

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA
SISTEMA DE MONITOREO DE LA SALUD DE EQUINOS

Balladarez, Juan – LU: 1063398
Ingeniería Electrónica

Tutor:
Gustavo Giaccio, UADE
Co-Tutor:
Jerónimo F. Atencio, UTN

Año 2019



UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

● **Contenido**

- Agradecimientos.....6
- 1 Resumen:7
- 2 Abstract,8
- 3 Contenidos.....9
 - 3.1 Objetivo.....9
 - 3.2 Introducción10
- 4 Marco Teórico:11
 - 4.1 Estado del Arte:.....11
 - 4.1.1 Historia de los Caballos11
 - 4.1.2 Utilización de los Caballos en la actualidad11
 - 4.1.3 Caballos de Entretenimiento.....12
 - 4.1.4 Polo.....13
 - 4.1.5 Caballos de Polo13
 - 4.1.6 Cría y Formación de los Caballos de Polo14
- 5 Necesidades:16
 - 5.1 Enfermedades y problemáticas.16
- 6 Tecnologías17
 - 6.2.1 Antecedentes.....17
- 7 Desarrollo de Prototipo19
 - 7.2 Modelo en Cascada:20
 - 7.3 Modelo en Cascada Realimentado:22
 - 7.4 Modelo Evolutivo:23
 - 7.4.1 Modelo Espiral:23
 - 7.5 Implementación del modelo Evolutivo Espiral (Primera Iteración)25
 - 7.5.1 Determinar Objetivo:25
 - 7.5.2 Análisis de Riesgo:25
 - 7.5.3 Desarrollo y Pruebas:26
 - 7.5.4 Planificación/ Evaluación:93
- 8 Marco Económico:101

8.2	Entorno.....	101
8.3	Mercado	106
8.4	Recursos para puesta en marcha	106
8.5	Análisis de la Rentabilidad y Viabilidad.....	110
9	Conclusiones	112
10	Trabajos a futuro para la segunda iteración:	113
11	Bibliografía:.....	114

INDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1	DIAGRAMA EN BLOQUE DEL PROTOTIPO FINAL	20
FIGURA 2	MODELO EN CASCADA	21
FIGURA 3	MODELO EN CASCADA REALIMENTADO	22
FIGURA 4	MODELO EVOLUTIVO	24
FIGURA 5	PRINCIPIO DE LA ACELERACIÓN	27
FIGURA 6	ESTRUCTURA PIEZO-ELÉCTRICO	28
FIGURA 7	ACELERÓMETRO PIEZO-RESISTIVO	29
FIGURA 8	ACELERÓMETRO CAPACITIVO	30
FIGURA 9	ACELERÓMETRO TÉRMICO	31
FIGURA 10	ACELERÓMETRO TÉRMICO EN REPOSO Y EN MOVIMIENTO	31
FIGURA 11	MEMS CAPACITIVO DE SILICIO	32
FIGURA 12	MEMS TÉRMICOS MEMS TÉRMICOS MEMS	33
FIGURA 13	ACELERÓMETRO PIEZO-ELÉCTRICO HITACHI	33
FIGURA 14	MOMENTO ANGULAR.....	35
FIGURA 15	EFFECTO CORIOLIS.....	37
FIGURA 16	EFFECTO CORIOLIS DE UN CUERPO.....	37
FIGURA 17	EFFECTO CORIOLIS CON DOS MASAS	38
FIGURA 18	ESQUEMA GIROSCOPIO.....	38
FIGURA 19	DIAGRAMA EN BLOQUE MPU-6050	41
FIGURA 20	PINOUT MPU-6050	41
FIGURA 21	ESQUEMA BÁSICO DE UN MICROCONTROLADOR	42
FIGURA 22	ARQUITECTURA VON NEUMANN	43
FIGURA 23	ARQUITECTURA HARVARD.....	44
FIGURA 24	PLACA DE DESARROLLO FIREBEETLE.....	48
FIGURA 25	PINOUT FIREBEETLE	48
FIGURA 26	CÁLCULO DE LA POSICIÓN.....	50
FIGURA 27	MÓDULO BK-SIM7000E	51
FIGURA 28	PINOUT BK-SIM7000E.....	52
FIGURA 29	ESQUEMA BÁSICO DE UN REGULADOR LDO	55

FIGURA 30 TIEMPOS DE ENCENDIDO Y APAGADO	55
FIGURA 31 PWM. A) DIAGRAMA EN BLOQUE. B) REPRESENTACIÓN GRÁFICA PWM.....	56
FIGURA 32 CONVERTIDOR REDUCTOR.....	58
FIGURA 33 CONVERTIDOR ELEVADOR.....	59
FIGURA 34 CONVERTIDOR ELEVADOR. A) INT CERRADO. B) INT ABIERTO	59
FIGURA 35 CONVERTIDOR REDUCTOR ELEVADOR (BUCK/BOOST)	60
FIGURA 36 CONVERTIDOR REDUCTOR/ELEVADOR. A) INT CERRADO. B) INT ABIERTO	60
FIGURA 37 REGULADOR RT9080	61
FIGURA 38 MÓDULO 4654.....	62
FIGURA 39 EJEMPLOS DE SÍMBOLOS.....	64
FIGURA 40 DIAGRAMA EN BLOQUE.....	65
FIGURA 41 BATERÍA NCR18650B	66
FIGURA 42 ESQUEMÁTICO REGULADOR LDO	67
FIGURA 43 ESQUEMÁTICO ESP32	67
FIGURA 44 CIRCUITO TÍPICO DE CONEXIÓN MPU-6050	68
FIGURA 45 ESQUEMÁTICO MPU-6050	68
FIGURA 46 ESQUEMÁTICO LM-35.....	69
FIGURA 47 ESQUEMÁTICO SIM7000E.....	70
FIGURA 48 ESQUEMÁTICO INDICADORES	71
FIGURA 49 ESQUEMÁTICO	71
FIGURA 50 FOOTPRINT MPU-6050	72
FIGURA 51 ENCAPSULADO MEMORIA FLASH	72
FIGURA 52 CONEXIÓN DE PISTA A PADS.....	75
FIGURA 53 PISTAS A 45°	75
FIGURA 54 CONEXIÓN ENTRE NODOS	75
FIGURA 55 CONEXIÓN ENTRE PISTAS.....	76
FIGURA 56 CONEXIÓN ENTRE PISTAS Y NODOS	76
FIGURA 57 SUPERFICIES DE PADS	76
FIGURA 58 CONEXIÓN DE PISTAS.....	76
FIGURA 59 PCB DE DOS CAPAS	77
FIGURA 60 TIPOS DE VÍAS.....	78
FIGURA 61 REGLA DE RUTEO PCB.....	79
FIGURA 62 MODELO 3D DE LA PLACA ELECTRÓNICA (VISTA SUPERIOR)	80
FIGURA 63 MODELO 3D DE LA PLACA ELECTRÓNICA (VISTA INFERIOR)	80
FIGURA 64 ESPECIFICACIONES DEL PCB	81
FIGURA 65 PLACA ELECTRÓNICA	82
FIGURA 66 BASE DEL GABINETE EN VISTA ISOMÉTRICA	83
FIGURA 67 TAPA DEL GABINETE EN VISTA ISOMÉTRICA	84
FIGURA 68 GABINETE 3D	85
FIGURA 69 GABINETE FINAL	85
FIGURA 70 DIAGRAMA DE BLOQUE.....	87
FIGURA 71 CONFIGURAR PUNTO DE ACCESO	88

FIGURA 72 COLOCACIÓN DEL DISPOSITIVO EN EL CABALLO.....	97
FIGURA 73 ENSAYO VARIACIÓN DE FRECUENCIA.....	98
FIGURA 74 DETECCIÓN DE INACTIVIDAD.....	99
FIGURA 75 INVERSIONES	107
FIGURA 76 GASTOS OPERATIVOS	108
FIGURA 77 PLAN DE VENTAS.....	109
FIGURA 78 PÉRDIDAS Y GANANCIAS	111
FIGURA 79 CALENDARIO TRABAJOS A FUTURO.....	113

INDICE DE TABLAS:

TABLA I ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS	17
TABLA II ACELERÓMETROS Y GIROSCOPIOS	39
TABLA III SELECCIÓN DE MICROCONTROLADORES	46
TABLA IV PARÁMETROS GNSS	53
TABLA V PINOUT RT9080	61
TABLA VI PINOUT	62
TABLA VII HERRAMIENTAS DE KICAD	63
TABLA VIII DESCRIPCIÓN COMANDO AT+CGNSINF	91
TABLA IX ENSAYO PARA EL CONSUMO ENERGÉTICO.....	93
TABLA X ENSAYO DE GABINETE 1.0.0	95
TABLA XI ENSAYO DE GABINETE 2.0.0.....	96

- **Agradecimientos**

Para poder llevar a cabo éste proyecto, se consultó y pidió ayuda a productores, petiseros, y veterinarios expertos en el tema, para que nos pudieran comentar los distintos puntos a tener en cuenta. Eminencias en el rubro del polo, dieron su aporte para que este proyecto sea posible.

Quiero agradecer el acompañamiento en todo momento de familiares, amigos, mi tutor que es un amigo también, compañeros de la facultad, petiseros, productores y veterinarios entre otros que lograron que todo esto sea posible.

Quiero hacer hincapié en mi amigo Manuel Torrecilla y su esposa Alejandra Zampatti que con su amor por los caballos fueron los que me mostraron este hermoso y fascinante mundo del Polo que sin saber nada del tema me pudieron transmitir todo su amor por el cuidado de estos animales y me permitieron pensar en cómo podía ayudarlos para mejorar sus tareas.

Muchas gracias al Dr Alejandro Guglielminetti Director del Centro Kawell que es una eminencia en el cuidado de los caballos de Polo y con toda humildad accedió a participar en una entrevista personal mostrándome todo lo que sabía de los caballos, haciendo un recorrido por la clínica y aconsejándome en cuáles podrían ser las posibles necesidades del área.

Quiero agradecer a mi Tutor Jerónimo Atencio que me acompañó en todo momento con su profesionalismo y dedicación estando presente en miles de reuniones, pruebas, ensayos y demás para que todo esto sea posible.

Quiero agradecer con todo el amor del mundo a mi familia tanto a Ines Gaiger (mamá), Ruben Balladarez (Papá), Oscar Balladarez (Hermano), Verónica Balladarez (Hermana) y a Victor Gómez (Cuñado) que confiaron desde el primer momento y me ayudaron a la distancia a que todo esto sea posible, poniendo el equipo en lo caballos, probando cosas que ni ellos sabían que estaban haciendo, por la paciencia y el esfuerzo.

Quiero agradecer a todos mis amigos, familiares y conocidos que siempre estuvieron presente en el proyecto y no tuvieron una participación directa, pero si una participación indirecta de consultarme como venía, de preocuparse cuando las cosas no andaban bien, de tratar de ayudar siempre con la mejor predisposición.

Quiero agradecer el apoyo y el acompañamiento del Director de Carrera Leonardo Amet y de Enrique Alejandro Martinez por su muy buena predisposición y acompañamiento para poder finalizar el proyecto.

Por último, quiero agradecer a esa persona que estuvo a mi lado todo este tiempo y fue un soldado que nunca me dejó caer, que no me dejó rendirme ante nada, que siempre me apoyó y nunca desconfió de que esta idea podía llegar a ser posible. Muchas gracias mi amor, Verónica Ameri, todo esto no hubiera sido posible sin tu acompañamiento.

1 Resumen:

El siguiente trabajo describe todas las etapas realizadas para poder diseñar un prototipo electrónico que permita monitorear el comportamiento de los caballos de Polo mediante sensores de movimiento, ubicación y temperatura. El dispositivo no realizará diagnóstico, sino que servirá como asistencia al personal para detectar cambios en la actitud del animal que podrían indicar que el animal está sufriendo un cólico.

Antes de entrar en detalle acerca del dispositivo nos introduciremos brevemente en la historia de los caballos, cuando y como llegaron a nuestro país, cuáles fueron sus principales actividades y cómo fueron evolucionando hasta llegar a la actualidad.

Hoy en día existen diferentes tipos de caballo según su propósito y según su actividad. En este trabajo nos vamos a concentrar en los caballos de entretenimiento y especialmente en los caballos de Polo, ya que Argentina lidera el ranking de los mejores Caballos de Polo del mundo según Asociación Argentina de Criadores de Caballos de Polo ([AACCP, 2022](#)).

Ya seleccionado el rubro en el cual se iba a trabajar, se realizaron varios encuentros con productores, petiseros, veterinarios y expertos del tema para detectar problemáticas y posibles necesidades. En base a las necesidades encontradas, el proyecto se concentrará en monitorear el comportamiento del animal para poder detectar posibles cambios en su actitud ya que de esa manera los caballos demuestran que están sufriendo una anomalía.

Antes de comenzar con el diseño se realizó un estudio de mercado para detectar los posibles competidores que existen a nivel local y mundial. Llamativamente no se encontraron competidores a nivel Latinoamérica, solamente se encontraron de Suecia, Reino Unido, USA, Francia, España, Austria y Dinamarca.

En base a todo lo explicado anteriormente se comienza con el diseño del prototipo. Lo primero que se hace es analizar varias metodologías de trabajo como son el Modelo en Cascada, el Modelo Cascada Realimentado y el Modelo Evolutivo Espiral. Este último va a ser el que se va a utilizar para poder desarrollar el proyecto, ya que es el que más se adapta al diseño.

Teniendo en cuenta este modelo, el prototipo final se va a llevar a cabo en varias iteraciones que van a permitir pasar de un diseño con funciones básicas a uno mucho más complejo.

En este trabajo solo se llevará a cabo la primera iteración debido a que los tiempos entre iteraciones pueden ser muy largos ya que depende mucho de las pruebas y ensayos con los clientes.

Para la primera iteración el dispositivo medirá el movimiento del cuello y la cabeza del animal, medir la temperatura y la posición global (GPS). Los datos obtenidos se almacenarán en una base de datos y serán procesados por una web. El objetivo final va a ser encontrar una media en los datos obtenidos que permita parametrizar cuando el caballo se encuentra bien y dar alertas al productor en caso de ser necesario.

Por último, se realizará un mini plan de negocio para analizar la viabilidad del prototipo.

2 Abstract,

This essay describes all the stages carried out to be able to design an electronic prototype that monitors Polo horses' behaviour through movement, speed, location, and temperature's sensors. The device will not perform diagnosis but will assist staff detecting changes in the animal's attitude that could indicate that the animal is suffering a colic.

Before heading to the device's design, we will briefly introduce you into history of horses, when and how they arrived in Argentina, what their main activities were, and how they evolved to present day.

Nowadays there are different types of horse according to their porpoise and activity. In this thesis we are going to focus on entertainment horses and specially in Polo horses, since Argentina leads the ranking of the best Polo Horses in the world according to Asociación Argentina de Criadores de Caballos de Polo ([AACCP, 2022](#)).

Once the specific sector was selected, several meetings were held with producers, grooms, veterinarians and experts on the subject to detect problems and possible needs. Based on the needs found, the project will focus on monitoring the behaviour of the animal in order to detect possible changes in its attitude, since in this way the horses demonstrate that they are suffering from an anomaly.

Before starting with the design, a market study was carried out to detect possible competitors that exist locally and globally. Surprisingly, no competitors were found in Latin America, they were only found from Sweden, the United Kingdom, the USA, France, Spain, Austria and Denmark.

Based on everything explained above, the design of the prototype started. First we analysed various work methodologies such as the Cascade Model, the Feedback Cascade Model and the Spiral Evolutionary Model. We will the last one to develop the project, since it is the one that best adapts to the design.

Considering this model, the prototype will be carried out in several iterations that will allow us to go from a design with basic functions to a much more complex one. This will be useful to speed up processes and modify the design if needed.

For the first iteration the device will measure the movement of the animal's neck and head, measure temperature and global position (GPS). These data obtained will be stored in a database and will be processed by a website. The main objective is to obtain and set an average measure that will help us to know if the animal is ok or not and send alerts to the owner.

Finally, a mini business plan will be made to analyse the feasibility of the prototype.

3 Contenidos

3.1 Objetivo

El objetivo de este trabajo es diseñar un dispositivo electrónico que permita capturar y almacenar diferentes parámetros para monitorear el comportamiento de los caballos, mejorar su rendimiento y prevenir enfermedades.

El proyecto estará orientado a **monitorear el comportamiento del animal** para detectar posibles anomalías. El equipo no realizará diagnóstico, sino que servirá como asistencia al personal para detectar cambios en la actitud del animal que podrían indicar que el animal está sufriendo un cólico.

Para poder detectar estas anomalías, el dispositivo estará compuesto por varios sensores como son acelerómetro, giroscopio, sensor de temperatura y una alarma visual que le va a permitir a los cuidadores poder reaccionar de manera más eficiente y rápida para que no se agrave la situación.

Este dispositivo les va a permitir medir diferentes parámetros del animal durante las 24 hs sin la necesidad de tener que estar de manera presencial junto al animal. Esto traerá implicado una reducción de costos de recursos humanos para el productor ya que un petisero podría cuidar más caballos al mismo tiempo. Aparte podrán obtener registros de actividades y entrenamientos que se le hizo el caballo para poder procesar e ir mejorando su rendimiento.

Con el dispositivo se quiere obtener una media en el comportamiento de los animales cuando se encuentra en el Box¹ durante la etapa de alta competencia (en Argentina esta etapa comienza en agosto y termina en Diciembre). Al obtener esta media, se va a poder parametrizar como se encuentra el animal y dar alerta en el caso que sea necesario.

Se buscó la opinión de expertos en caballos y polo para poder desarrollar un producto que le interese al mercado y sea posible de llevar a cabo. El aporte de productores, petiseros, veterinarios y eminencias en éste deporte de élite, sumado a la pericia y expertise de los profesores, tutores y co-tutores en el área de la ingeniería electrónica, junto al conocimiento que he logrado adquirir durante la carrera, dará como resultado un dispositivo único en el mercado.

¹ Lugar físico dentro de las caballerizas donde se coloca un caballo para ocasiones especiales con el objetivo de cuidarlos, alimentarlos, monitorearlos, asearlos o darle medicamentos.

3.2 Introducción

El objeto de éste trabajo es diseñar un dispositivo que pueda monitorear distintos aspectos del comportamiento de los caballos. Teniendo en cuenta esto, se debe conocer qué tipos de caballos existen y cuáles son las características principales que se pueden medir.

En la actualidad en Argentina existen más de 300 razas de diferentes caballos registradas. (Tisera *et al*, 2009), y se pueden clasificar en tres grandes grupos: Razas Pesadas, Livianas y Ponies.

Las razas Livianas son las que se utilizan normalmente para entretenimiento, corresponden a caballos de tamaño mediano (entre 300 y 350kg). Ej, Criollo, Sangre Pura de Carrera (SPC), Silla Argentino, Polo Argentino y Cuarto de Milla.

Las razas Pesadas son los equinos de gran tamaño (entre 500 a más de 1000kg). Su contextura física, de gran robustez y musculosos, hace que sean utilizados generalmente como caballos de tiro. Se utiliza su fuerza para el arrastre de carros y carruajes.

