: 13 June 2018]

- [383] Anónimo, *Adafruit 16-Channel 12-bit PWM/Servo Driver - I2C interface - PCA9685*, Adafruit, 2015, [Online] Available: <https://www.adafruit.com/product/815> [Accessed: 13 June 2018]
- [384] L. Llamas, *Controlar 16 servos o 16 salidas PWM en Arduino con PCA9685*, Luis Llamas, 2016 [Online] Available: <https://www.luisllamas.es/controlar-16-servos-o-16-salidas-pwm-en-arduino-con-pca9685/> [Accessed: 13 June 2018]
- [385] A. Moreno Fernández Caparrós, *Tema 5 El bus I2C*, Universidad de Córdoba, 2004, [Online] Available: <http://www.uco.es/~el1mofer/Docs/IntPerif/Bus%20I2C.pdf> [Accessed: 13 June 2018]
- [386] V. García, *Introducción al I²C-Bus.*, Electrónica práctica aplicada, 2012, [Online] Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/introduccion-al-i2c-bus> [Accessed: 13 June 2018]
- [387] Anónimo, *I2C, Aprendiendo Arduino*, 2017, [Online] Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/07/09/i2c/> [Accessed: 13 June 2018]
- [388] J. J. Ruz Ortiz, *Tema 10: Buses de Comunicación*, Universidad Complutense de Madrid, 2011, [Online] Available: <http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruz/WEB2/Temas/EC10.pdf> [Accessed: 13 June 2018]
- [389] K. Townsend, *Using the Adafruit Library*, Adafruit, 2018, [Online] Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-servo-driver-with-raspberry-pi/using-the-adafruit-library> [Accessed: 13 June 2018]
- [390] S. Monk, *Configuring I2C*, Adafruit, 2017, [Online] Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-raspberry-pi-lesson-4-gpio-setup/configuring-i2c> [Accessed: 13 June 2018]
- [391] X. Alvarez Brotons, *Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden)*, Universitat politècnica de Catalunya, España, 2004.
- [392] S. Centinkunt, *Mechatronics with Experiments*, 2nd ed., USA: Wiley, 2015.
- [393] F. Ávila Herrera, J. I. Carbajal Bernal, J. Mares Olivares, *Control de velocidad y dirección de un robot de carreras autónomo*, Instituto Politécnico Nacional, México, 2011.
- [394] V. Mazzone, *Controladores PID*, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina, 2002.
- [395] D. Ortiz Martínez, *Robótica para seguimiento de líneas*, Universitat politècnica de Catalunya, España, 2016.
- [396] J. Zhong, *PID Controller Tuning: a short tutorial*, Purdue University, 2006 [Online] Available: <http://saba.kntu.ac.ir/eecd/pcl/download/PIDtutorial.pdf> [Accessed: 15 June 2018]
- [397] A. Gracia Moisés, S. Tainta Ausejo, *Diseño y construcción de un robot auto-balanceado mediante arduino*, Universidad Pública de Navarra, España, 2017.