Ponies: Son equinos de tamaño y peso inferior a lo normal (entre 100 y 300kg). Conocidos también como “petisos” por tener la alzada² menor a 1,47 metros. Cuentan con una mansedumbre especial y popularmente difundida, ideales para interactuar con niños y público en general.

A continuación, se profundizará más sobre la historia y la utilización de los caballos para definir y acotar el espectro de razas involucradas en éste trabajo.

² Altura del caballo, medida desde el rodete del talón hasta la parte más elevada de la cruz.

4 Marco Teórico:

4.1 Estado del Arte:

4.1.1 Historia de los Caballos

Es necesaria una breve reseña de historia para descubrir cómo surge éste fascinante lazo, que une al hombre y a los caballos.

En sus orígenes, no fue un gran mamífero. Durante su evolución, un trabajo de más de 50 millones de años, el caballo fue ganando mayor tamaño hasta llegar al *Equus* (única especie de equino que sobrevivió). Se hallaron fósiles del animal prehistórico en todos los continentes, con excepción de la Antártida y Australia.

Se estima que su domesticación ocurrió alrededor del año 3000 A.C. El caballo tuvo un impacto trascendental en la historia del hombre. Desde su domesticación, se modificaron conductas humanas como por ejemplo: la alimentación, las enfermedades, la migración, la agricultura, las guerras, el entretenimiento, el deporte, la comunicación y los viajes.

Existen diversas teorías de las causas que pudieron llevar a los caballos a la completa extinción en América. Se cree que el hecho de que no hayan sido domesticados en nuestro continente, los llevó a extinguirse. Razón por la cual habrían sobrevivido en otras regiones. A finales del siglo XV los colonos introdujeron nuevamente, el caballo, al nuevo mundo.

Recién entre los siglos XVII y IX los aborígenes nativo-americanos los incorporaron a sus actividades cotidianas. Perfeccionando así sus técnicas de doma, caza, comercio y vivienda, lograron crecer y expandirse en gran parte del territorio. Éste animal se encuentra arraigado a la tradición y costumbres rioplatenses. Junto a numerosos próceres, los caballos han formado parte de hechos históricos como el Cruce de los Andes y la Campaña del Desierto, entre otras.

Con el paso del tiempo, su uso fue mutando hasta llegar al día de hoy.

4.1.2 Utilización de los Caballos en la actualidad

Los caballos se utilizan para el trabajo, la defensa, la seguridad, el deporte, la recreación y en algunos países se consume la carne equina.

Cuando se habla de la producción ganadera argentina se considera, principalmente, la bovina. Y no toma mayor relevancia la producción equina. Argentina se encuentra entre los principales países exportadores mundiales de carne equina, aunque en nuestro país no sea habitual la faena e ingesta de éste tipo de carne. (*Ministerio Economía - Secret. Agricultura, 2023*)

Éste país, favorecido por su situación geográfica, climática, características del agua y el suelo, la extensión de las tierras, agregados a la mano de obra altamente calificada, como así también la calidad sanitaria, es considerado uno de los mejores del mundo para la cría de caballos. Estas crías de producción nacional están dirigidas, en su gran mayoría, a la industria de entretenimiento y el deporte.

La producción equina ha evolucionado en los últimos años. Según el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (*SENASA, 2019*) la industria ecuestre orientada a la actividad deportiva les aportó a estos animales un alto valor agregado. Como resultado de la incorporación de los avances tecnológicos y el desarrollo de la producción equina - inseminación artificial, clonación y transferencia embrionaria - los ejemplares argentinos encabezan los podios del deporte ecuestre mundial.

En el territorio nacional se crían más de 25 razas con distintas finalidades y son registradas por las tres entidades de Registros Genealógicos reconocidos por el Ministerio de Agroindustria: Stud Book, Asociación Argentina de Fomento Equino y Sociedad Rural Argentina (SRA). Según el Ministerio de Agricultura (*Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca, 2023*), a marzo 2019 había registrados 2.652.042 equidos.

4.1.3 Caballos de Entretenimiento.

El caballo es un producto agropecuario. Debemos distinguir entre la industria hípica en general y el entretenimiento. El entretenimiento abarca el deporte, el juego y el esparcimiento. Los espectáculos hípicos deportivos son el último eslabón de una amplia cadena productiva.

Un caballo que llega a la industria del entretenimiento es un producto agropecuario con un alto valor agregado. Mientras un caballo regular puede costar \$500USD, el precio de un caballo de entretenimiento arranca en \$20.000USD y su valor no tiene techo.

Argentina es el 3° productor mundial de caballos de carrera y el 1° productor de caballos de Polo del mundo, de reconocido prestigio a nivel internacional.

En Argentina, la Industria Hípica genera miles de millones de pesos al año. Es una industria de mano de obra intensiva. Se estima que cada caballo que está en la actividad genera entre 6 y 8 puestos de trabajos. Existe una gran sinergia entre las distintas actividades (Turf, Polo, Equitación), complementándose y retro alimentándose con calendarios y fechas preestablecidas.

Debido a las características homogéneas de las razas *Livianas*, la cantidad de razas que agrupa, y la utilización de éstas en la industria del entretenimiento, podremos acotar y focalizar éste trabajo en los equinos destinados al Polo.

4.1.4 Polo

Considerado el deporte de los reyes, el polo se desarrolló y mantuvo en un ambiente exclusivo y elitista. El polo llegó a la Argentina a mitad del siglo XIX con la llegada de inmigrantes ingleses. En su gran mayoría hacendados, que no quisieron perder la práctica de este deporte y fundaron el Hurlingham Club en 1888. La Federación Internacional de Polo en colaboración con la Asociación Argentina de Polo son las encargadas de dictar los reglamentos, promover el juego y hacer cumplir las normas y procedimientos.

El polo encontró en nuestro país las condiciones de tierras ideales, buenos caballos y hombres dispuestos a elevar los estándares del polo. Es así, que hoy en día Argentina tiene uno de los mejores niveles de polo mundial. El 50% de los jugadores de polo del mundo son argentinos. 8 de los 10 jugadores con hándicap más alto del mundo son argentinos.

El deporte consiste en dos equipos de 4 jugadores cada uno montados a caballo. Cada equipo debe tratar de meter gol con una pequeña bocha a golpe de taco en el arco contrario, en 4 o 6 períodos de juego denominados “chukkers”. Cada chukker dura 7 minutos, con un descanso de 3 minutos entre cada uno de ellos. Un juego completo puede durar entre una hora y una hora y media.

Entre los meses de septiembre y diciembre de cada año se disputan en Argentina los 3 torneos más importantes, que conforman la Triple Corona: El Abierto de Tortugas, el Abierto de Hurlingham y el Abierto Argentino de Palermo. Cualquier caballo que llegue a jugar la triple corona se encuentra en lo más alto de todos los rankings. Paradójicamente, el premio de ganar la triple corona no significa en dinero, lo que significa en nivel o calidad de juego. Los jugadores y sus caballos son contratados por otros equipos para jugar el resto del año en las distintas locaciones. Haciendo éstas giras mundiales, es que los jugadores y los caballos obtienen el rédito económico para seguir apostando a mejorar el nivel. Los calendarios se distribuyen de la siguiente manera: Entre Enero y Marzo, Estados Unidos; entre Mayo y Julio, Inglaterra; y en Agosto se juega en España y Francia.

4.1.5 Caballos de Polo

Los caballos juegan como máximo dos chukkers no-consecutivos por partido. Cada jugador debe disponer por partido de entre 5 y 7 caballos en su palenque. Hay caballos que son exclusivos, y pueden llegar a ser determinantes, y sus dueños los reservan para jugar finales y partidos importantes, por lo tanto, solo juegan unos minutos al año. Así como mencionamos antes los valores de un caballo, cualquier caballo que pueda jugar bien al polo, su valor arranca en los \$100.000 USD.

No existen requisitos de raza, medidas, o condiciones especiales para un caballo de polo. A diferencia de la equitación que requiere caballos de gran fortaleza; el endurance, donde rinde mejor la raza árabe; o las carreras de caballos, que no pueden ser otra raza que no sea Sangre Pura de Carrera, en el polo puede jugar cualquier caballo que sea bueno para esto. Según la Asociación Argentina de Polo, como medidas orientativas, un caballo debería tener de alzada promedio 1,56 metros y peso entre 400 y 500kg. Entonces, ¿cuáles son las condiciones que hacen bueno a un caballo de polo? La respuesta a este interrogante varía según cada jugador, criador, y petisero, pero en general el caballo polero debe ser rápido, manso, de buena boca -para responder a las órdenes del jugador- y de temperamento sanguíneo.

Para llegar a formar un buen caballo de polo, hay dos variables que inclinan la ecuación a favor o en contra: la genética y la cría.

4.1.6 Cría y Formación de los Caballos de Polo

En Argentina se registran alrededor de cinco mil crías al año y se estima que hay un 50% más que no es registrado. El proceso de crianza dura unos 7 años aproximadamente hasta que el caballo está listo para poder jugar al Polo. Un caballo llega a su plenitud a los 9/10 años y puede jugar hasta los 16/17 años.

En la actualidad casi el 100% de los caballos de polo son criados utilizando la transferencia embrionaria que permite obtener varias crías al año de una misma yegua sin impedir que la misma siga compitiendo.

La producción equina en general se concentra fuertemente en la Provincia de Buenos Aires, así como en Corrientes, Chaco, Entre Ríos, Córdoba, y Santa Fe. Sumando entre ellas el 63% de la población equina registrada en Argentina a Marzo 2019. Sólo la provincia de Buenos Aires contiene el 23% de los equinos. (*Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca, 2023*)

Existen tres diferentes Etapas que tiene que superar un Caballo para poder ser considerado de Polo. Entre ellas se destacan la Gestación, la Doma y la Hechura.

- Gestación: En esta etapa se utilizan 3 tipos de métodos actualmente:

_ Selección Natural: Se realiza de forma natural entre 2 caballos, es una técnica que no se utiliza mucho debido a que no es tan eficiente y además pueden ocasionar malestares y lesiones en las yeguas. Por otro lado, teniendo en cuenta que la gestación dura unos 11 meses, el productor no podrá utilizar ese caballo por al menos 1 año y medio aproximadamente.

_ Transferencia Embrionaria: La técnica de transferencia de embriones en equinos es el procedimiento por el cual se recolecta uno o más embriones a través de un lavaje uterino transcervical de una yegua donante inseminada o servida por monta natural, 6 a 10 días post-ovulación, y se transfiere de manera no quirúrgica al útero de otra yegua receptora sincronizada previamente.

_ Clonación: Es una copia genética de otro caballo. Es más eficiente que los métodos anteriores, pero mucho más costosa. El tratamiento puede costar unos 120 mil dólares. Este método se utiliza en conjunto con la transferencia embrionaria y se utilizan yeguas que se la llama “Madres sustitutas” que llevan el embrión por 11 meses.

- Doma: Esta etapa se realiza a los caballos entre 1 y 3 años. Acá se le enseña a cabalgar, a poder montar, a que no se asuste con los humanos y se lo exige físicamente para ver cómo responde. Depende del productor y del expertise del Domador para determinar si el caballo supera las pruebas o no.
- Hechura: Todos los Caballos que superan la etapa de Doma pasarán a esta etapa donde se los entrena ya de forma profesional para que sean Jugadores de Polo. Se les enseña a correr, a poder trabajar en alto rendimiento, que no se asusten al entrar a una cancha y a poder rendir al máximo su potencial.

5 Necesidades:

5.1 Enfermedades y problemáticas.

Los caballos de Polo que superaron todas las etapas anteriores se convertirán en profesionales del polo. Esto puede ocasionar cambios de hábito, alimentación y rutinas de trabajo. Debido a la alta exigencia que tienen durante la temporada, suelen generarse diferentes enfermedades y problemáticas que, si no se las detecta a tiempo, pueden dejar al caballo sin poder competir. Lo que conlleva una gran pérdida económica para los productores.

Para conocer más en detalle sobre este tema nos acercamos al Centro Kawell de Rehabilitación Hospitalaria de Equinos. Este centro es el primer hospital integral de alta complejidad con rehabilitación equina de Latinoamérica y se entrevistó a su Director ALEJANDRO GUGLIELMINETTI. El doctor Guglielminetti, médico veterinario, nos pudo comentar cuales son las principales problemáticas que se atienden en la clínica, ya que ellos son los que atienden a casi todos los caballos profesionales que están compitiendo hoy en día. (GUGLIELMINETTI, 2019)

Las principales enfermedades y problemáticas que se suelen encontrar en los caballos de Polo son Fracturas, Crisis Abdominal Aguda (Cólicos), Hemorragia Pulmonar, Infecciones y Shock Anafiláctico. Otra cuestión que nos comenta el director es que la mayoría de los problemas anteriormente mencionados son detectados gracias al trabajo de los ³Petiseros, pero que en la gran mayoría de los casos que llegan al centro es porque se detectaron los síntomas demasiado tarde. Esta detección tarde complejiza la rehabilitación y en algunos casos hay que realizar una intervención quirúrgica con todo lo que esto conlleva, ya que el animal que pasa por una cirugía es muy poco probable que pueda volver a competir de manera profesional al mismo nivel que antes.

En base a estos problemas este proyecto se enfocará en medir el comportamiento del animal para buscar una media que identifique si el animal se encuentra bien o mal.

³ Los Petiseros son personas que entienden a los caballos y saben características de la personalidad de cada uno de ellos. (“Cuando un caballo no se porta como es debido, puede que se trate simplemente de un fracaso en la comunicación. En general, los caballos son unas criaturas sinceras que siguen de buen grado a su líder, pero hay que brindarles confianza. A nosotros nos corresponde aprender a interpretar sus señales, desde el leve y sutil movimiento de una oreja hasta el mensaje clarísimo de un certero mordisco.”)

6 Tecnologías

6.2.1 Antecedentes

Antes de poder definir cómo va a ser el dispositivo se realizó un estudio de mercado para identificar desarrollos previos, analizar qué tecnologías se están utilizando actualmente, poder identificar posibles competidores, analizar cómo es la manera de comercializarlos y poder hacer una evaluación de costos para poder identificar cómo posicionarse en el mercado.

A nivel local y Latinoamérica no se encontraron productos que monitoreen el comportamiento del animal, es importante destacar esto, teniendo en cuenta que Argentina es el 1er exportador de caballos de Polo y el 3ro en caballos de Pura Sangre.

Se encontraron dispositivos similares en Suecia, Reino Unido, USA, Francia, España, Austria y Dinamarca. Estos dispositivos son de uso doméstico, para monitorear la ubicación y la actividad del caballo, y están pensados para utilizarse en un ámbito de uso masivo. Se puede apuntar a diferenciarse de estos otros productos, destacando que el dispositivo que se está desarrollando puede ser una herramienta complementaria que ayude al petisero para poder detectar y prevenir posibles enfermedades y generar valor agregado a un sector primario.

A continuación, se presenta una tabla donde describen las principales características de los dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado internacional.

Tipo de Producto	País	Fabricantes	Antecedentes						Modalidad de Venta	
			Prestaciones					Venta de Dispositivo	Venta de Software	
			Actividad	Stress	Pulsaciones	Ubicación	Sudoración			
Cabestro con un dispositivo rígido que se inserta y hace las mediciones	SUECIA	hoofstep.com	X	X	X	X		X	X	
Una especie de faja a la altura de las patas delanteras	REINO UNIDO	trackener.com	X	X		X		X	X	
Un paño que se usa entre la montura y el caballo. Contiene dispositivo rígido	FRANCIA	equisense.com	X					X	X	
Un dispositivo que se activa al contacto	AUSTRIA	steedwatch.com	X	X	X	X		X	X	
Cinturón inteligente	ESPAÑA	polar.com			X			X	X	
Monitor de ritmo cardíaco con electrodos de polímero altamente conductores	REINO UNIDO	equinitytechnology.com			X			X	X	
Cabestro inteligente hace las mediciones hecho mayormente en cuero	USA	smarthalter.com	X	X	X	X		X	X	
Arnés de cuero, robusto.	DINAMARCA	safematefoalalarm.com	X				X	X	X	

Tabla I Antecedentes Tecnológicos

En base a los datos obtenidos de los posibles competidores podemos observar diferentes puntos que se pueden utilizar como oportunidades para el nuevo dispositivo que se quiere diseñar:

- Ningún dispositivo se diseña a nivel local ni Latinoamérica.
- La mayoría mide la actividad, el estrés y las pulsaciones. La ubicación se mide en menor medida y por último la sudoración.
- Están diseñados para un mercado masivo y no tan selectivo como el cuidado de los Caballos de Polo.
- La comercialización se brinda mediante la venta de equipos y además el pago de una membresía que tiene un costo por equipos y una duración determinada por cada fabricante. En algunos casos la membresía es de 6 meses y en otros es de 12 meses. Esta modalidad busca fidelizar al cliente y poder brindar varios servicios adicionales como puede ser redes sociales, personalización de las aplicaciones y demás.

7 Desarrollo de Prototipo

El proyecto consiste en desarrollar un equipo que tenga la capacidad de poder capturar, almacenar y dar alertas en caso de detecciones de un cambio de comportamiento en el día a día del animal para poder responder con mayor rapidez y eficacia las posibles enfermedades de los caballos.

El inicio del desarrollo comienza en visitar a los productores de caballos, hablar con expertos del tema y poder detectar cuáles son las necesidades que están teniendo actualmente. De estas charlas surgieron varios inconvenientes y posibles necesidades. Las mismas se fueron registrando para un posterior análisis.

Las necesidades que surgieron fueron las siguientes:

- Medición de tiempos de recuperación o determinación del estado del animal antes y después de exigirlos.
- Monitoreo Personalizados (tener que monitorear al animal implica ir a verlo cada 2 horas)
- Cólicos: **Es la 1ra causa de muerte en los caballos (en muchos casos los síntomas aparecen por la noche donde los petiseros no están con el animal y si no se detecta con tiempo puede causar la muerte)**
- Lesiones en sus extremidades (quebradoras, esguinces, torceduras, etc)
- Deformaciones en los Vasos. (Esto puede dejar al animal inactivo si no se detecta a tiempo)
- El monitoreo del animal y la rutina de trabajo se hace en persona, es decir que cada petisero tiene a su cargo entre 4 y 5 caballos, los cuales está viendo en todo momento cómo se desempeñan y si presentan algún signo de molestia.

En base a las necesidades observadas, el proyecto se centrará en monitorear el comportamiento del animal y poder dar alerta cuando se detecten anomalías. El equipo no realizará diagnóstico, sino que servirá como asistencia al personal para detectar cambios del comportamiento del animal que podrían indicar que el animal está sufriendo un cólico. Estos cambios de comportamiento se van a detectar midiendo los siguientes parámetros:

1. Medir posición y orientación de la cabeza y/o cuerpo del animal.
2. Medir la Temperatura.
3. Ubicación.

Una descripción gráfica del proyecto se puede observar en el siguiente diagrama en bloque que se muestra en la Figura 1.