- [398] Anónimo, *Introduction: PID Controller Design*, University of Michigan, 2012 [Online] Available: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlPID> [Accessed: 15 June 2018]
- [399] M. Carrillo Romero, J. A. Cardona Soto, G. A. Arvizo Gutiérrez, F. Rodríguez Rico, *Sistema de control y arquitectura de un robot seguidor de línea*, Universidad Tecnológica de Chihuahua, México, 2016.
- [400] F. Morilla García, *El controlador PID*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España, 2007.
- [401] A. Pérez Tirado, *Sistema lúdico para ejercicios de terapia de la zona carpiana y falanges*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2014.
- [402] Anónimo, *Soporte para servos y camara panorámica robótica*, arduino, etc., Mercado Libre, n. d. [Image] Available: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-549559962-soporte-para-servos-y-camara-panoramica-roboticaarduinoetc-_JM [Accessed: 18 June 2018]
- [403] Anónimo, *Raspberry camara para raspberry pi raspicam*, PC expansion, n. d. [Image] Available: <https://www.pcxpansion.es/raspberry-camara-para-raspberry-pi-raspicam.php> [Accessed: 18 June 2018]
- [404] Anónimo, *Raspberry Pi 3*, Digi-Key, n. d. [Image] Available: <https://www.digikey.com/product-detail/es/raspberry-pi/RASPBERRY-PI-3/1690-1000-ND/6152799> [Accessed: 18 June 2018]
- [405] Anónimo, *HC-SR04 Module de capteur de mesure de distance a ultrasons pour Arduino*, Amazon, n.d. [Image] Available: <https://www.amazon.fr/HC-SR04-capteur-distance-ultrasons-Arduino/dp/B00KKKT7YK> [Accessed: 4 July 2018]
- [406] Anónimo, *Ultrasonic Ranging Module HC – SR04*, ElecFreaks, n. d., [Online] Available: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> [Accessed: 4 July 2018]
- [407] Anónimo, *¿Qué es un sensor ultrasónico?*, Fundamentos del sensor, n. d., [Online] Available: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/> [Accessed: 4 July 2018]
- [408] V. Kartha, *Interfacing HC-SR04 Ultrasonic Sensor with Raspberry Pi*, electroSome, 2018, [Online] Available: <https://electrosome.com/hc-sr04-ultrasonic-sensor-raspberry-pi/> [Accessed: 4 July 2018]
- [409] J. V. Calderón, *Cómo usar los pines GPIO de la Raspberry PI*, FRant & Back, 2014, [Online] Available: http://www.frontandback.org/laboratory/como_usar_gpio_raspberry_pi [Accessed: 6 July 2018]
- [410] Anónimo, *Pastillero semanal dispensador automático*, SoloStocks, n. d., [Image] Available: <https://www.solostocks.com/venta-productos/productos-parafarmacia/otros-productos-parafarmacia/pastillero-semanal-dispensador-automatico-6570214> [Accessed: 6 July 2018]
- [411] Anónimo, *Servo: MG995 Metal Gear Servo – Positional*, Your Duino, n. d., [Image] Available: http://www.yourduino.com/sunshop/index.php?l=product_detail&p=240 [Accessed: 6 July 2018]
- [412] Anónimo, *Módulo TCRT5000 (óptico reflexivo)*, Madrigal Electronics, n. d., [Image] Available: <http://madrigal-electronics.com/producto/modulo-tcrt5000-optico-reflexivo/> [Accessed: 6 July 2018]
- [413] Anónimo, *Reflective Optical Sensor with Tansistor Output*, Vishay, n. d., [Online] Available: <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf> [Accessed: 6 July 2018]

- [414] Anónimo, *Módulo TCRT5000 (seguilíneas)*, DYOR: Do your own robot, n. d., [Online] Available: <http://dyor.roboticafacil.es/seguilineas/> [Accessed: 6 July 2018]
- [415] Anónimo, *TCRT5000*, Haoyu Electronics, n. d., [Online] Available: <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/TCRT5000/SCH.jpg> [Accessed: 6 July 2018]
- [416] LedBlink SAC, *TCRT5000 optoacoplador reflectivo para seguidor de línea*, YouTube, 2016, [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=eKS0YthYaoU> [Accessed: 6 July 2018]
- [417] Anónimo, *Módulo sensor óptico TCRT5000*, GeekFactory, n. d., [Online] Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/modulo-sensor-optico-tcrt5000/> [Accessed: 6 July 2018]
- [418] Anónimo, *Lupa y holder LED de potencia de 1 a 5 Watts de 5-120 grados*, Mercado Libre, n. d., [Image], Available: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-564264829-lupa-y-holder-led-de-potencia-de-1-a-5-watts-de-5-120-grados-_JM [Accessed: 10 July 2018]
- [419] Anónimo, *LEDs de Potencia*, Siled, n. d., [Online] Available: <http://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf> [Accessed: 10 July 2018]
- [420] Anónimo, *Ángulo de apertura en luces LED*, BP Iluminación, n. d., [Online] Available: <https://www.byp.cl/blog/angulo-apertura-luces-led/> [Accessed: 10 July 2018]
- [421] A. J. Neal, *Tips for selecting dc motors for your mobile robot*, Servo Magazine, 2010 [Online] Available: https://www.servomagazine.com/magazine/article/tips_for_selecting_dc_motors_for_your_mobile_robot [Accessed: 12 July 2018]
- [422] N. C. Pérez Pérez, D. A. Salamanca Avellaneda, *Diseño, modelamiento y simulación 3D de un robot móvil para exploración de terrenos*, Universidad de la salle, Colombia, 2009.
- [423] G. Barbadillo Villanueva, A. Pina Calafi, *Proyecto arduino: sumo robótico*, Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, España, 2012.
- [424] C. Jiménez Jiménez, *Desarrollo de un sistema de control de un robot móvil*, Universidad de Valladolid, España, 2017 [Online] Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/25547/1/TFG-P-644.pdf> [Accessed: 12 July 2018]
- [425] Anónimo, *Tracción omnidireccional*, Grupo Carman, 2015 [Online] Available: <http://grupocarman.com/blog/traccion-omnidireccional/> [Accessed: 12 July 2018]
- [426] R. E. Sánchez, *Drivetrain Desing*, Pincrest Preparatory Middle - High, EUA, 2016 [Online] Available: https://www.ppmhcharterschool.org/ourpages/auto/2016/8/17/50669917/Drivetrain%20Design%20_1_.pptx [Accessed: 12 July 2018]
- [427] G. Bermudez, *Robots móviles. Teoría, aplicaciones y experiencias*, ResearchGate, 2015 [Online] Available: https://www.researchgate.net/publication/267798579_ROBOTS_MOVILES_TEORIA_APLICACIONES_Y_EXPERIENCIAS [Accessed: 12 July 2018]

- [428] C. Boto Coto, *El Proyecto ARGOS*, Robot de sumo Argos, 2012 [Online] Available: <http://argosbot.blogspot.com/p/seleccion-de-los-motores.html> [Accessed: 12 July 2018]
- [429] Anónimo, *Calculation of Torque and RPM*, Botskool, n. d., [Online] Available: <http://www.botskool.com/tutorials/mechanical/calculation-torque-and-rpm> [Accessed: 12 July 2018]
- [430] F. Castañón Decena, C. Bustamante Cosme, C. U. Martínez Tovar, *Robot móvil para reconocimiento de terrenos*, Instituto Politecnico Nacional, México, 2011.
- [431] R. A. Serway, J. W. Jewett Jr. [trad. V. Campos Olguín], *Física para ciencias e ingeniería*, 7th ed., vol. 1, Mexico: Cengage Learning, 2008.
- [432] Anónimo, *Glosary*, American Kennel Club, n.d. [Online] Available: <https://www.akc.org/about/glossary/> [Accessed: 13 July 2018]
- [433] T. M. Wendland, *et. al.*, *Evaluation of pacing as an indicator of musculoskeletal pathology in dogs*, Journal of Veterinary Medicine and Animal Health, 2016 [Online] Available: <http://www.academicjournals.org/journal/JVMAH/article-full-text-pdf/62D6B3B61551> [Accessed: 13 July 2018]
- [434] D. Romà Fernández, *Control de una plataforma móvil mediante microcontrolador*, Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Terrassa, España, 2015.
- [435] Anónimo, *Driver Puente H L298N*, Naylamp Mechatronics, n. d. [Online] Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html> [Accessed: 13 July 2018]
- [436] I. Uriarte, *El módulo controlador de motores L298N*, Prometec, 2017 [Online] Available: <https://www.prometec.net/l298n/> [Accessed: 13 July 2018]
- [437] Anónimo, *Tutorial de Uso del Módulo L298N*, Naylamp Mechatronics, 2016 [Online] Available: https://naylampmechatronics.com/blog/11_Tutorial-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-L298N.html [Accessed: 13 July 2018]
- [438] A. Cruz, *Tutorial: Uso de Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino*, Electronilab, 2014 [Online] Available: <https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/> [Accessed: 13 July 2018]
- [439] P. Amador Díaz, *Artificial Intelligence in Vehicle*, Universitat Oberta de Catalunya, España, 2011 [Online] Available: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/11313/1/pamadorTFC0112memoria.pdf> [Accessed: 13 July 2018]
- [440] Anónimo, *L298N doble puente H DC Stepper Motor Junta módulo controlador para Uno R3 Raspberry Pi Starter Kit DIY*, AliExpress, n. d. [Image] Available: <https://es.aliexpress.com/item/L298N-Module-Dual-H-Bridge-Stepper-Motor-Driver-Board-Modules-for-Arduino-Smart-Car-FZ0407-Free/1761850243.html> [Accessed: 13 July 2018]
- [441] Anónimo, *Dual full-bridge driver*, Sparkfun, n. d. [Online] Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf [Accessed: 13 July 2018]