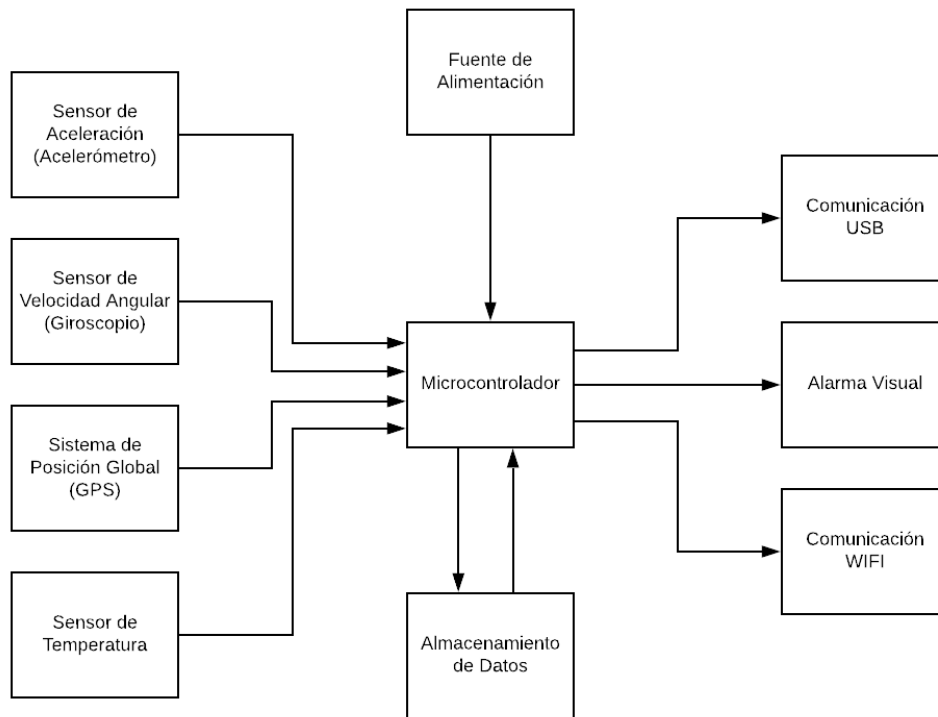


Figura 1 Diagrama en bloque del Prototipo Final

Para poder llevar a cabo este proyecto, primero se investigaron diferentes modelos de diseños y en base a las ventajas y desventajas de cada uno se definirá cuál se adapta mejor:

7.2 Modelo en Cascada:

Este modelo es conocido también como Lineal, Clásico o Secuencial, es uno de los más simples y se utiliza normalmente en el desarrollo de Software. El modelo implica un desarrollo rígido que consiste en definir varias etapas que son consecutivas una de otra, es decir que la única manera de poder continuar hacia la siguiente etapa es finalizar la etapa anterior.

Las etapas que se incluyen son Análisis de Requerimientos, Diseño, Implementación, Verificación y Mantenimiento como se muestra en la Figura 2.

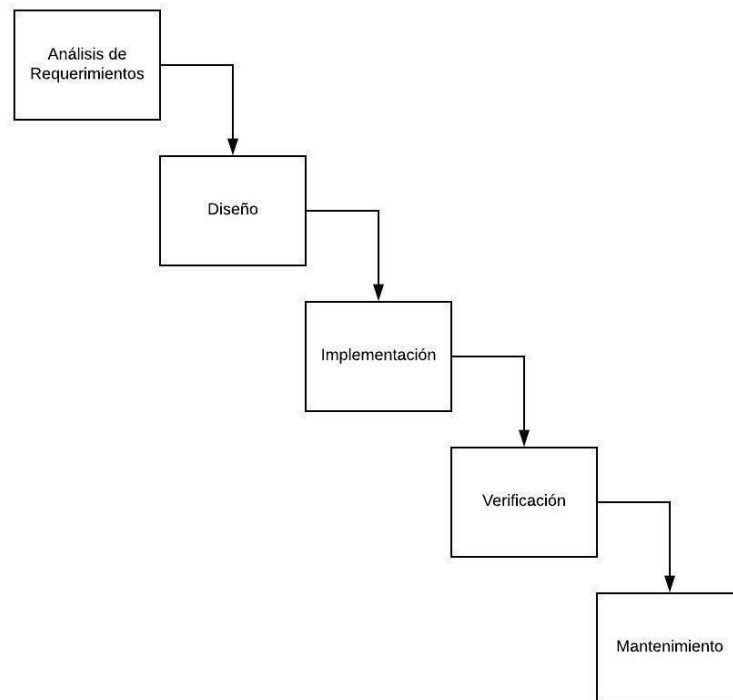


Figura 2 Modelo en Cascada

- **Análisis de requerimientos:** En esta etapa se analizan las necesidades y requerimientos del cliente para determinar el objetivo a cubrir. Se realiza un documento de especificaciones donde se definen todos los requerimientos del proyecto sin entrar en detalles internos. Vale aclarar que una vez que se finalice esta etapa ya no se podrán hacer modificaciones en el diseño.
- **Diseño:** En esta etapa se define el Documento de Diseño que consiste en definir la estructura del diseño, es decir diagrama en bloques, esquemáticos y PCB.
- **Implementación e Integración:** En esta etapa se realiza la programación de lo que se diseñó en la etapa anterior.
- **Verificación:** En esta etapa se realiza el ensamble, la puesta en marcha y el testeado de todos los requerimientos que tiene que cumplir.

Ventajas:

- ✓ Es sencilla y fácil la gestión del Proyecto
- ✓ Permite tener bajo control el Proyecto
- ✓ Las fases son conocidas por los desarrolladores.
- ✓ Es de fácil comprensión

Desventajas:

- ✘ Difícilmente se puede aplicar este modelo en la vida real ya que los diseños no llevan una secuencia lineal, se puede crear una mala interpretación del modelo y llevar al fracaso el proyecto.
- ✘ No se puede volver a la etapa anterior en caso de ser necesario.
- ✘ El modelo es muy rígido y no se permiten hacer modificaciones una vez pasada la etapa de diseño.
- ✘ Se puede demorar mucho tiempo en una etapa hasta que todo funcione correctamente.

7.3 Modelo en Cascada Realimentado:

Este modelo es una versión mejorada del método de cascada que permite que el proyecto no sea tan rígido y puede realizar una realimentación entre etapas que no sea completamente predecible ni rígida. Esto permite realizar diseños que presenten incerteza, cambios o evoluciones e ir modificando partes pequeñas del proyecto si es necesario. Ver Figura 3

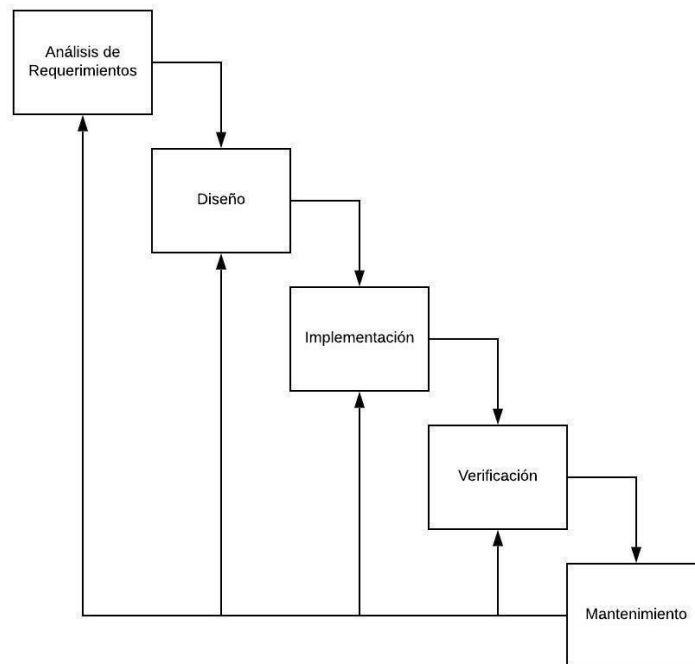


Figura 3 Modelo en Cascada Realimentado

Ventajas:

- ✓ Es sencilla y fácil la gestión del proyecto
- ✓ Permite tener bajo control el Proyecto
- ✓ Las fases son conocidas por los desarrolladores.
- ✓ Es de fácil comprensión
- ✓ Permite la evolución del diseño realizando ajustes en etapas anteriores.

Desventajas:

- ✗ Los cambios que se introducen pueden confundir al equipo de trabajo en las primeras etapas de trabajo y cuando se producen en las últimas etapas puede llevar al fracaso del proyecto.
- ✗ El cliente va a obtener resultados cuando el proyecto llegue a sus últimas etapas.
- ✗ No siempre el cliente define claramente las especificaciones y el proceso lineal lo requiere.

7.4 Modelo Evolutivo:

El diseño evoluciona con el tiempo. Los requerimientos suelen ir cambiando en base al avance del proyecto. Los tiempos del mercado y la competencia hacen que no sea posible esperar a tener una versión final para sacar al mercado por lo que se van realizando entregas parciales que se pueden ir utilizando como producto final con funciones limitadas.

Para estas situaciones, los diseñadores necesitan modelos que estén preparados para adaptarse a una evolución temporal o progresiva.

El modelo de cascada y cascada realimentado no se adaptan a esta modalidad ya que solamente se pueden obtener resultados tangibles cuando se llega a la etapa final.

En el caso de los modelos evolutivos, son métodos iterativos que permiten desarrollar versiones cada vez más completas hasta llegar al objetivo final.

7.4.1 Modelo Espiral:

Es un modelo evolutivo basado en el modelo lineal que permite ir realizando iteraciones de construcción de prototipos y potencia el desarrollo rápido de versiones incrementales. Este modelo está desarrollado para utilizarse en el desarrollo que puede ir evolucionando en el tiempo y es una metodología ágil que permite ir obteniendo resultados relativamente rápido.

El modelo en espiral se representa en la siguiente figura (Figura 4) donde se pueden observar las siguientes tareas:

- Determinar objetivos: Determinación de los requerimientos de entrada para establecer los objetivos, alternativas y restricciones.
- Análisis de Riesgo: Análisis de los requerimientos, identificación y reducción de riesgos.
- Desarrollo y Pruebas: Todas las tareas asociadas al desarrollo del diseño.
- Planificación/Evaluación: Valoración por parte del cliente de los resultados obtenidos en la iteración.

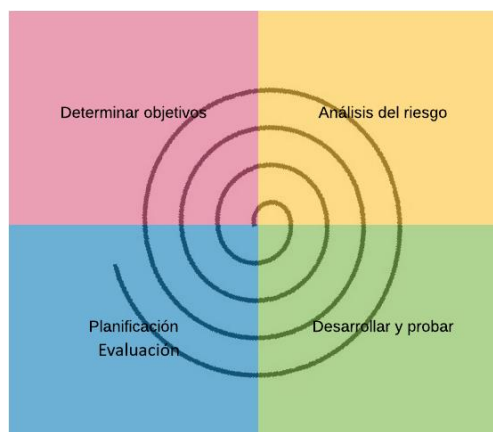


Figura 4 Modelo Evolutivo

Ventajas:

- ✓ El modelo se puede adaptar y aplicar a la evolución del diseño en cada una de sus etapas.
- ✓ Permite la construcción de prototipos en cualquier etapa evolutiva.
- ✓ El cliente puede percibir rápidamente avances del desarrollo en cada evolución.
- ✓ El modelo permite una fluida y enriquecedora comunicación entre el cliente y el desarrollador. Esto le permite poder identificar y atacar mejor los riesgos que se presenten en los niveles evolutivos.
- ✓ El modelo demanda un análisis de riesgo en cada etapa del proyecto y si se aplica adecuadamente puede llegar a reducir los mismos antes de que ocasionen mayor problema.

Desventajas:

- ✗ Resulta complejo poder convencer al cliente que el enfoque evolutivo se puede controlar.
- ✗ Es un modelo costoso.
- ✗ Se necesita un compromiso continuo del cliente.
- ✗ Requiere experiencia para poder identificar los riesgos durante el proyecto.

En base a las ventajas y desventajas de cada uno de los modelos, para el desarrollo del prototipo se va a utilizar el modelo evolutivo espiral que permite ir trabajando por etapas de manera ordenada pasando por un diseño simple a uno más complejo en cada iteración.

En base a la complejidad del diseño y del rubro al cual va a cubrir, va a ser indispensable un acompañamiento del potencial cliente para poder desarrollar un dispositivo que sea robusto y pueda cubrir todas las necesidades planteadas.

Teniendo en cuenta esto, se utilizará el **modelo evolutivo espiral** para llevar a cabo el proyecto y en esta primera etapa solo se desarrollará la primera iteración debido a que los tiempos entre las pruebas y las siguientes iteraciones pueden ser muy extensos y ese no es el objetivo de la tesis.

7.5 Implementación del modelo Evolutivo Espiral (Primera Iteración)

7.5.1 Determinar Objetivo:

En esta primera etapa el diseño se concentrará en medir la posición y orientación de la cabeza y/o cuerpo del animal. Utilizando el dispositivo que se colocará como un collar en el cuello del animal, se registraron todos los datos de movimiento y temperatura durante las 24hs del día y se darán alertas en el caso de ser necesario. Estos datos se irán almacenando en una base de datos para procesar en un análisis off-line con el objetivo de encontrar una media que permita determinar si el animal se encuentra bien y si es posible detectar anomalías a futuro.

Con esta media, lo que se quiere lograr es poder mejorar su rendimiento, prevenir futuras lesiones, enfermedades y alargar su vida útil.

7.5.2 Análisis de Riesgo:

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en la etapa anterior, se definen los siguientes requerimientos:

- ✓ Medición de la posición y orientación de la cabeza y/o cuerpo del animal, se necesitará un acelerómetro y un giroscopio.
- ✓ Para medir la temperatura, se utilizará un sensor de temperatura.
- ✓ Captura y almacenamiento, se necesitará un microcontrolador y una memoria embebida.
- ✓ Alimentación y autonomía, se necesitará una batería de 3.7 V y que sea capaz de dar una autonomía de al menos unas 48 hs.
- ✓ El dispositivo tiene que ser lo más pequeño posible, de fácil colocación y utilización.
- ✓ Dispositivo de medición no invasiva.

Riesgos: En base a los requerimientos se pueden identificar los siguientes riesgos:

- ✘ Pérdida de datos al momento de capturar y almacenar.
- ✘ Autonomía del dispositivo.
- ✘ Riesgo de desconexión por fuertes vibraciones.

7.5.3 Desarrollo y Pruebas:

En base a los requerimientos establecidos se comenzará con la selección de los principales componentes que se utilizarán en el desarrollo del prototipo electrónico.

7.5.3.1 Sensores de movimiento:

Los sensores de movimiento que se utilizarán en este punto serán acelerómetros y giroscopios, antes de entrar en detalle en la selección del componente se dará una descripción de cada uno de ellos donde se describe su funcionamiento y aplicaciones.

Acelerómetros:

Un acelerómetro es un dispositivo que mide la aceleración y la vibración. Estos dispositivos convierten la aceleración y el movimiento en señales eléctricas analógicas proporcionales a la fuerza que se le aplica al sistema. El principio de funcionamiento se basa en la Segunda Ley de Newton o Principio Fundamental de la Dinámica que expresa lo siguiente *“la fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración”*.

Para entender este principio primero debemos partir de la Primera Ley de Newton que nos dice *“todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él”*. Esto quiere decir que para que un cuerpo altere su movimiento, tiene que existir algo que actúe sobre él. Este algo se llama fuerza y se describe con la siguiente ecuación:

$$F = m \cdot a \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde F= Fuerza, m= masa y a=aceleración

La aceleración es el cambio de la velocidad y la unidad de medida es: m/s².

La masa se mide en Kg (Kilogramo)

La fuerza se mide en N (Newton).

Se debe recordar que tanto la fuerza como la aceleración son unidades vectoriales, por lo que tienen dirección y sentido. Es por esto que los acelerómetros son sensores inerciales que obtienen la segunda derivada de la posición. Estos trabajan de manera unidireccional, por lo que si se quiere trabajar en varios ejes, se utilizan los acelerómetros multi-ejes que permiten trabajar en las coordenadas (x, y, z).

Principio de Funcionamiento:

Muchos acelerómetros electromecánicos operan imitando la fuerza ejercida sobre una masa en un sistema elástico. Consideremos un sistema inercial como se muestra en la figura 5 donde una masa fija m actúa con un resorte de constante de rigidez k .

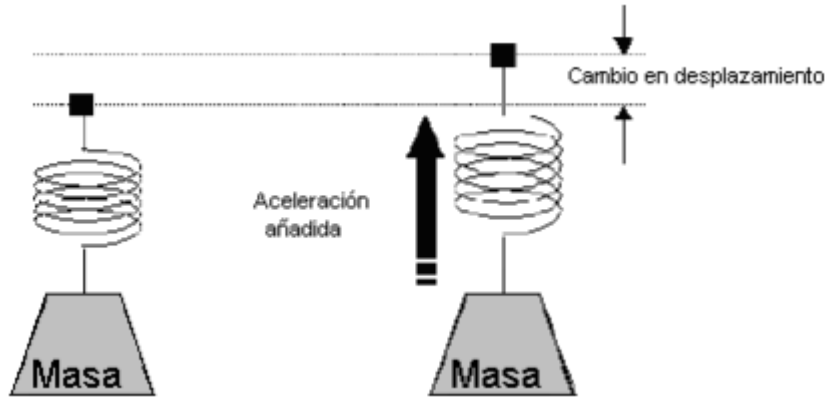


Figura 5 Principio de la Aceleración
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

Si la masa se desplaza una distancia x , la aceleración debida a la fuerza resultante del resorte es:

$$F = k \cdot x. \quad \text{Ecuación (2)}$$

Sustituyendo en la ecuación 1, encontramos lo siguiente:

$a = \frac{k \cdot x}{m}$ y podemos derivar la magnitud de la aceleración para obtener el desplazamiento x de la masa fija.

Este principio fundamental se utiliza hasta en el más sofisticado y caro acelerómetro electromecánico. Estos no son los únicos tipos de acelerómetros que existen, pero sí son los primeros que se utilizaron, ya que su origen fue principalmente para el uso industrial.

Tipos de Acelerómetros:

En la actualidad existen diferentes tipos de acelerómetros dependiendo de su uso y del método que utilizan para obtener la aceleración, entre ellos podemos destacar a los acelerómetros Mecánicos, Piezoeléctricos, Pizoresistivos, Capacitivos, Térmicos y por último los Micromecánicos (MEMS) que son los que se utilizarán en el proyecto.

Acelerómetro mecánico:

Están representados por una masa inerte y resortes elásticos. Las variaciones se miden con una matriz de bobinas o cables muy finos que van variando su resistividad de forma lineal según la fuerza que se les aplique. Incluyen sistemas de amortiguación que reducen la oscilación. Estos dispositivos son muy utilizados en la industria automotriz entre otras.

Acelerómetro piezoeléctrico:

Estos acelerómetros se basan en el principio de funcionamiento de los cristales piezoeléctricos que al sufrir una deformación física en el cristal, varía su estructura cristalina y por ende modifica sus características eléctricas produciendo una corriente y en base al análisis de la misma se puede obtener la variación de aceleración. Los principales materiales utilizados son el cristal de cuarzo y la sal.