[442] Anónimo, *What's the difference between DC, Servo & Stepper Motors?*, Modmypi, 2013 [Online] Available: <https://www.modmypi.com/blog/whats-the-difference-between-dc-servo-stepper-motors> [Accessed: 13 July 2018]

[443] JediJeremy, *Question about Raspberry Pi controlling speed on an L298N H-Bridge motor controller*, reddit, 2016 [Online] Available: https://www.reddit.com/r/raspberry_pi/comments/4pyl1t/question_about_raspberry_pi_controlling_speed_on/ [Accessed: 13 July 2018]

[444] C. Veloso, *Como funciona el puente H L293B*, Electrontools, 2016 [Online] Available: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/como-funciona-el-puente-h-l293b/> [Accessed: 13 July 2018]

[445] Anónimo, *React-native-beacons-android*, Github, n.d. [Image] Available: <https://github.com/mmazzarolo/react-native-beacons-android> [Accessed: 17 July 2018]

[446] Anónimo, *¿Cómo funciona la tecnología VNC?*, RealVNC, n.d. [Online] Available: <https://www.realvnc.com/es/connect/docs/faq/function.html> [Accessed: 20 July 2018]

[447] Anónimo, *VNC Connect. Esté en todas partes*, RealVNC, n.d. [Online] Available: <https://www.realvnc.com/es/> [Accessed: 20 July 2018]

[448] Anónimo, *¿Qué es una interfaz?*, Universitat Oberta de Catalunya, n.d. [Online] Available: <http://multimedia.uoc.edu/blogs/dii/es/que-es-una-interficie/> [Accessed: 20 July 2018]

[449] Anónimo, *¿Qué es VNC Connect?*, RealVNC, n.d. [Online] Available: <https://www.realvnc.com/es/connect/docs/faq/philosophy.html> [Accessed: 20 July 2018]

[450] Anónimo, *Connect to your Raspeberry Pi from anywhere*, RealVNC, n. d., [Image] Available: <https://www.realvnc.com/es/raspberrypi/> [Accessed: 20 July 2018]

[451] W. S. Muralles, *Análisis, evaluación y recomendación de los formatos de video digital: MJPEG, MPEG X y OGM*, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. [Online] Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0323_CS.pdf [Accessed: 20 July 2018]

[452] Anónimo, *FAQ/English*, WikiMumble, 2016, [Online] Available: https://wiki.mumble.info/wiki/FAQ#What_is_Mumble.3F [Accessed: 20 July 2018]

[453] Anónimo, *Features*, WikiMumble, 2015, [Online] Available: <https://wiki.mumble.info/wiki/Features> [Accessed: 20 July 2018]

[454] Anónimo, *Mumble Logo*, WikiMumble, 2011, [Image] Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mumble_\(software\)#/media/File:Icons_mumble.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Mumble_(software)#/media/File:Icons_mumble.svg) [Accessed: 20 July 2018]

[455] Anónimo, *Plumble - A Modern Mumble app for Android 4.0+ Devices*, Facepunch Forums, 2012, [Image] Available: <https://forum.facepunch.com/f/hws/bgndt/Plumble-A-Modern-Mumble-app-for-Android-4-0-Devices/1/> [Accessed: 20 July 2018]

[456] Anónimo, *Mumble VoIP Client/Server*, GitHub, n. d., [Online] Available: <https://github.com/mumble-voip/mumble/> [Accessed: 20 July 2018]

- [457] L. Jackson, *MJPEG-Streamer*, Github, n. d., [Online] Available: <https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer> [Accessed: 31 July 2018]
- [458] M. Grinberg, *Stream Video from the Raspberry Pi Camera to Web Browsers, Even on iOS and Android*, Mibuelgrinberg.com, 2013. [Online] Available: <https://blog.miguelgrinberg.com/post/stream-video-from-the-raspberry-pi-camera-to-web-browsers-even-on-ios-and-android> [Accessed: 31 July 2018]
- [459] G. Krishna, *Codecs for Images*, Gopi Krishna's Blog, n.d. [Image] Available: <http://gopisps.blogspot.com/2016/11/codecs-for-images.html> [Accessed: 31 July 2018]
- [460] S. Castillo Serrano, *¿Qué es la relación de aspecto?*, SCS Arquitecto, 2017, [Online] Available: <http://scsarquitecto.cl/relacion-aspecto/> [Accessed: 31 July 2018]
- [461] A. S. Gibson, *Aspect Ratio: What it is and Why it Matters*, Digital Photography School, 2013, [Online] Available: <https://digital-photography-school.com/aspect-ratio-what-it-is-and-why-it-matters/> [Accessed: 31 July 2018]
- [462] Anónimo, *Image Aspect Ratio*, Calculate Aspect Ratio, n. d., [Image] Available: <https://calculateaspectratio.com/> [Accessed: 31 July 2018]
- [463] Antifreeze Design, *List of perfect 16:9 ratios, for perfect resolution scaling at 1.7(7) screen aspect ratio*, Wordpress, 2011, [Online] Available: <https://antifreezedesign.wordpress.com/2011/05/13/permutations-of-1920x1080-for-perfect-scaling-at-1-77/> [Accessed: 31 July 2018]
- [464] Anónimo, *Optimal Video Dimensions*, Brightcove, n. d., [Online] Available: <https://support.brightcove.com/optimal-video-dimensions> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [465] A. Estrada Corona, "Protocolos TCP/IP de Internet", *Revista Digital Universitaria*, vol. 5 no. 8, Sep. 2004
- [466] J. Noguez Monroy, M. C. Ferrer Nuñez, *Informática*, 2nd. ed., Mexico: Santillana, 2008.
- [467] P. Norton, *Introducción a la computación*, 6th. ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2006
- [468] A. Carbajo, *La IP: ¿Qué es? ¿Cómo funciona? ¿Puedo ocultarla?*, Nobbot, 2016, [Online] Available: <https://www.nobbot.com/tecnologia/mi-conexion/cuarto-especial-sobre-los-routers-la-ip-que-es-como-funciona-puedo-ocultarla/> [Accessed: 1 Aug.2018]
- [469] Anónimo, *Dirección IP*, CCM, 2018, [Online] Available: <https://es.ccm.net/contents/267-direccion-ip> [Accessed: 1 Aug.2018]
- [470] C. Rodríguez León, *Direcciones IP, Números de Puertos y Sockets*, Universidad de La Laguna ,2012. [Online] Available: <http://nereida.deioc.ull.es/~pp2/perlexamples/node233.html> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [471] I. Muñoz, *Cómo saber mi dirección IP en Windows, Mac, iOS y Android*, Computer Hoy, 2015 [Image] Available: <https://computerhoy.com/video/como-saber-mi-direccion-ip-windows-mac-ios-android-33083> [Accessed: 1 Aug. 2018]