Uno de los inconvenientes principales es la frecuencia máxima de trabajo, que no es muy elevada y la incapacidad de mantener un nivel estable ante una entrada común.

En la siguiente figura (Figura 6) se muestra un diagrama de la estructura del acelerómetro piezoeléctrico.

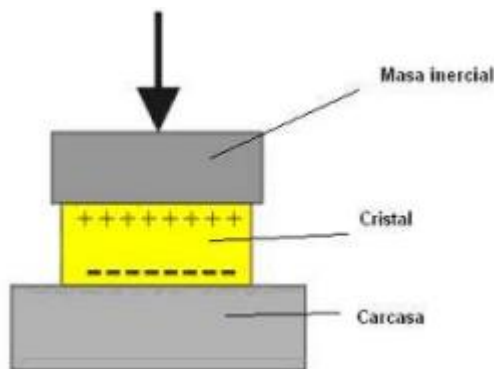


Figura 6 Estructura Piezo-Eléctrico
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

En esta estructura podemos identificar fácilmente el cristal que se encuentra entre la carcasa (objeto al que se le quiere medir la aceleración) y una masa inercial. Cuando ocurra una aceleración, la masa inercial ejercerá una fuerza sobre el cristal ejerciendo una deformación en el mismo y produciendo una corriente que luego se traducirá en un valor de aceleración.

Este modelo se adapta a dos salidas ya sean los acelerómetros de corriente que devuelven una corriente o los acelerómetros de voltaje que devuelven un valor de tensión a la salida, pero el principio de funcionamiento es el mismo para los dos.

Acelerómetros piezoresistivos:

Este acelerómetro utiliza un sustrato en vez de un cristal como el pizo-eléctrico. En esta tecnología las fuerzas que se ejercen sobre el sustrato varían su resistencia, la misma forma parte de un puente de whetstone donde se obtiene la corriente para luego calcular la aceleración. Esta tecnología tiene como ventaja que puede medir hasta cero Hz de frecuencia.

A continuación, se muestra un esquema del piezoresistivo.

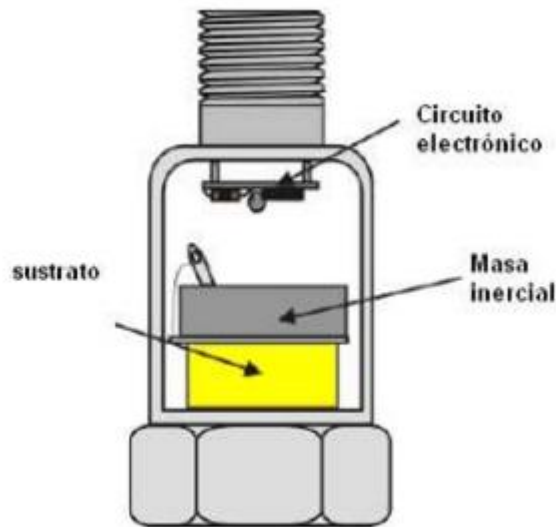


Figura 7 Acelerómetro Piezo-resistivo
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

Acelerómetros capacitivos:

El principio de funcionamiento de este tipo de acelerómetro es que al variar la aceleración, varían la capacidad entre dos conductores en los que se encuentra un dieléctrico. Modifica las placas de un micro capacitor cuando está sometido a aceleración y el movimiento de una de las placas hace variar la capacidad y con este parámetro se obtiene la variación de aceleración.

Con estos sensores capacitivos se realizan circuitos integrados de silicio que luego se utilizan para medir la aceleración. De esta manera y al estar encapsulados, están más protegidos a la variación de temperatura, humedad, capacidades parásitas, alta impedancia, etc.

En la Figura 8 se puede observar un esquema del acelerómetro cuando está en reposo y cuando se le aplica una aceleración.

Si observamos el sensor capacitivo podemos ver que se parece a una ‘‘H’’. La misma se encuentra sujeta al sustrato que permanece fijo. Los demás elementos están libres para moverse, estos elementos están formados por filamentos finos, con una masa central y cada una actúa como si fueran las placas de un capacitor de placas paralelas. La variación de la aceleración hace que la

masa central se desplace provocando que se muevan estas plaquitas diminutas y varíen la capacidad del capacitor de placas paralelas. Esta variación de capacidad se detecta y se procesa para dar como resultado un voltaje de salida.

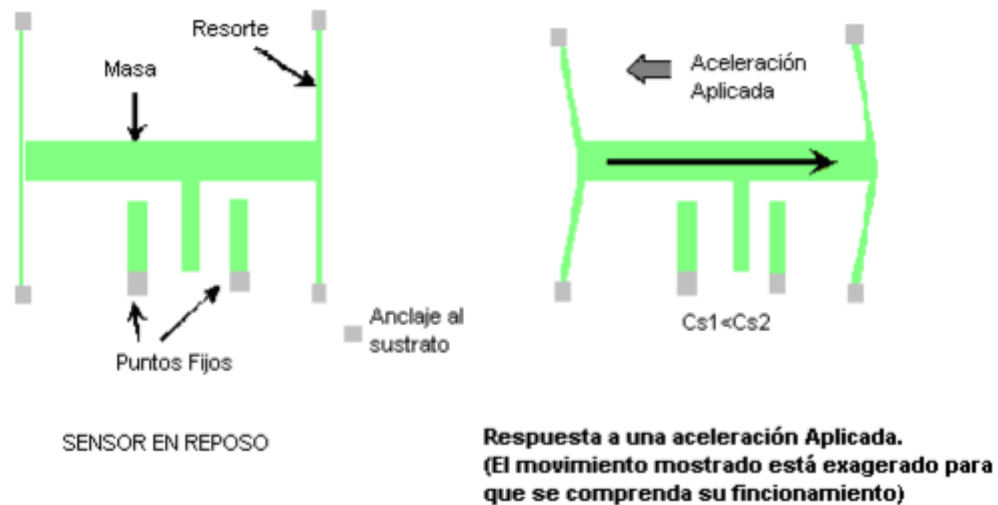


Figura 8 Acelerómetro Capacitivo
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

El sensor trabaja con un lazo de control eléctrico de fuerza/balanceo. Este lazo evita el movimiento de la masa cuando se encuentra en aceleración por una fuerza opuesta derivada de una tensión aplicada en las placas del capacitor. Este voltaje aplicado es directamente proporcional a la aceleración que se le produce al sensor y provoca el movimiento de las placas.

Acelerómetros térmicos:

Este tipo de sensores están basados en la convección termal. Poseen un diseño de tecnologías MENS muy simple y práctico, utilizan un sustrato de silicio que se le hace un hueco y se coloca una resistencia que va a trabajar de calentador, con dos termopares (un dispositivo formado por dos placas que produce voltaje al variar la temperatura) en los extremos. De esta manera se produce una burbuja de aire caliente que queda perfectamente sellada en la cavidad.

La principal característica de este tipo de sensor es que tiene una burbuja móvil que se encuentra atrapada en la cavidad y cuando una fuerza externa provoca un movimiento, una vibración o inclinación, la misma se mueve provocando un voltaje que es proporcional a la aceleración.

En la siguiente figura se muestra un esquema del acelerómetro donde se pueden observar cómo está conformado el mismo.



Figura 9 Acelerómetro Térmico
 Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

El principio de funcionamiento consiste en poder detectar la variación de la burbuja de aire caliente que se encuentra en la cavidad de aire. Debido a que la burbuja posee un gradiente de temperatura y la densidad del aire caliente es diferente al del aire frío, esto provoca una detección de diferencia de temperatura en los termopares que provocan un voltaje a la salida. Al procesar este voltaje se puede obtener el movimiento, aceleración o vibración.

En la Figura 10 se puede observar el sensor en reposo y el mismo sensor aplicándole una fuerza que provoca el movimiento. Claramente se puede observar el desplazamiento de la burbuja de aire caliente que será detectada por el termopar y provocará un voltaje a la salida.

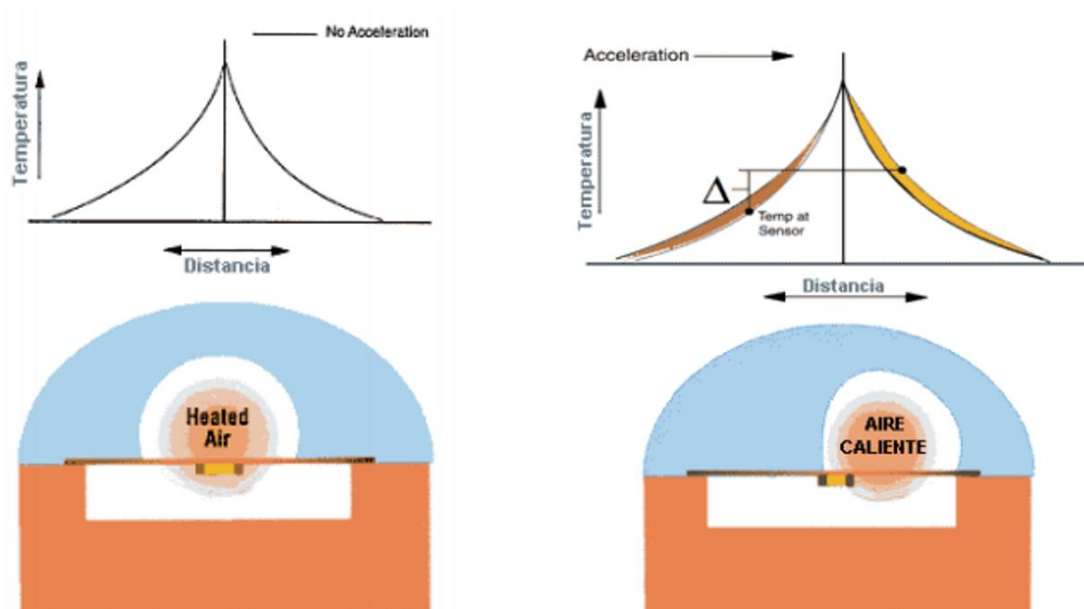


Figura 10 Acelerómetro Térmico en Reposo y en Movimiento
 Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

Acelerómetros Micromecánicos (MEMS):

Los acelerómetros MEMS por sus siglas en inglés (Micro Electro Mechanical Systems) son microsistemas electromecánicos diminutos que se utilizan para crear sensores a muy bajo nivel. Estamos hablando de sensores de nanotecnología su tamaño ronda unos pocos nanómetros y pueden llegar al milímetro. Gracias al avance de la tecnología y la fabricación a gran escala podemos encontrar estos dispositivos a muy bajo costo y en diferentes encapsulados según su utilización.

Según la tecnología aplicada para su fabricación se pueden distinguir tres principales categorías de acelerómetros MEMS: El **piezoresistivo**, **capacitivos de silicio** y **térmicos**.

La fabricación de estos acelerómetros se realiza utilizando tecnología de semiconductores muy complejas donde cada proceso es controlado por varios parámetros como pueden ser la temperatura, presión y composición química. Al trabajar a tan bajo nivel, cualquier de estos parámetros puede afectar la fabricación del chip y provocar que el producto final no cumpla con las especificaciones de fabricación.

Los métodos de fabricación que se utilizan para el diseño de este tipo de acelerómetros son:

- Micromaquinado de silicio de cuerpo.
- Micromecanizado de silicio Superficial.
- Micromecanizado de silicio en volumen.
- Fotolitograma.
- Moldeado de Plástico. (LIGA)
- Mecanizado por Electro Descarga. (EDM)
- Proceso general de fabricación de MEMS.

En la siguiente figura se muestra un esquema de los acelerómetros MEMS Capacitivos de silicio.

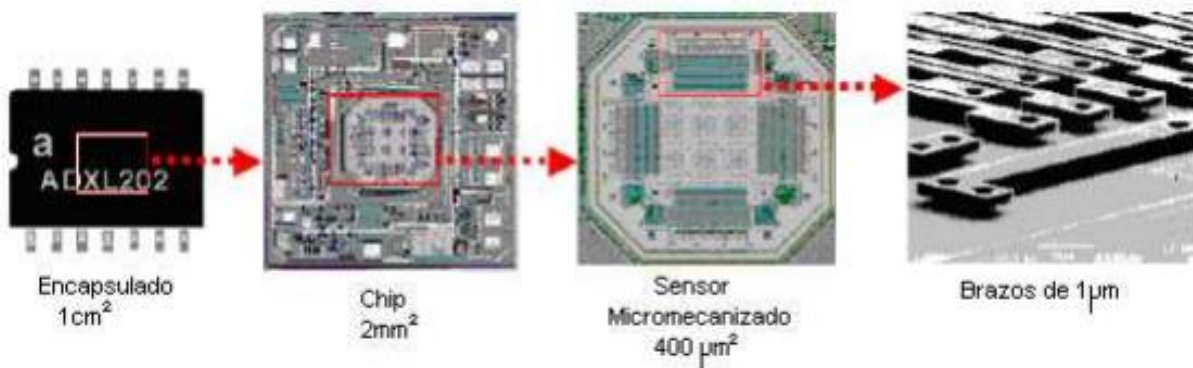


Figura 11 MEMS Capacitivo de Silicio
 Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

En la figura 12 se muestra un esquema de los acelerómetros térmicos MEMs.

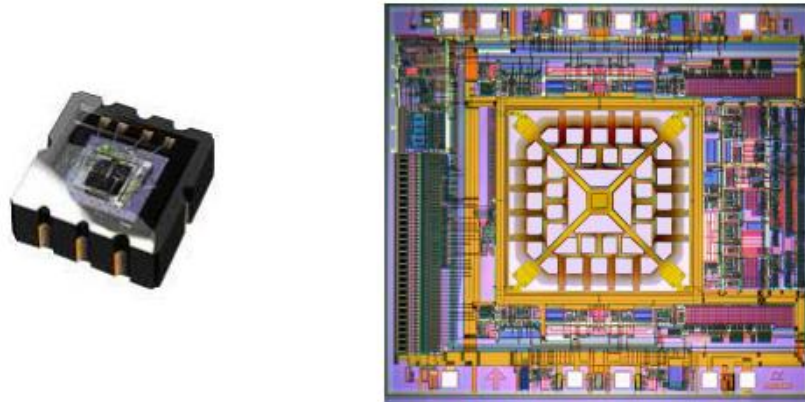


Figura 12 MEMs Térmicos MEMs Térmicos MEMs
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

En la figura 13 se muestran los acelerómetros piezoresistivos que son muy utilizado en acelerómetros de tres ejes (x, y, z).

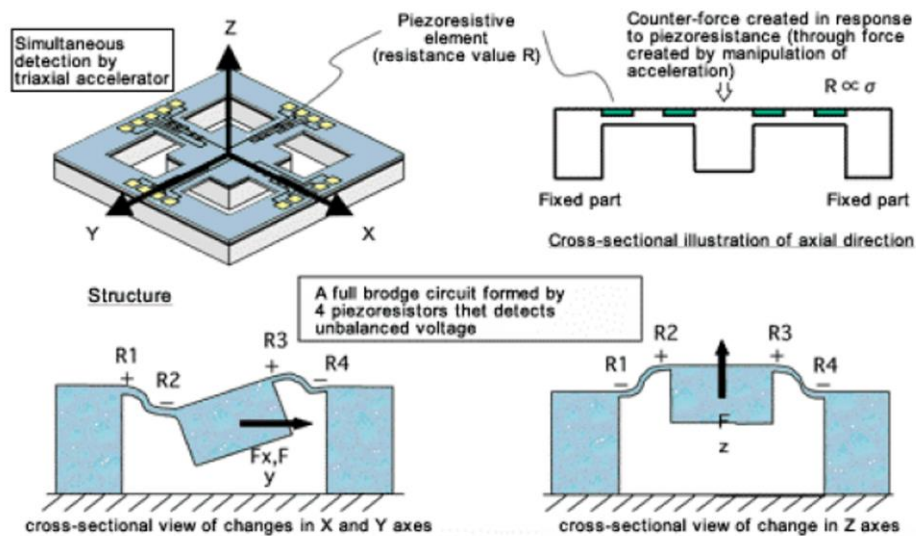


Figura 13 Acelerómetro Piezo-eléctrico Hitachi
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

Teniendo en cuenta el estudio de los acelerómetros y las diferentes tecnologías, para el proyecto se utilizará un dispositivo MEMS Piezoresistivo.

Giroscopios:

El giroscopio es un dispositivo electrónico que mide la velocidad angular basándose en el principio de conservación del momento angular.

Para poder entender cómo funcionan estos dispositivos primero tenemos que analizar diferentes conceptos físicos como la velocidad angular, momento angular y momento inercial.

Si la trayectoria de un objeto es una curva, se puede definir a la velocidad como un vector tangente a la curva en ese punto. Esta velocidad lineal se define como el cociente entre la distancia recorrida y el tiempo empleado.

$$V = \frac{AB}{t} \quad \text{Velocidad Lineal}$$

Donde V es el vector de la velocidad que tiene la dirección del segmento AB que es tangente a la trayectoria.

La velocidad angular se describe con la siguiente ecuación que relaciona el ángulo de giro sobre el tiempo para realizar ese giro.

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad \text{Velocidad angular}$$

Teniendo en cuenta que ω es un vector, el módulo va a ser el valor escalar de la velocidad y como dirección la del eje de rotación.

Se puede probar que el movimiento circular uniforme relaciona la velocidad lineal y la velocidad angular mediante su radio como se ve en la siguiente ecuación.

$$V = r \cdot \omega$$

Si se ejerce una fuerza sobre un cuerpo rígido y se modifica su movimiento de rotación, esto provoca una fuerza que llamaremos Torque o Momento Angular.

En la figura 14 se puede observar un diagrama donde se describe la fuerza que actúa sobre un punto A de radio r donde podemos ver que la misma se descompone en una fuerza tangente a la trayectoria y otra perpendicular, Ft y Fn respectivamente.

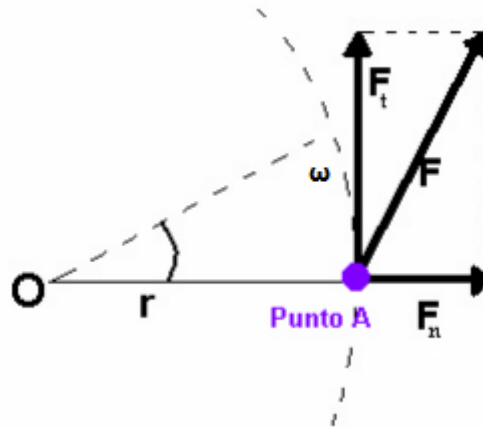


Figura 14 Momento angular
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

El momento está directamente relacionado a la fuerza que se le aplica en ese punto y al radio de la curva como se puede ver en la ecuación. Teniendo en cuenta esto podemos ver que la única fuerza que actúa para generar el momento es la Ft, de esta manera queda conformada la ecuación del momento.

$$M = r \cdot Ft \quad \text{Momento angular}$$

Como el momento es un vector también tendrá dirección y sentido, que en este caso la dirección será paralela al eje y su sentido estará regido por la regla de la mano derecha o de Maxwell.

Si tenemos en cuenta que la fuerza es $F=m \cdot a$ podemos reescribir el momento de la siguiente manera.

$$M = r \cdot m \cdot a \quad \text{Momento angular}$$

Donde m = masa, a es la aceleración y r es el radio.

Como $a = \frac{dv}{dt}$, ahora la aceleración angular se traduce a $a = r \cdot \frac{d\omega}{dt}$ y por lo tanto $a = r \cdot \alpha$, de esta manera reescribimos nuevamente el momento.

$$M = r^2 \cdot m \cdot \alpha \quad \text{Momento angular}$$

Otra forma de escribir al momento angular es en función del momento de inercia que es la resistencia que opone un cuerpo al sufrir aceleración angular y se representa de la siguiente manera.

$$I = \sum m \cdot r^2 \quad \text{Momento de inercia}$$

$$M = I \cdot \alpha \quad \text{Momento angular}$$

Si multiplicamos m.a.m. por dt a la última ecuación obtenemos lo siguiente:

$$M \cdot dt = I \cdot a \cdot dt = I d\omega = d(I\omega) = dH$$

Donde M.dt es el impulso elemental de rotación y H=Iω es el momento cinético.

Por lo tanto podemos expresar al momento de la siguiente manera:

$$M = \frac{dH}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt}$$

Si M=0 podemos ver que el momento resultante de las fuerzas aplicadas es nulo, el momento cinético permanece constante.

Principio de funcionamiento:

El principio de funcionamiento de un giroscopio se basa en las Fuerzas de Coriolis que es el efecto que ocurre en un cuerpo que se encuentra en movimiento con respecto a un sistema de referencia en rotación. Dicho efecto crea una aceleración del cuerpo que se encuentra rotando en el eje del sistema y esta aceleración es siempre perpendicular al eje de rotación y a la velocidad del cuerpo que se mueve. Al crearse esta aceleración se produce una fuerza inercial o ficticia que llamaremos Coriolis. Lo que vemos es que un cuerpo que gira sobre el radio de un disco tiende a acelerarse. Al tener una aceleración y una masa se crea una fuerza que en realidad no existe sino que es producto de que el sistema de referencia está girando.

La fuerza de Coriolis no es la fuerza centrífuga sino que es una fuerza que va siempre perpendicular al eje de rotación y a la dirección en la que se desplaza el cuerpo. Esta fuerza tiene dos componentes, una radial y otra tangencial al movimiento del cuerpo.

Esta fuerza se describe con la siguiente ecuación:

$$F_c = -2m(\omega \times v)$$

Dónde:

- m es la masa del cuerpo en rotación.
- ω es la velocidad angular medida desde un sistema de referencia inercial.
- v es la velocidad del cuerpo.
- x indica el producto vectorial

En la Figura 15 podemos observar cómo se desplaza un cuerpo por efecto de la fuerza coriolis.

Vemos que al rotar el sistema de referencia el cuerpo (azul) en vez de hacer la trayectoria OA, hace la trayectoria OB ya que aparecen estas fuerzas que le cambian su recorrido, esto es debido al Efecto Coriolis.

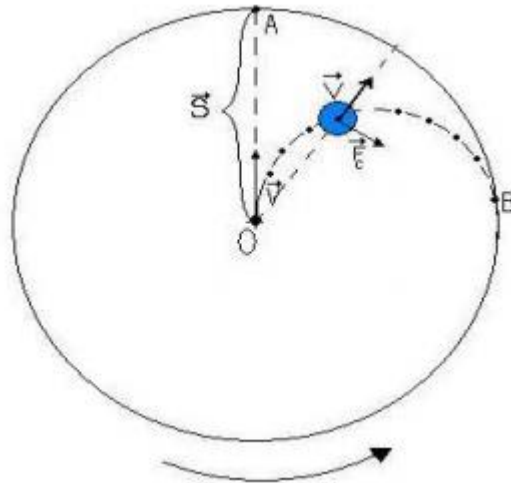


Figura 15 Efecto Coriolis
Fuente: (Reboul José Manuel Quero, 2011)

Existen diversos giroscopios, pero nos vamos a concentrar en los MEMS que ya explicamos anteriormente su tecnología en el punto de los acelerómetros, pero vamos a ver cómo son internamente cuando se utiliza esta tecnología para desarrollar Giroscopios.

El principio de funcionamiento de estos dispositivos como habíamos mencionado anteriormente es el efecto coriolis así que vamos a mostrar en la figura 16 cómo actúa un cuerpo a este efecto.

Vemos que el cuerpo se encuentra en un sistema de referencia de 3 ejes (x, y, z) y que si le aplicamos una fuerza que produce una velocidad sobre el eje x y luego generamos una rotación sobre el eje z como se muestra en rojo, vamos a ver que por el efecto coriolis se genera una fuerza en el eje y que equivale a $F_c = -2m(\omega \times v)$.

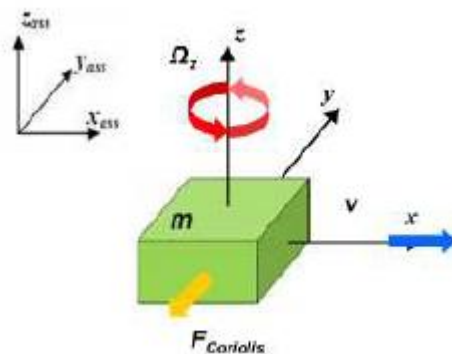


Figura 16 Efecto coriolis de un cuerpo
Fuente 8: (Reboul José Manuel Quero, 2011)

En los giroscopios se utilizan 2 masas en vez de una para poder tener mayor precisión como se ve reflejado en la siguiente figura.

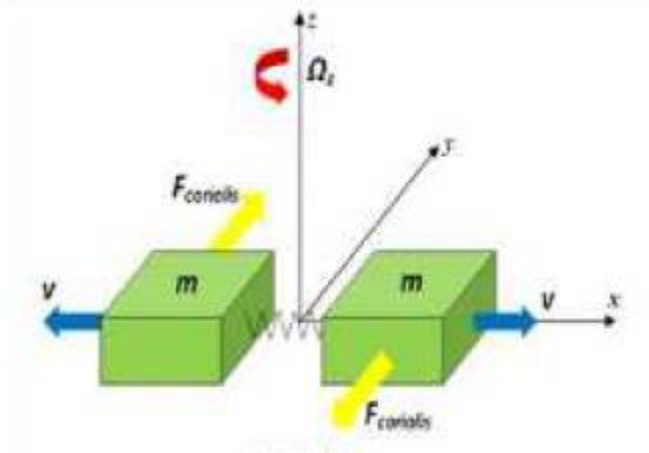


Figura 17 Efecto coriolis con dos masas
Fuente 8 (Reboul José Manuel Quero, 2011)

A diferencia de la figura anterior vemos que al producirse el efecto se puede ver 2 fuerzas de coriolis que dependen de la velocidad y de la rotación.

En la actualidad, en la fabricación de circuitos impresos se utilizan unas varillas en forma de H que en el centro tienen un estator que presenta dos barras de conductor muy finas, al momento de generarse el efecto coriolis, el estator gira y hace cambiar su capacitancia que luego se traduce a un voltaje de salida en base a su rotación.

En la figura 18 se puede ver reflejado este efecto.

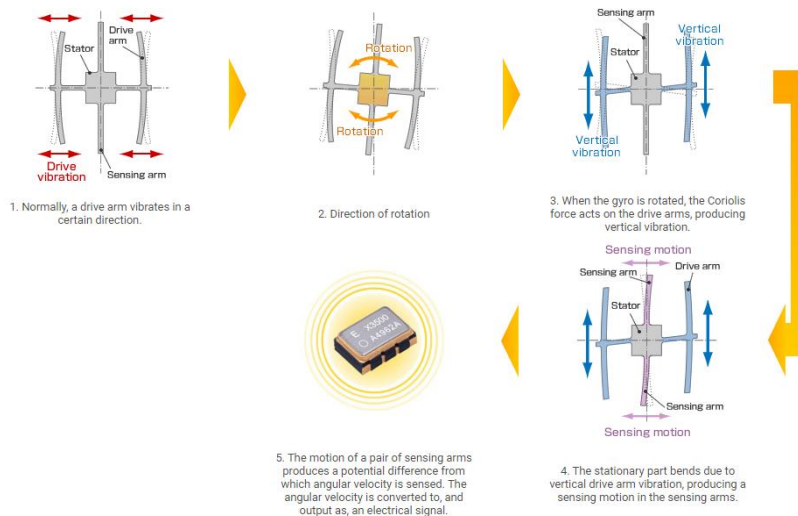


Figura 18 Esquema Giroscopio
Fuente: (EPSON, 2019)

Selección de Sensor de Movimiento:

Para el proyecto vamos a utilizar un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Gracias al avance de la tecnología podemos tener estos dos sensores en un mismo componente.

A continuación, se muestra una tabla con 3 componentes que cumplen con estas especificaciones.

ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO			
Part Number	ICM-20602	MPU-9250	MPU-6050
Precio Unitario (USD)	\$3,70	\$8,31	\$2,20
Categorías	Circuitos integrados	Circuitos integrados	Circuitos integrados
	Sensores de movimiento - IMU	Sensores de movimiento - IMU	Sensores de movimiento - IMU
Fabricante	TDK InvenSense	TDK InvenSense	TDK InvenSense
Empaquetado	Cinta cortada (CT)	Cinta cortada (CT)	Cinta cortada (CT)
Estado de la pieza	Activo	No para diseños nuevos	Activo
Tipo de sensor	Acelerómetro, giroscopio, temperatura, 6 ejes	Acelerómetro, giroscopio, 3 ejes	Acelerómetro, giroscopio, 3 ejes
Tipo de salida	I ² C, SPI	I ² C	I ² C, SPI
Tolerancia a los golpes	20,000g	10,000g	10,000g
Temperatura de operación	-40°C ~ 85°C (TA)	-40°C ~ 85°C (TA)	-40°C ~ 85°C (TA)
Tipo de montaje	Montaje en superficie	Montaje en superficie	Montaje en superficie

Tabla II Acelerómetros y Giroscopios

En relación con los costos y prestaciones el sensor de movimiento que utilizaremos es el **MPU-6050** que se puede conseguir fácilmente a nivel local y puede comprarse con una placa de desarrollo que facilita el desarrollo del hardware. Este último dato es muy importante para poder desarrollar un prototipo que sea fácil de soldar para facilitar el trabajo del servicio técnico.

Sensor MPU-6050:

Descripción:

El sensor MPU-6050 pertenece a la familia de sensores Inven Senses del tipo MEMS y es un dispositivo electrónico que combina un acelerómetro de 3 ejes (x, y, z) y un giroscopio de 3 ejes. Todo esto en un chip que mide unos 4mm x 4mm x 0.9mm con un encapsulado QFN de 24 pines.

Características especiales:

GIROSCOPIO:

El giroscopio MEMS de tres ejes presenta las siguientes características:

- Sensores de velocidad angular de los ejes X, Y y Z de salida digital (giroscopios) con un rango de escala completa programable de ± 250 dps, ± 500 dps, ± 1000 dps y ± 2000 dps.
- Filtro de paso bajo programable digitalmente.
- Operación de giroscopio de baja potencia.
- Corriente de operación de 3.6mA.

- Corriente de Standby 5uA.
- ADC integrado de 16 bits.

ACELERÓMETRO:

El acelerómetro MEMS de tres ejes presenta las siguientes características:

- Acelerómetro de eje X, Y y Z de salida digital con un rango de escala completa programable de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$.
- Interrupciones programables.
- Interrupción de Wake-on-Motion para operación de baja potencia del procesador de aplicaciones.
- Corriente de operación 500uA
- Corriente de modo de acelerómetro de baja potencia: $10\mu A$ a 1,25Hz, $20\mu A$ a 5Hz, $60\mu A$ a 20Hz, $110\mu A$ a 40Hz
- ADC integrado de 16 bits.
- Detección y selección de orientación.

Características adicionales:

El MPU-6050 incluye las siguientes características adicionales:

- MotionFusion de 9 ejes mediante el procesador de movimiento digital (DMP) en chip.
- Bus I2C maestro auxiliar para leer datos de sensores externos (por ejemplo, magnetómetro).
- Rango de voltaje de suministro VDD de 2.375V-3.46V.
- Búfer FIFO de 1024 bytes.
- 10,000 g tolerantes a los golpes.
- 400 kHz Fast Mode I2C para comunicarse con todos los registros.
- Interfaz serie SPI de 10 MHz para comunicarse con todos los registros.
- Cumple con RoHS y Green.

Diagrama en Bloque:

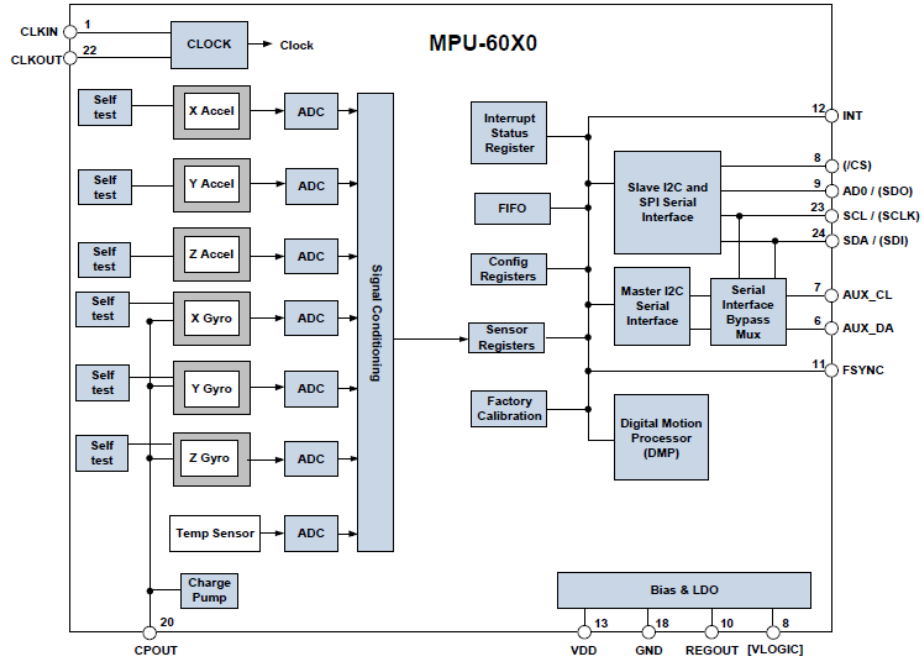


Figura 19 Diagrama en Bloque MPU-6050
Fuente: (InvenSense Inc, 2013)

Pinout:

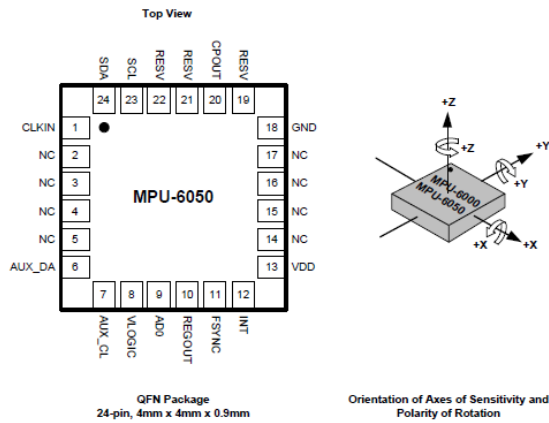


Figura 20 Pinout MPU-6050
(InvenSense Inc, 2013)

7.5.3.2 Microcontrolador:

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo diferentes procesos lógicos. Tiene en su interior entre otras cosas un procesador, memoria, puertos de entrada y salida y tiene la gran ventaja que se puede programar con mucha facilidad.

Una representación típica de un esquema de microcontrolador se puede ver en la siguiente figura donde podemos observar los diferentes bloques básicos que incluyen.

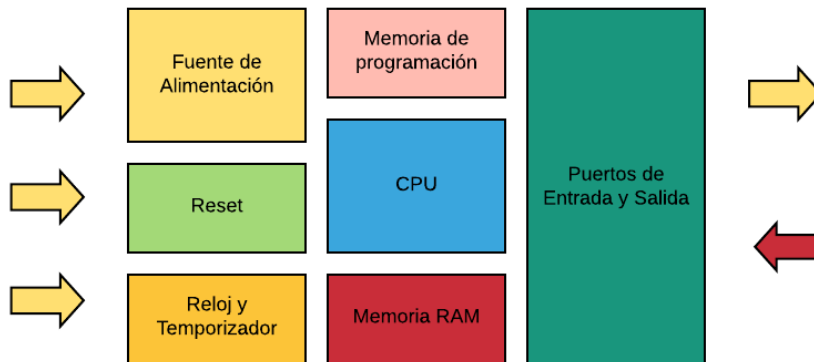


Figura 21 Esquema básico de un microcontrolador

La fabricación de estos dispositivos se lleva a cabo desde los años 80 y uno de los primeros fabricantes fue Intel, poco tiempo después se fueron sumando varios competidores y hoy en día existen diversos fabricantes. En sus comienzos, los chips estaban compuestos por pequeños procesadores, memoria de datos, memoria programable, puerto paralelo, puerto serie y temporizadores/contadores. En la actualidad gracias a los avances tecnológicos y a las mejoras en las técnicas de fabricación, se pueden conseguir Microcontroladores embebidos que van desde los 2U\$D a las 40U\$D según sus prestaciones. A continuación, se detallarán los tipos de micros que se pueden conseguir y en qué se diferencian.

Tipos de Microcontroladores

En la actualidad existen diferentes tipos y se pueden diferenciar de la siguiente manera: por el tamaño de los datos, por la arquitectura del microcontrolador, por la arquitectura del CPU, por el tipo de memoria programable y por sus recursos especiales.

Por el tamaño de los Datos:

En base al tamaño de los datos que puede procesar el micro, se pueden distinguir los siguientes modelos:

- Microcontroladores de 4 bits.
- Microcontroladores de 8 bits.
- Microcontroladores de 16 bits.
- Microcontroladores de 32 bits.
- Microcontroladores de 64 bits.

La elección del mismo depende directamente del tipo de implementación ya que al mayor tamaño de datos mayor será el costo y la complejidad de la programación.

Por la arquitectura del microcontrolador:

- Arquitectura Von Neumann:

Es la arquitectura tradicional de computadora y microcontrolador, está formada por una única memoria que contiene los datos y las instrucciones. Esta memoria está conectada a la unidad central de procesamiento (CPU) por medio de un único bus de datos e instrucciones como se ve en la siguiente figura.

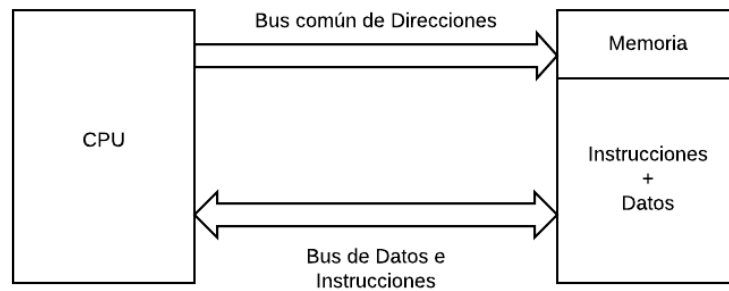


Figura 22 Arquitectura Von Neumann

El ancho del bus que comunica la memoria con la CPU define el tamaño de los datos. De esta manera, un micro de 8 bits con un bus de 8 bits (1 bytes) tiene que manejar datos de 1 o más bytes. En el caso de tener que manejar datos mayores a un bytes, en esta arquitectura el micro tendrá que acceder más de una vez a la memoria y no podrá realizar otra instrucción hasta que no finalice la que está haciendo.