- [472] Anónimo, *What is my IP Address / MAC Address?*, UIC ACCC, 2012, [Online] Available: <https://accc.uic.edu/answer/what-my-ip-address-mac-address> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [473] A. Bernabé Sáez, *Los puertos de tu router, ¿qué son y qué podemos hacer con ellos?*, Nobbot, 2014 [Online] Available: <https://www.nobbot.com/tecnologia/adsl/los-puertos-de-tu-router-que-son-y-que-podemos-hacer-con-ellos/> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [474] C. Cabello, *¿IP fija o DHCP? Elige la mejor opción para tus dispositivos*, Nobbot, 2014 [Online] Available: <https://www.nobbot.com/redes/ip-fija-o-dhcp-elige-la-mejor-opcion-para-tus-dispositivos/> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [475] Matt, *Finding the MAC Address of a Raspberry Pi*, Raspberry Pi Spy, 2012, [Online] Available: <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2012/06/finding-the-mac-address-of-a-raspberry-pi/> [Accesses: 1 Aug. 2018]
- [476] Anónimo, *Puerto/Puertos TCP/IP*, CCM, 2018 [Online] Available: <https://es.ccm.net/contents/272-puerto-puertos-tcp-ip> [Accessed: 1 Aug. 2018]
- [477] Anónimo, *How to Forward a Port*, Portforward, n.d. [Online] Available: <https://portforward.com/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [478] Anónimo, *¿Qué es Port Forwarding?*, Culturación, 2013 [Online] Available: <http://culturacion.com/que-es-port-forwarding/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [479] A. Crespo, *¿Qué es port forwarding y por qué debo bloquear los puertos de mis dispositivos?*, Redes Zone, 2017 [Online] Available: <https://www.redeszone.net/2017/08/28/que-es-port-forwarding-y-por-que-debo-bloquear-los-puertos-de-mis-dispositivos/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [480] Anónimo, *Protocolos de transporte*, Universidad Carlos III de Madrid, 2018 [Online] Available: <http://www.it.uc3m.es/lpgonzal/protocolos/transporte.php> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [481] E. Dans, *Sobre nubes y PYMES*, Enrique Dans, 2018, [Image] Available: <https://www.enriquedans.com/2018/04/sobre-nubes-y-pymes.html> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [482] Anónimo, *Sonicwall Port Forwarding and LAN WAN Rules Basics*, network antics, n. d., [Image] Available: <https://www.networkantics.com/sonicwall-port-forwarding/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [483] Anónimo, *Raspberry Pi 3 Model B Motherboard*, Amazon, n. d., [Image] Available: <https://www.amazon.com/Raspberry-Pi-RASPBERRYPI3-MODB-1GB-Model-Motherboard/dp/B01CD5VC92> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [484] Anónimo, *Rastrear un teléfono celular robado o perdido*, LocalizaIP, n. d., [Image] Available: https://www.localizaip.com/posts/rastrear_telefono_robado_perdido.php [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [485] C. Cabello, *Cómo obtener una IP fija para tu conexión a Internet*, Nobbot, 2016 [Online] Available: <https://www.nobbot.com/redes/como-obtener-una-ip-fija-para-tu-conexion-internet/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [486] Anónimo, *Condición del servicio infinitum negocio para mercado residencial y comercial (masivo)*, Telmex, 2016, [Online] Available: <https://downloads.telmex.com/pdf/cond-serv-infinitum-negocio.pdf> [Accessed: 3 Aug. 2018]