Por este motivo es que este tipo de arquitectura ya no se utiliza en los microcontroladores actualmente.

- **Arquitectura Harvard:**

En este caso, la CPU está conectada a dos memorias (una con los datos y otra con las instrucciones) mediante dos buses diferentes e independientes. Una de las memorias contiene solamente los datos y la otra contiene las instrucciones como se puede ver en la siguiente figura.

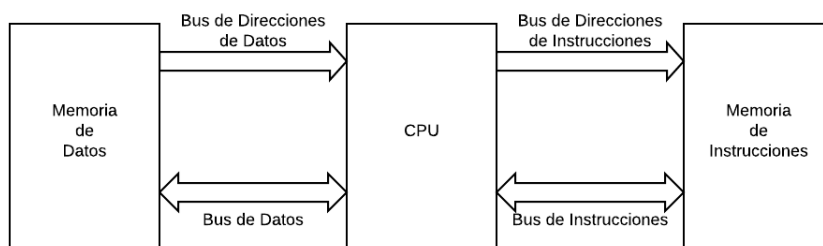


Figura 23 Arquitectura Harvard

De ésta manera, el micro puede estar realizando una instrucción y al mismo momentos estar leyendo otra. Esto permite que el micro sea más veloz y se obtiene una mejora con respecto a la arquitectura anterior.

Por la arquitectura del CPU:

- **Microcontroladores CISC:**

La arquitectura CISC (Computadores de Conjunto de Instrucciones Complejas) tiene un repertorio con más de 80 instrucciones máquina que son muy complejas y necesitan varios ciclos de procesamiento para poder ejecutarse. Esta arquitectura está asociada a la arquitectura Von Neumann.

- **Microcontroladores RISC:**

La arquitectura RISC (Computadores de Conjunto de Instrucciones Reducidas) es la que se utiliza hoy en día en la fabricación de computadoras y Microcontroladores. En este tipo de procesadores, las instrucciones son muy reducidas y simples, lo que permite que se ejecuten en un ciclo y esto hace que el hardware y el software asociado se puedan optimizar. Esta arquitectura está asociada a la arquitectura Harvard.

Por el tipo de memoria de programa:

La memoria de instrucciones y datos se encuentra formada por dos tipos de memorias, la volátil que es aquella que se utiliza para almacenar las variables y los datos y es del tipo RAM y por otro lado tenemos la no volátil que se utiliza para almacenar el conjunto de instrucciones que contiene el programa a implementar.

Para las memorias no volátiles podemos encontrar cuatro tipos:

- Memoria ROM

La memoria ROM es de solo lectura y solo se graba en la fabricación del chip.

- Memoria EPROM

La memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) es aquella que se puede programar y borrar muchas veces. Para programar se utiliza un programador conectado a la PC y en el caso de querer borrarlo, en la parte superior del chip se encuentra una ventana de cristal que se tiene que someter varios minutos a rayos ultravioleta.

- Memoria EEPROM

La memoria EEPROM (Electrical EEPROM) es aquella que se puede programar y borrar muchas veces de forma eléctrica. Se utiliza un programador que se conecta a la PC y de esta manera se puede programar y borrar.

- Memoria Flash

La memoria Flash es de bajo consumo y se puede escribir y borrar de forma eléctrica.

Por sus recursos especiales:

Existen diversos recursos especiales que puede tener un microcontrolador y en muchos casos son fundamentales a la hora de seleccionar un microcontrolador. A continuación se muestran algunos:

- Temporizador/Contadores (RTC).
- Puertos Digitales de entrada y salida.
- Perro Guardián "Watchdog".
- Convertidor Analógico Digital (CAD).
- Convertidor Digital Analógico (CDA).
- Puertos de comunicación (UART, USB, I2C, etc).
- Interface Ethernet.
- Controladores de LCD.
- Modulador de Ancho de Pulso.
- Estado de reposo de bajo consumo.

Selección de Microcontrolador:

En base a los costos y prestaciones se utilizará el módulo ESP32 ya que es el único que tiene WIFI integrado, cuenta con un procesador de doble núcleo, una frecuencia máxima de 240 MHz, trabaja a muy baja potencia y viene en varias placas de desarrollo que facilitan mucho la programación y su conexión con sensores externos. Para este proyecto se utilizará el ESP32 en la placa de desarrollo **DFR0478** del fabricante DFRobot que se detalla a continuación.

MICROCONTROLADOR			
Part Number	ATSAMD21E17	TM4C123	ESP32
Precio Unitario (USD)	\$2,27	\$10,64	\$3,80
Categorías	Circuitos integrados	Circuitos integrados	Módulos y módems transceptores de RF
Fabricante	Microchip Technology	Texas Instruments	Espressif Systems
Procesador de núcleo	ARM® Cortex®-M0+	ARM® Cortex®-M4F	Procesador de doble núcleo Tensilica LX6 (uno para conexión de alta velocidad; uno para programación independiente)
Tamaño de núcleo	32-bits	32-bits	32-bits
Velocidad	48MHz	80MHz	240MHz
Conectividad	PC, LINbus, SPI, UART/USART, USB	CANbus, PC, IrDA, Microwire, QEI, SPI, SSI, UART/USART, USB OTG	Bluetooth, WFI, PC, PS, SPI, SSI, UART/USART, USB OTG,
Periféricos	Detección de pérdida de brillo por bajo voltaje/restablecimiento, DMA, PS, POR, PWM, WDT	Detección/ajuste de oscurecimiento parcial, DMA, PWM de movimiento, POR, WDT	(GPIO), (ADC), Sensor Hall, (DAC), Sensor táctil, Coprocesador de consumo ultrabajo, Interfaz Ethernet MAC, Controlador de host SD / SDIO / MMC, Controlador esclavo SDIO / SPI, Mando a distancia por infrarrojos, PWM, LED PWM
Capacidad de memoria de programa	128KB (128K x 8)	256KB (256K x 8)	448KB de ROM, 520 KB de SRAM, 8 KB de SRAM en RTC y hasta 16MB en memoria flash externa.
Tipo de memoria de programa	Memoria flash	Memoria flash	Memoria flash
Alimentación de voltaje (Vcc/Vdd)	1.62V ~ 3.6V	1.08V ~ 3.63V	3.3V ~ 5V
Consumo de baja potencia	30mA	25mA	10uA
Temperatura de operación	-40°C ~ 85°C (TA)	-40°C ~ 85°C (TA)	-40°C ~ 85°C (TA)

Tabla III Selección de Microcontroladores

Módulo ESP32 (Placa DFR0478):

Introducción:

Para seleccionar el módulo ESP32 lo que se realizó en primera medida fue buscar un chip que tenga conexión a WIFI integrado ya que sería una de las principales funciones a utilizar para la transmisión de datos. En segundo lugar, lo que se buscó es un chip que sea compatible con algún software de libre acceso para no tener que recurrir a gastos extras en el proyecto. Por último y no menos importante es utilizar una placa de desarrollo que venga con el chip integrado para facilitar las conexiones externas y que sea de bajo consumo para poder darle mayor autonomía a la hora de alimentarlo con una batería.

Descripción:

La placa **DFR0478** de FireBeetle es un módulo desarrollado específicamente para realizar aplicaciones de IOT (Internet de las cosas) que cuenta con el chip ESP32 integrado, un circuito para poder programar y realizar el debug mediante una conexión por micro USB, conexión a los diferentes GPIO mediante pines, un circuito de alimentación compatibles con baterías de 3.7V, un circuito de carga de batería mediante USB y la posibilidad de programar el chip en 3 diferentes modos de bajo consumo.

Sus principales características son las siguientes:

- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Voltaje de entrada: 3.3V ~ 5V
- Soporta corriente eléctrica de bajo consumo energético: 10 μ A
- Soporta corriente de descarga máxima: 600mA
- Soporta corriente de carga máxima: 500mA
- Admite carga USB.
- Procesador: procesador de doble núcleo Tensilica LX6 (uno para conexión de alta velocidad; uno para programación independiente).
- Frecuencia: 240 MHz
- SRAM: 520 KB
- Flash: 16 Mbit
- Estándar de Wi-Fi: FCC / CE / TELEC / KCC
- Protocolo Wi-Fi: 802.11 b / g / n / d / e / I / k / r (802.11n, la alta velocidad puede llegar a 150 Mbps), convergen A-MPDU y A-MSDU, soportando un intervalo de protección de 0.4us.
- Rango de frecuencia: 2,4 ~ 2,5 GHz
- Protocolo Bluetooth: cumple con el estándar BR / EDR / BLE de Bluetooth v4.2.
- Audio Bluetooth: la corriente con bajo consumo de energía de CVSD y SBC es 10 μ A
- Corriente de trabajo: 80 mA en promedio
- Rango de frecuencia: 2,4 ~ 2,5 GHz
- Soporta micro python.
- Reloj en chip: cristal de 40MHz y cristal de 32.768 KHz.
- E / S digital: 10 (configuración predeterminada de arduino)
- Entrada de simulación: 5 (configuración predeterminada de arduino)
- SPI: 1 (configuración predeterminada de arduino)
- I2C: 1 (configuración predeterminada de arduino)
- I2S: 1 (configuración predeterminada de arduino)
- Temperatura de trabajo: -40 °C ~ + 85 °C
- Dimensión: 24 × 53 (mm) /0,94 x 2,09 (pulgadas)

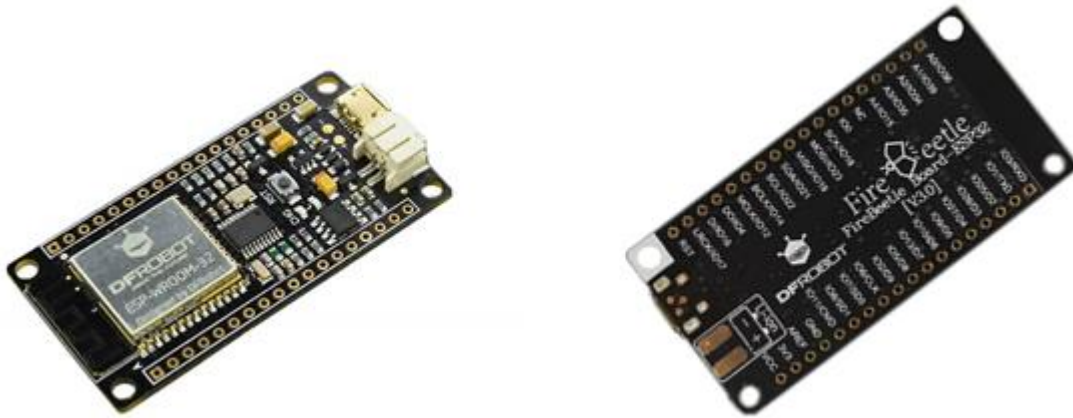


Figura 24 Placa de Desarrollo FireBeetle
Fuente: (DFRobot, 2021)

Pinout:

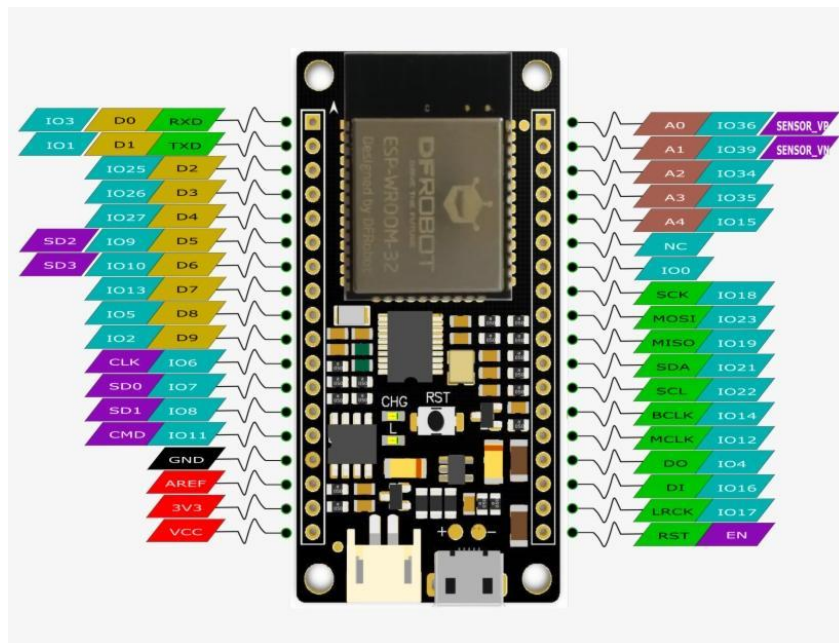


Figura 25 PinOut FireBeetle
Fuente: (DFRobot, 2021)

7.5.3.3 Sistema de Navegación por Satélite

Introducción:

Un Sistema de Navegación por Satélite denominado GNSS (Global Navigation Satellite System) en pocas palabras, es un conjunto de satélites que orbitan alrededor de la Tierra a unos 20.000km de altitud y tienen por objetivo permitir la localización en tiempo real de un receptor ubicado en cualquier lugar de la superficie terrestre.

El concepto de GNSS surge en los años 70 con el desarrollo del sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) a manos del departamento de defensa de los Estados Unidos donde sus aplicaciones eran estrictamente militares. En la mitad de los años noventa, esta tecnología se empieza a utilizar en aplicaciones con fines civiles y es donde surgen diversos problemas a la hora de utilizar un sistema de navegación que dependa solamente de un país, es por eso que se desarrollaron nuevos sistemas con fines civiles. Hoy en día GNSS está conformado por el GPS (EEUU), Galileo (Europa), GLONASS (Rusia), COMPASS (China), IRNSS (India), QZSS (Japón) entre otros.

Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos distintos: un segmento espacial, un segmento de control, un segmento de usuarios.

Segmento Espacial: Este segmento está formado por el sistema de satélites de navegación y de comunicación, los primeros son los que orbitan alrededor de la Tierra, ubicándose en distintos planos orbitales, los segundos son los que se denominan sistemas de aumento que se utilizan para corregir errores de posicionamiento.

Segmento de Control: Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Sus funciones son garantizar las prestaciones del sistema mediante monitoreo del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites.

Segmento de Usuario: Este segmento es el que involucra a los receptores GNSS que son los equipos que reciben la señal del Segmento Espacial y calculan su posición en tiempo y espacio. Estos dispositivos cuentan con relojes de alta precisión para estimar la distancia de los satélites y de esa manera poder obtener su posición. En el siguiente punto se explicará esto último en detalle, se dará una breve descripción de los tipos de receptores que existen y se seleccionará el receptor que se utilizará en el proyecto con sus principales características.

Principio de Funcionamiento:

Los satélites emiten señales que son captadas por los receptores, dichos receptores son capaces de estimar tanto la distancia como la posición del satélite y utilizando técnicas de trilateración, puede calcular su propia posición en tiempo y espacio.

El cálculo de la posición depende básicamente de dos parámetros que son la posición del satélite y el reloj del mismo. Dicha información es recogida en la señal enviada por el satélite hasta el receptor, siendo el proceso de cálculo el siguiente:

1. La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides (Conjunto de parámetros orbitales que indican la posición del satélite), parámetros que son transmitidos por los propios satélites.

2. El receptor GNSS mide su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.

3. Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite, y de radio la distancia total hasta el receptor.

4. Son necesarios al menos cuatro satélites para obtener la posición, con tres satélites es posible calcular la posición en tres dimensiones, mientras que el cuarto permite eliminar los errores de sincronismo.

En la siguiente gráfica se puede observar el cálculo de la posición utilizando 4 satélites.

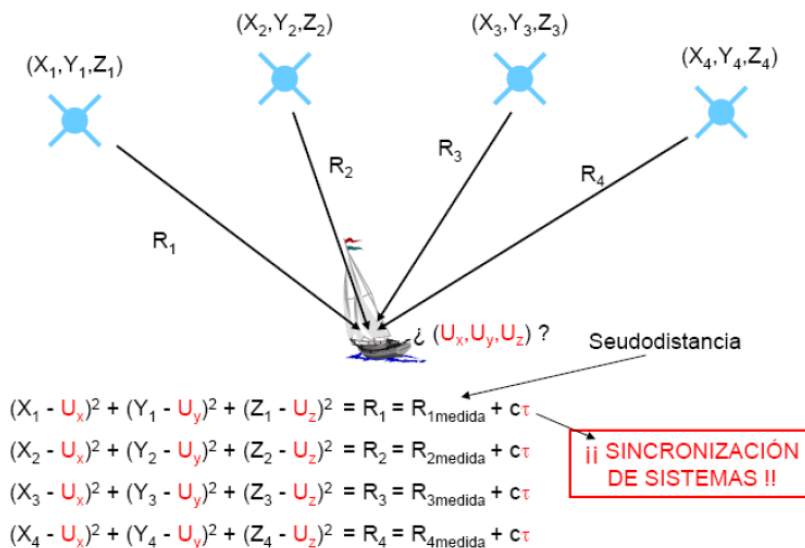


Figura 26 Cálculo de la Posición
Fuente: (Álvarez, 2008)

Selección del Receptor de Sistema de Navegación por Satélite

Módulo BK-SIM7000E:

Introducción:

En este proyecto se va a utilizar el módulo SIM7000E del fabricante AND Technologies Co que viene integrado en una placa de desarrollo con una antena para GPS y otra para LTE (se puede llegar a utilizar para nuevas actualizaciones del proyecto). El principal motivo de utilizar este tipo de módulos es la reducción de los tiempos de diseño y la posibilidad de diseñar un PCB mucho más sencillo y con muchas menos restricciones.

Descripción:

Sus principales características son las siguientes:

- Módulo LTE multibanda que admite LTE CAT-M1 (eMTC) y NB-IoT
- GPRS/EDGE 900/1800MHz
- Control mediante **Comandos AT**. Interfaz UART y USB2.0
- Tensión de alimentación: 5V
- Dimensiones: 37x37x10mm
- GNSS(GPS, GLONASS and BeiDou/Compass, Galileo, QZSS)

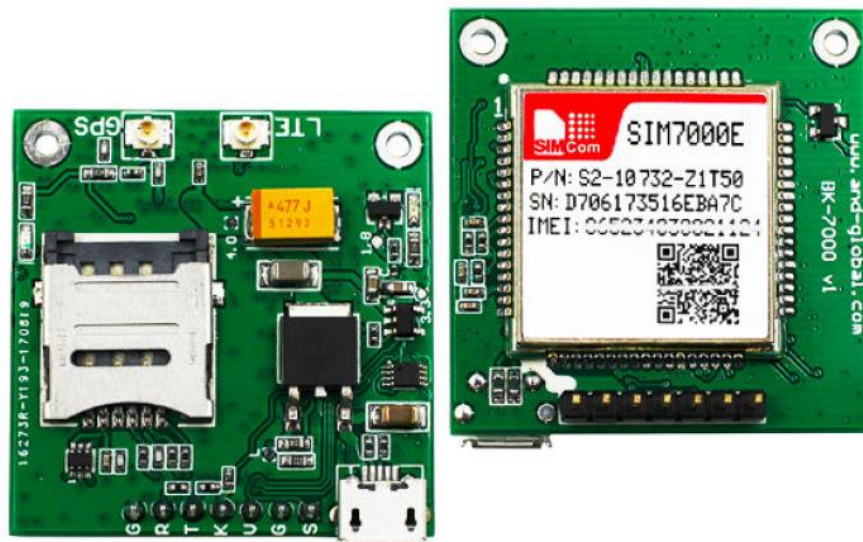


Figura 27 Módulo BK-SIM7000E

Fuente: (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2018)

Pinout:

En la siguiente gráfica se puede observar el pinout del módulo SIM7000E donde se puede apreciar que con solamente 7 pines se puede configurar y utilizar todas las funcionalidades que se mencionaron anteriormente. Este módulo cuenta con 2 pines de GND (G), un pin de transmisión para la interfaz UART (T), un pin de recepción para la interfaz UART (R), un pin de PWRKEY (K), un pin de alimentación VCC (V) y un pin para controlar el modo sleep (S).

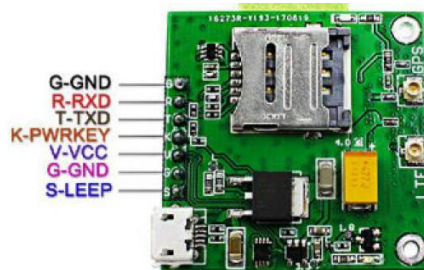


Figura 28 Pinout BK-SIM7000E
 Fuente: (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2018)

Configuración:

Como se mencionó anteriormente, este módulo cuenta con una interfaz de comunicación UART y será la que se utilice para poder configurar y controlar mediante el ESP32. Para poder trabajar en esta interfaz se utilizan los pines R y T y se establece una velocidad de transmisión de 9600 baudios. La comunicación entre los módulos se establece mediante los Comandos AT que se describen a continuación.

Los Comandos AT son una serie de comandos que se desarrollaron para establecer comunicaciones entre un dispositivo y su controlador utilizando una interfaz de comunicación como es UART. Mediante estos comandos se puede tener acceso y control de todos los periféricos del módulo con unas simples líneas de texto.

Para poder utilizar correctamente estos comandos es necesario utilizar un formato de sintaxis determinado que se explica claramente en el manual (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2018)

A continuación, se explican los comandos que se utilizaron en el proyecto:

- AT+CGPSPWR: Este comando se utiliza para encender o apagar la fuente de alimentación para utilizar el GNSS. Con AT+CGPSPWR=0 se apaga la fuente y si se asigna 1 se enciende.

- AT+CGNSTST: Este comando apaga la salida de datos GNSS NMEA por el puerto AT. En el caso de que la salida de datos GNSS NMEA esté activada, el equipo envía por el puerto AT toda la información obtenida de los diferentes satélites.
- AT+CGNSINF: Este es el comando más importante que devuelve como parámetros toda la información del GNSS NMEA y viene configurada de la siguiente manera:
 +CGNSINF: <GNSS run status>, <Fix status>, <UTC date & Time>, <Latitude>, <Longitude>, <MSL Altitude>, <Speed Over Ground>, <Course Over Ground>, <Fix Mode>, <Reserved1>, <HDOP>, <PDOP>, <VDOP>, <Reserved2>, <GNSS Satellites in View>, <GNSS Satellites Used>, <GLONASS Satellites Used>, <Reserved3>, <C/N0 max>, <HPA>, <VPA>

En la siguiente Tabla se describen los principales parámetros que se utilizan en el proyecto.

Parámetro	Unidades	Rango	Tamaño
UTC date & Time	yyyyMMddhhmmss. sss	yyyy: [1980,2039] MM : [1,12] dd: [1,31] hh: [0,23] mm: [0,59] ss.sss:[0.000,60.999]	18
Latitud	±dd.dddddd	[-90.000000,90.000000]	10
Longitud	±ddd.dddddd	[-180.000000,180.000000]	11
Altitud	Metros	--	8

Tabla IV Parámetros GNSS
 Fuente: (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2018)

7.5.3.4 Fuente de Alimentación

Introducción:

Todo dispositivo electrónico portátil tiene asociado una fuente de alimentación que por lo general no responde de forma lineal en todo momento. Este punto es un factor crítico a la hora de diseñar un dispositivo que necesita una fuente lineal para poder alargar su vida útil el mayor tiempo posible. Para solucionar esta problemática se utilizan Reguladores de Tensión que transforman una tensión no lineal en una tensión lineal por más que varíe la entrada o la carga a la salida. A continuación, se dará una descripción básica de los reguladores, su funcionamiento y se seleccionarán los que se van a utilizar en el proyecto.

Descripción:

Una vez obtenida la tensión de alimentación más o menos estable, es necesario contar con un proceso que pueda transmitir la potencia necesaria a la carga sin pérdidas elevadas. Dependiendo de la implementación del circuito, existen diferentes reguladores que se pueden utilizar. Uno son los reguladores lineales y otros son los reguladores conmutados. La principal diferencia entre ellos es que los primeros operan en la zona lineal del transistor y los segundos solo conmutan entre encendido y apagado. Los reguladores lineales llamados LDO (Low-Dropout Regulator) solo pueden obtener una tensión de salida menor a la de la entrada, a diferencia de los conmutados que sí pueden obtener tensiones mayores y menores que la entrada. Otra diferencia es que la señal de salida del regulador lineal es mucho más estable que la conmutada. Por otro lado, los reguladores conmutados necesitan un inductor para transferir la energía que no se incorpora al circuito y en muchos casos no es posible integrar en el chip. Es por eso que para este proyecto se utilizará un regulador Lineal para poder alimentar el microcontrolador y luego se utilizará un regulador conmutado para alimentar al SIM7000E que tiene como entrada 5V.

Principio de Funcionamiento:

Reguladores Lineales LDO:

Los reguladores lineales se pueden clasificar en dos grupos, los de grandes dropout y los de bajo dropout. El dropout viene dado por la mínima diferencia de tensión entre la tensión de salida y la tensión de entrada. Se llaman reguladores LDO a los que la diferencia de tensión es menor a 600mV. En las aplicaciones donde la alimentación de entrada es una batería, normalmente se utilizan los reguladores LDO por su bajo voltaje de dropout.

En la siguiente figura se puede ver el esquema básico de un regulador LDO. Como se puede observar, está formado por un amplificador de error, un transistor de potencia, un divisor resistivo y un capacitor off-chip. El transistor de potencia es el elemento de control, el divisor resistivo es el circuito de muestreo y el capacitor off-chip es un elemento muy importante para estabilizar la salida. La tensión de salida va a estar dada según la siguiente ecuación: $V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$.

Si en algún momento, por ejemplo, la resistencia de salida sube, debido a que la corriente permanece constante, la tensión de salida puede aumentar momentáneamente. Este incremento en la tensión de salida hace que la diferencia de tensión en la entrada del amplificador aumente provocando en su salida una tensión mayor. De este modo, la tensión V_{sg} del transistor de potencia decrece haciendo disminuir la corriente de salida hasta conseguir que V_{out} tenga el mismo valor estable que tenía antes. En el caso que la resistencia de salida disminuya, la tensión de salida se mantiene constante de la misma forma que en el caso anterior, pero en sentido opuesto.

Por otro lado, si se produce una variación en la tensión de alimentación, la tensión de salida también permanece invariable manteniendo siempre la misma proporción con V_{ref} . Si V_{in} aumenta, la corriente de salida también lo hace provocando que V_{out} se incremente. Esta variación implica un aumento en la tensión de salida del amplificador y por lo tanto la corriente de salida que

circula por el transistor de potencia se reduce haciendo que la tensión de salida vuelva a su estado anterior.

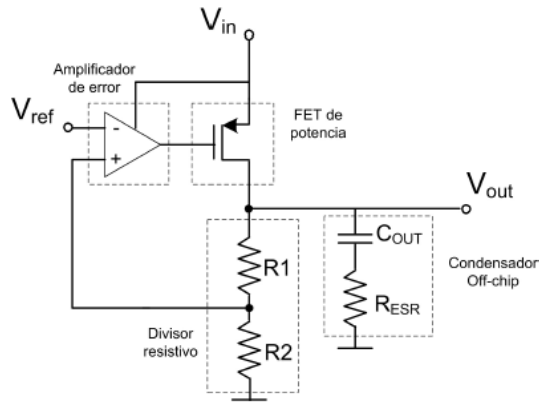


Figura 29 Esquema básico de un regulador LDO
Fuente: (Ka Nang Leung, 2003)

Reguladores Conmutados:

El principio de funcionamiento de este tipo de fuentes conmutadas es lograr mantener una tensión media de salida adecuada por más de que varíe el voltaje de entrada o la carga. Este tipo de convertidores en modo conmutado necesitan de uno o varios interruptores para lograr una tensión de salida controlada a partir de una entrada no controlada. La tensión media de salida adecuada (V_o) se controla mediante los tiempos de encendido y apagado (t_{enc} y t_{apag}) como se puede ver en la figura 30.

El método que se utiliza para poder controlar este tipo de conmutación es mediante una frecuencia constante, esto quiere decir que $T_s = t_{enc} + t_{apag}$. Este método es más conocido como PWM (pulse-width modulation o modulación por ancho de pulso), llamaremos a la relación del interruptor D, que viene definida entre la proporción de la duración de encendido con el período de conmutación.

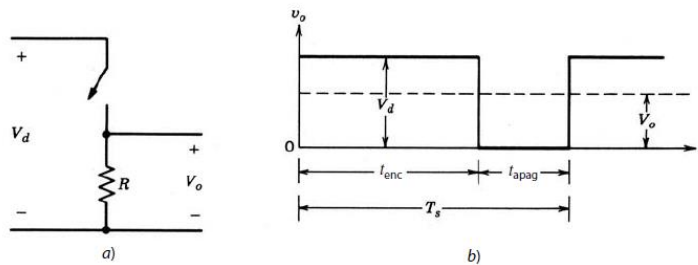


Figura 30 Tiempos de encendido y apagado
Fuente: (MOHAN, 2009)

En un PWM de frecuencia constante, la señal de control del interruptor que maneja el encendido y apagado se genera por medio de la comparación de una onda repetitiva y una señal de control como se puede ver en la figura 31. La señal repetitiva establece la frecuencia de conmutación y se representa en forma de diente de sierra y la señal de control por lo general se obtiene del error amplificado y es la diferencia entre el voltaje de salida real y el que se quiere obtener. La frecuencia de control permanece constante y por lo general está en el orden de algunos KHz y los cientos de KHz.

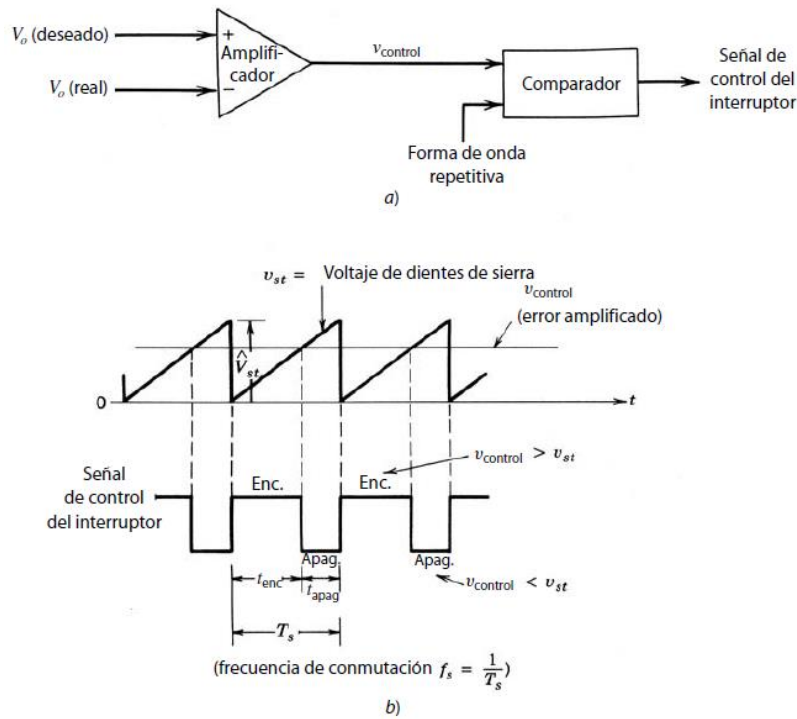


Figura 31 PWM. a) Diagrama en Bloque. b) Representación gráfica PWM.
 Fuente: (MOHAN, 2009)

Cuando la señal del error amplificada es mayor que la del diente de sierra, la señal de control se vuelve alta, lo que hace que el interruptor se encienda, en el caso contrario el interruptor se apaga, este efecto queda representado en la figura 31b.

Ahora podemos expresar al ciclo de trabajo D en función de la tensión de control, de esta manera nos queda la siguiente ecuación:

$$D = \frac{t_{enc}}{T_s} = \frac{v_{control}}{V_{st}}$$

Los principales tipos de convertidores que existen son el reductor (buck), el elevador (boost) y el reductor/elevador (buck-boost) que se analizarán a continuación.

Tipos de Convertidores de CC:

- ***Convertidor Reductor (Buck)***

Un convertidor Buck como su nombre lo indica es aquel convertidor de CC que es capaz de proporcionar una tensión regulada inferior a la tensión de alimentación. Un ejemplo de este tipo de circuito se puede ver representado en la figura 32a donde el divisor resistivo representaría al circuito básico de un convertidor reductor para una carga puramente resistiva y la salida v_0 representaría la salida de tensión regulada. Si suponemos un interruptor ideal, un voltaje de entrada constante V_d se puede observar la respuesta gráficamente en el inciso b) de la figura 32 y se podría representar matemáticamente mediante la siguiente ecuación.

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} V_0(t) dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{enc}} V_d dt + \int_{t_{enc}}^{T_s} 0 dt \right) = \frac{t_{enc}}{T_s} V_d = DV_d$$

Si se reemplaza D en la ecuación anterior,

$$V_0 = \frac{V_d}{V_{st}} V_{control} = kV_{control}$$

Donde

$$k = \frac{V_d}{V_{st}} = constante$$

Ahora bien, teniendo en cuenta que en una aplicación real no vamos a poder contar con componentes ideales, esto quiere decir que la carga no va a ser puramente resistiva y va a tener una componente inductiva, el interruptor no va a ser ideal y que la tensión de salida va a fluctuar debido a la carga inductiva entre cero y V_d . Para poder minimizar esto vamos a hacer algunas modificaciones al circuito anteriormente planteado. En la figura 32a podemos ver el nuevo circuito donde se agregó un diodo en la entrada para proteger la descarga de la energía almacenada en el inductor y un filtro pasa-bajo (que consiste en un inductor y un capacitor) para disminuir las fluctuaciones.

En la figura 32b podemos ver la forma de la onda de la entrada V_{oi} al filtro pasa bajo y también los armónicos en la frecuencia de conmutación f_s y sus múltiplos.

En la figura 32c se representa la respuesta al filtro pasa bajo en una escala logarítmica.

La frecuencia de ángulo f_c de este filtro pasa bajas se selecciona de modo que sea mucho más baja que la frecuencia de conmutación, para eliminar esencialmente la ondulación o rizo de la frecuencia de conmutación en el voltaje de salida.

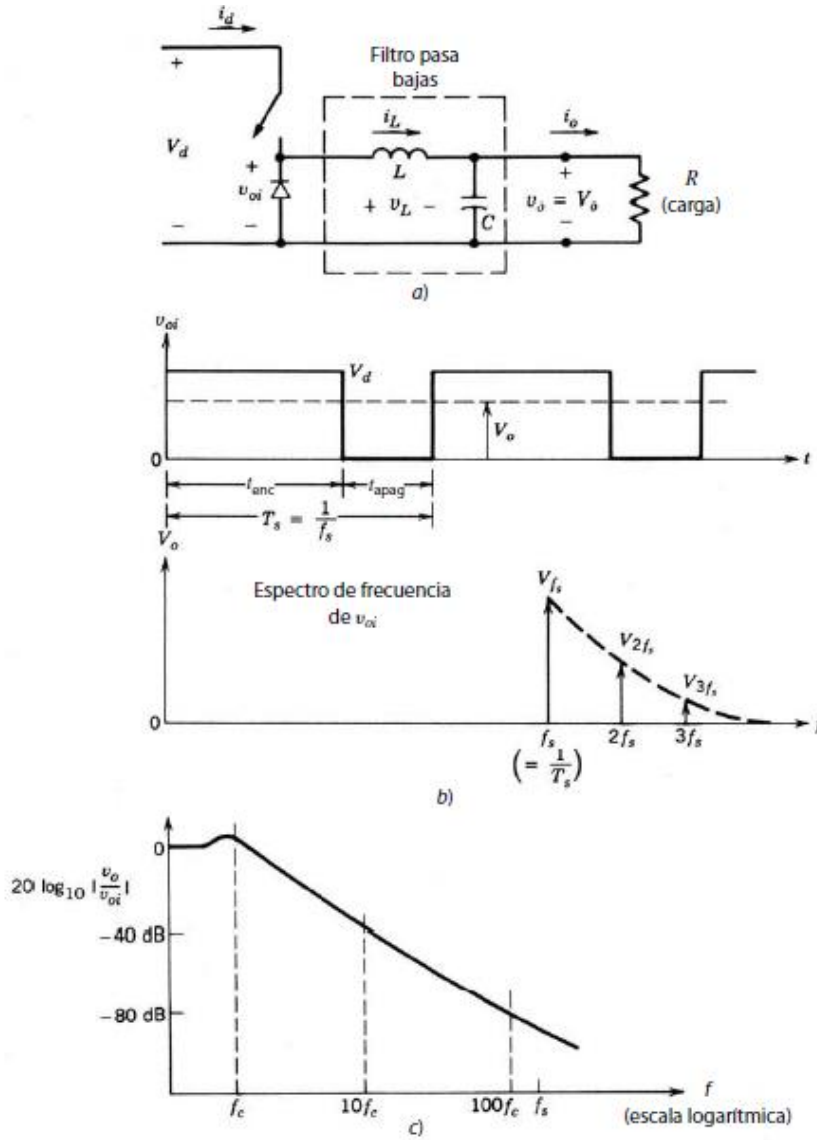


Figura 32 Convertidor Reductor
Fuente: (MOHAN, 2009)

- **Convertidor Elevador (Boost)**

Este tipo de convertidores como lo indica su nombre, son aquellos que obtienen una tensión mayor a la salida de la que se le suministra en la entrada. En la figura 33 se representa un circuito de un convertidor elevador de CC.