- [487] Anónimo, *No-IP: manual de instalación y configuración para acceder de forma remota*, Redes Zone, 2013 [Online] Available: <https://www.redeszone.net/raspberry-pi/no-ip/> [Accessed: 3 Aug. 2018]
- [488] Anónimo, *Powebank ADATA PT100, Negro, 10000 mAh*, n. d. [Image] Available: <https://cotonline.mx/Accesorios-para-Electronica/Power-banks/ADATA/BATDAT080/23835> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [489] Anónimo, *Cargador portátil Techlink ReCharge con cable micro USB*, Xopal, n. d., [Image] Available: <https://xoppal.com/producto/cargador-portatil-techlink-recharge-con-cable-micro-usb/> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [490] Anónimo, *RAS series*, Sun Hold, n. d., [Online] <http://www.sunhold.com/upload/prd1/118-3.pdf> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [491] Anónimo, *Transistor bipolar, 2N2222A, NPN 600 mA 40 V HFE:35 TO-18, 3 pines, 300 MHz*, RS, n. d., [Online] Available: <https://es.rs-online.com/web/p/transistores-bipolares/0295028/> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [492] Texas Instruments, *LM317 3-Terminal Adjustable Regulator*, Texas Instruments, 2016, [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [493] Enrique, *Regulador de Voltaje LM317*, EducaChip, 2014, [Online] Available: <http://www.educachip.com/regulador-de-voltaje-lm317/> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [494] earl, *LM317 to output 3.3 Volts*, MicroController Electronics, 2016, [Online] Available: <https://microcontrollerelectronics.com/lm317-3-3v-source/> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [495] Anónimo, *Fuente de voltaje variable con LM317 (circuito impreso)*, Electrónica Unicrom, n. d., [Online] Available: <https://unicrom.com/fuente-de-voltaje-variable-con-lm317/> [Accessed: 7 Aug. 2018]
- [496] Anónimo, *Corte por láser*, Jacquet export, n. d. [Online] Available: http://www.jacquet.biz/JACQUET/export/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=57&language=es [Accessed: 15 Aug. 2018]
- [497] Anónimo, *Corte por láser*, Urlaser, n. d. [Online] Available: <http://www.urlaser.es/corte-por-laser/> [Accessed: 15 Aug. 2018]
- [498] I. Buckley, *Everything you need to know about Raspberry Pi GPIO pins*, Make use of 2018, [Online] Available: <https://www.makeuseof.com/tag/raspberry-pi-gpio-pins-guide/> [Accessed: 20 Aug. 2018]
- [499] Anónimo, *ffmpeg Documentation*, FFmpeg, n. d. [Online] Available: <https://ffmpeg.org/ffmpeg.html> [Accessed: 28 Aug. 2018]
- [500] Anónimo, *About FFmpeg*, FFmpeg, n. d. [Online] Available: <https://ffmpeg.org/about.html> [Accessed: 28 Aug. 2018]
- [501] Anónimo, *Recording Audio*, Adafruit, 2013 [Online] Available: <https://learn.adafruit.com/usb-audio-cards-with-a-raspberry-pi/recording-audio> [Accessed: 28 Aug. 2018]
- [502] Anónimo, *Kong extreme negro*, Mundo Animal, n. d. [Image] Available: https://www.mundo-animal.com/668-large_default/kong-extreme-negro-tamanos-s-m-l-xl-y-xxl.jpg [Accessed: 12 Sept. 2018]

- [503] Anónimo, *Entiende el lenguaje corporal canino*, ProPlan, n.d. [Online] Available: <https://www.purina.es/perro/pro-plan/body-language> [Accessed: 14 Sept. 2018]
- [504] jbd, *Analogue audio testing*, Raspberry Pi Forum, 2016 [Online] Available: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=29&t=136445> [Accessed: 20 Sept. 2018]
- [505] Joan, *PWM and audio on RPi3*, Raspberry Pi Forum, 2016 [Online] Available: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=165719> [Accessed: 20 Sept. 2018]
- [506] Joan, *GPIO PWM make interference with Audio jack output*, StackExchange, 2017 [Online] Available: https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/71907/gpio-pwm-make-interference-with-audio-jack-output?utm_medium=organic&utm_source=google_rich_qa&utm_campaign=google_rich_qa [Accessed: 20 Sept. 2018]
- [507] suprijami, *Horrible static noise with the 3.5mm audio output*, Reddit, 2016 [Online] Available: https://www.reddit.com/r/raspberrypi/comments/4sslvj/horrible_static_noise_with_the_35mm_audio_output/ [Accessed: 20 Sept. 2018]
- [508] goobering, *White noise through audio jack*, StackExchange, 2017 [Online] Available: <https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/64450/white-noise-through-audio-jack> [Accessed: 20 Sept. 2018]
- [509] Anónimo, *Raspberry Pi 2 & 3 Pin Mappings*, Microsoft Docs. [Online] Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/iot-core/learn-about-hardware/pinmappings/pinmappingsrpi> [Accessed: 28 Sept. 2018]