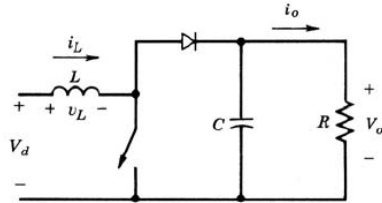


Figura 33 Convertidor Elevador
Fuente: (MOHAN, 2009)

El principio de funcionamiento de este convertidor se representa en la figura 34. Cuando el interruptor se encuentra cerrado, el diodo se polariza en inversa, para aislar la etapa de salida. Por la entrada se energiza el inductor. Por otro lado, cuando el interruptor se encuentra abierto, la etapa de salida se encuentra energizada tanto por el inductor como por la entrada de esta manera podemos obtener un valor de tensión mayor a la entrada que queda representado por la siguiente ecuación:

$$V_0 = V_d + v_L$$

Para que la salida obtenga un valor constante de tensión, se supone que el capacitor del filtro de salida es lo suficientemente grande.

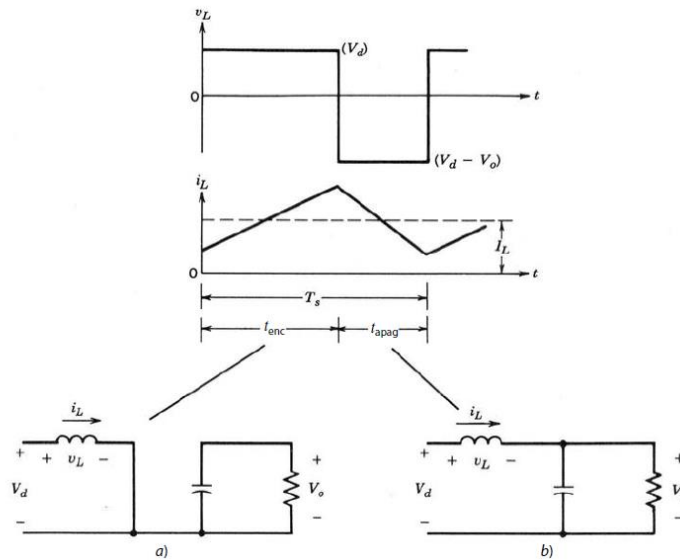


Figura 34 Convertidor Elevador. a) Int cerrado. b) Int abierto Convertidor Elevador.
Fuente: (MOHAN, 2009)

- **Convertidor Reductor/Elevador (buck/Boost)**

En este tipo de convertidores la tensión de salida puede ser mayor o menor que la entrada. Como lo indica su nombre, este convertidor está formado por la conexión en cascada de los dos

convertidores básicos que son el reductor y el elevador. En la siguiente gráfica podemos observar el circuito eléctrico.

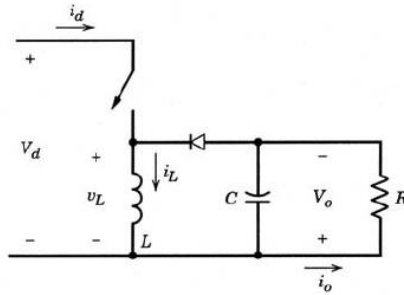


Figura 35 Convertidor Reductor Elevador (Buck/Boost)
Fuente: (MOHAN, 2009)

Si el interruptor se cierra, la alimentación de entrada energiza el inductor y el diodo queda polarizado en inversa lo que hace que no se alimente la etapa de salida. Por otro lado, cuando se abre el interruptor, se alimenta la etapa de salida con la energía acumulada en el inductor. El capacitor del filtro de salida tiene que ser lo suficientemente grande para lograr una tensión de salida estable.

En la siguiente gráfica se puede observar su funcionamiento.

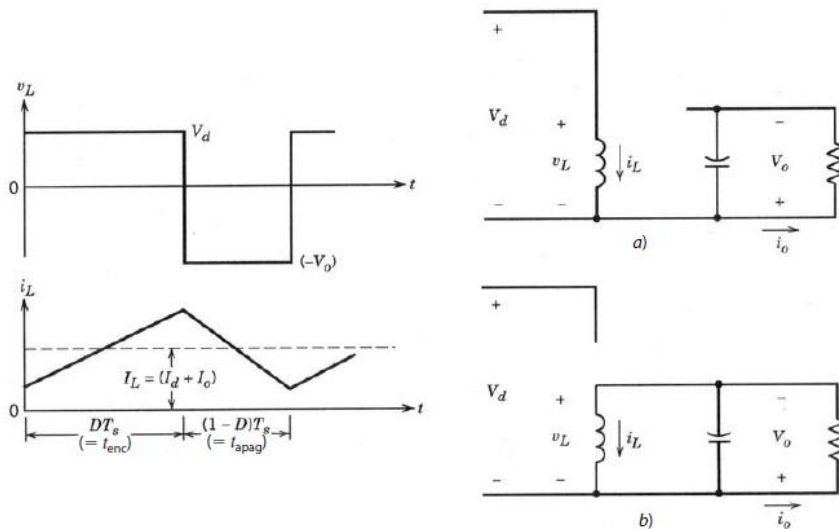


Figura 36 Convertidor Reductor/Elevador. a) Int cerrado. b) Int abierto Convertidor Reductor/Elevador.
Fuente: (MOHAN, 2009)

Selección de Fuente de Alimentación:

RT9080:

Para la etapa de alimentación vamos a utilizar un regulador lineal LDO para transformar la energía proveniente de la batería de 3.7V en 3.3V y de esta manera alimentar el módulo ESP32. Para esto vamos a utilizar el regulador RT9080 del fabricante Richtek que tiene las siguientes características:

- Tensión de alimentación 1.2V a 5.5V
- Tensión de salida ajustable. (Típico: 3.3V)
- Corriente máxima de salida 600mA
- Encapsulado TSOT-23-5

Configuración de Pines:

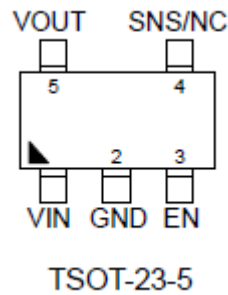


Figura 37 Regulador RT9080
Fuente: (Richtek Technology Corporation, 2018)

PIN No	REFERENC IA	FUNCIÓN
1	VIN	Tensión de entrada
2	GND	Pin de puesta a tierra
3	EN	Habilita la entrada de control
4	SNS/NC	Tensión de realimentación de salida
5	VOUT	Tensión de salida regulada

Tabla V Pinout RT9080

Fuente TPS63023:

Para alimentar el módulo SIM7000E vamos a utilizar una fuente conmutada tipo Boost debido a que tenemos que elevar la tensión de entrada de 3.7V a 5V. Para poder realizar este tipo de trabajo y no complejizar el diseño del Hardware, se va a utilizar el módulo 4654 de Adafruit que viene integrado con la fuente TPS63023 configurada para obtener los 5V de entrada necesarios para el proyecto.

Sus principales características son:

- Voltaje de entrada: 0.5 V a 5.5 V
- Voltaje de salida regulable: 2.2 V a 5.5 V
- Corriente de salida para $V_{IN} > 3.7 V$, $V_{OUT} = 5 V$: 1 A
- La Eficiencia está entre 78 % y 88 % para baterías de Litio con una tensión nominal de 3.7V

Configuración de pines:



Figura 38 Módulo 4654
Fuente: (Adafruit Industries, 2017)

PIN No	REFERENCIA	FUNCIÓN
1	VIN	Tensión de entrada
2	GND	Pin de puesta a tierra
3	5V	Salida de Tensión Regulada
4	En	Habilita la entrada de control

Tabla VI Pinout Fuente 4654

7.5.3.5 Diseño de Hardware:

Una vez seleccionado los componentes principales se realiza el diseño del esquemático, del PCB (Placa de Circuito Impreso) y del modelo 3D. Dicho diseño se realizó con el programa Kicad que es un software libre que se utiliza para el diseño de circuitos electrónicos.

A continuación, se realizará una introducción del programa Kicad, comentando sus principales herramientas y las que se utilizaron para este proyecto.

Software Kicad:

El programa Kicad es una herramienta de software libre que es compatible con diferentes sistemas operativos como pueden ser GNU/Linux, Windows y Apple OS X. Este programa cuenta con diferentes herramientas independientes de Software que se describen a continuación:

Nombre del Programa	Descripción	Extensión del Archivo
Kicad	Es el gestor de proyectos donde se va a visualizar todas las herramientas y el contenido del proyecto.	*.pro
Eschema	Es el editor de esquemáticos y componentes. En esta herramienta se seleccionan los componentes a utilizar y se realiza la conexión eléctrica entre los mismos. Los componentes se encuentran en diferentes librerías que se pueden descargar libremente desde la página oficial de Kicad. Por otro lado, también se pueden editar y crear cualquier tipo de componentes. Una vez finalizado el esquemático, se realiza una compilación del mismo para ver que no tenga errores y se crea el archivo .net que es la salida de esta herramienta.	*.sch, *.lib, *.net
CvPcb	Es el editor de huellas*. Las huellas se encuentran en diferentes librerías que se pueden descargar desde la página oficial de Kicad. En el caso de no encontrar la huella deseada, es posible editar y crear cualquier tipo de huella. <small>Las huellas son las formas físicas que representa a la ubicación de cada pin para trasladarlo al PCB.</small>	*.net
Pcbnew	Es el Editor de PCB. Como ya hemos explicado anteriormente el PCB es la placa de circuito impreso. En esta herramienta es posible ubicar los componentes, realizar el ruteo de las pistas entre los componentes, generar un modelo 3D de la placa y más.	*.kicad_pcb
GerbView	Es el Visor de archivos Gerbers donde se pueden generar y ver todos los archivos de fabricación necesarios para llevar el diseño a la realidad. En estos archivos se encuentran las descripciones del PCB, ubicación de los componentes, perforaciones, cortes y demás.	Extensiones gerbers usuales
Bitmap2Component	Crea componentes o huellas a partir de imágenes bitmap	*.lib, *.kicad_mod, *.kicad_wks
PCB Calculator	Calculadora de componentes, tamaños de pistas, espaciado eléctrico, códigos de colores, y mas.	Ninguno
PI Editor	Editor de formatos de página	*.kicad_wks

Tabla VII Herramientas de Kicad

Fuente: (Aparicio, 2010)

7.5.3.5.1 Diseño del Esquemático:

El esquemático es una representación gráfica de un circuito eléctrico o electrónico. Muestra de manera sencilla los componentes utilizando símbolos que dependen del tipo de componentes y su funcionamiento.

Es la base para el diseño de PCB, de él dependen todas las configuraciones y conexiones que se trasladarán al circuito impreso que luego se convertirán en pistas de cobre. Hay que aclarar que la ubicación de los componentes en el esquemático no es la misma que en el PCB.

Cuando el diseño del PCB es muy grande, se divide el esquemático en diferentes diseños de esquemáticos más pequeños para facilitar el trabajo, esto tiene que estar bien ordenado e identificado para no cometer errores. La mayoría de los programas que se utilizan hoy en día en el diseño de PCB te permiten realizar este tipo de tarea y poder dividir el diseño en diferentes hojas que se conectan entre sí por medio de “etiquetas”.

En el diseño de esquemáticos hay que tener en cuenta tres términos muy importantes que son los símbolos, designación y conexión.

- **Símbolos:** Los símbolos son una representación gráfica de cada componente. Existen varias normas (IEEE, IEC 60617, entre otras) que asignan un símbolo específico para cada tipo de componente. En todos los programas de diseño estos símbolos se encuentran en librerías asociadas a un Número de Parte (PN) que es proporcionado por el fabricante, pero no siempre es posible encontrar un símbolo del componente que se quiere, por lo que existen diferentes herramientas que te permiten crear cualquier tipo de símbolo.

En la siguiente gráfica se muestran algunos de los símbolos a modo de ejemplo.

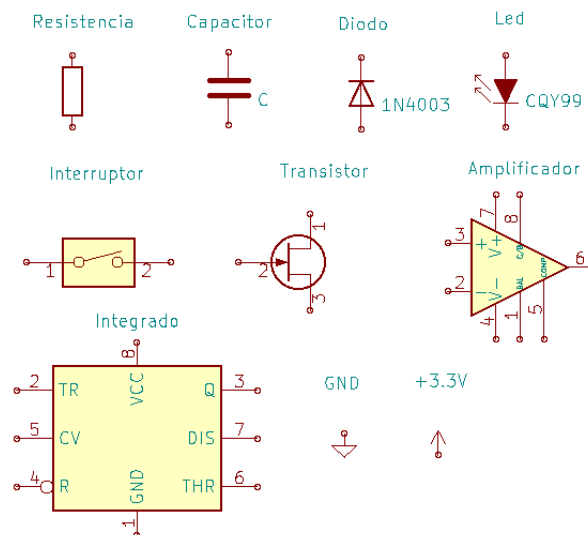


Figura 39 Ejemplos de Símbolos

- **Designación:** En un diseño puede haber muchos componentes del mismo tipo que van a tener el mismo símbolo y es necesario identificarlos de tal manera que sean todos independientes y que no se repitan. Para poder realizar esto, se le asigna una designación que va a comenzar siempre con un caracter alfanumérico y le va a seguir un número. El caracter alfanumérico identifica el tipo de componente como por ejemplo R (resistencias), C (Capacitores), D (Diodos), Q (Transistores) y U (Integrados). Los números se pueden asignar de forma manual o con la ayuda del asistente automático que tienen todos los Programas de Diseño. Estos asistentes te permiten asignar la numeración comenzando desde el número indicado, de arriba hacia abajo, de izquierda a derecha, etc.
- **Conexión:** La conexión es la unión entre 2 o más pines y está representada por líneas, estas conexiones van a configurar como se tiene que conectar cada pin de cada componente en el PCB. En el caso del esquemático, la conexión es más sencilla que en el PCB debido a que la conexión indica la unión entre dos pines y las líneas que las unen se pueden cruzar con otras y no tocarse, más adelante vamos a ver que en el PCB eso no es posible.

Para diseñar el esquemático partimos del Diagrama en Bloques que se encuentra en la figura 40 donde podemos identificar cada uno de los bloques que van a componer el circuito.

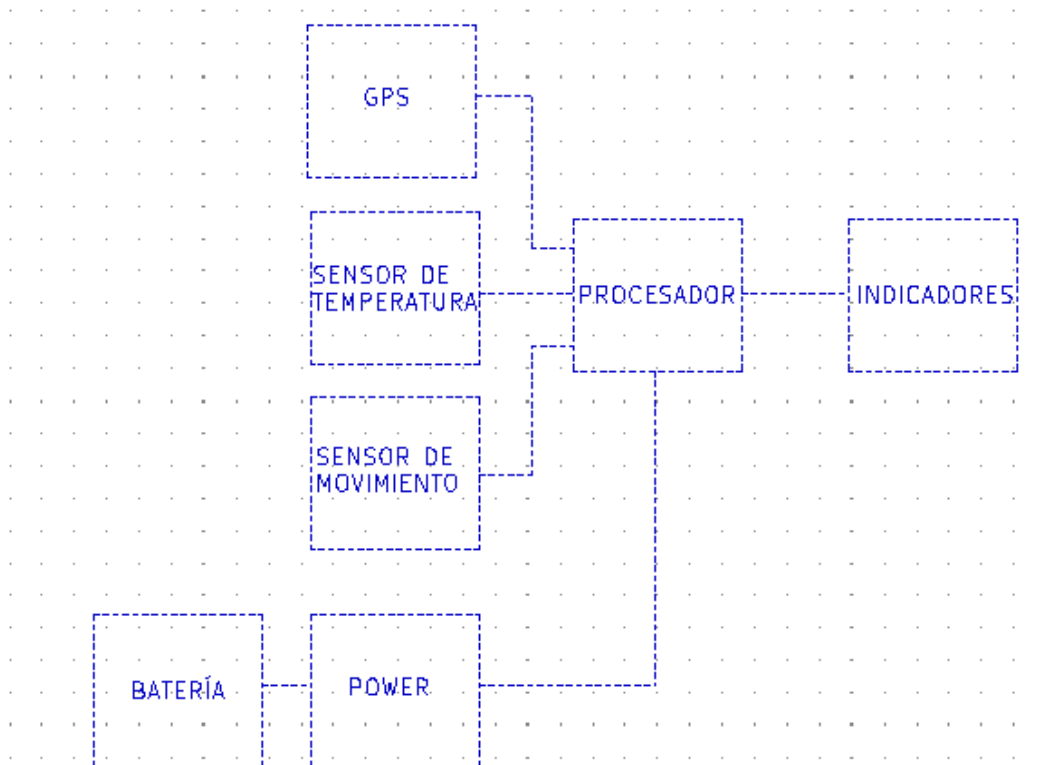


Figura 40 Diagrama en Bloque

A continuación, se describen cada uno de los bloques junto a su esquemático:

BATERÍA:

Este bloque está compuesto por una batería de Litio de 3.7V y 1500mAh. El PN de la batería es NCR18650B 3400mAh.



Figura 41 Batería NCR18650B

Entrada: No tiene entrada ya que es un bloque de solo Salida.

Salida: La salida del bloque se conecta a la entrada del bloque POWER proporcionando la tensión y corriente de alimentación.

Descripción:

El componente que integra este bloque es un conector de montaje superficial de dos pines donde se conectarán los cables que vienen de la batería.

POWER:

Este bloque es el encargado de proporcionar la alimentación eléctrica para toda la placa.

Entrada: Tiene como entrada al bloque **BATERÍA** (que es una batería de 3.7V y 3400mAh).

Salida: La salida se conecta al bloque PROCESADOR que contiene el microcontrolador.

Descripción:

Este bloque está conformado por un regulador de tensión lineal LDO que lleva la tensión de entrada 3.7V a 3.3V para alimentar la ESP32 y sus diferentes periféricos.

Este regulador es el RT9080-33GJ5 del fabricante Richtek.

Esquemático:

En la siguiente figura se puede observar su conexión.

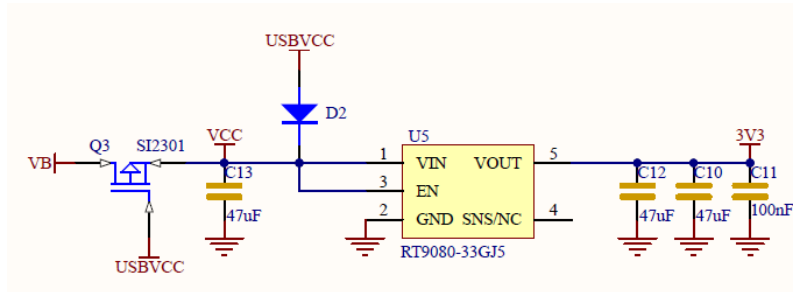


Figura 42 Esquemático Regulador LDO

PROCESADOR:

Este bloque es el más importante, ya que será el encargado de ejecutar y controlar todas las tareas para que el prototipo funcione correctamente.

Entrada: Tiene como entrada el bloque POWER y los SENSORES.

Salida: La salida está conectada al bloque de INDICADORES que se explicará más adelante.

Descripción:

Este bloque está conformado por el módulo **ESP32** que se describió anteriormente. Este bloque es el encargado de ordenar y controlar que todas las funciones del equipo se lleven a cabo. Sus principales tareas son solicitar datos de los sensores, procesarlos y dar aviso en caso de que sea necesario.

Esquemático:

En la siguiente figura se puede observar su conexión.

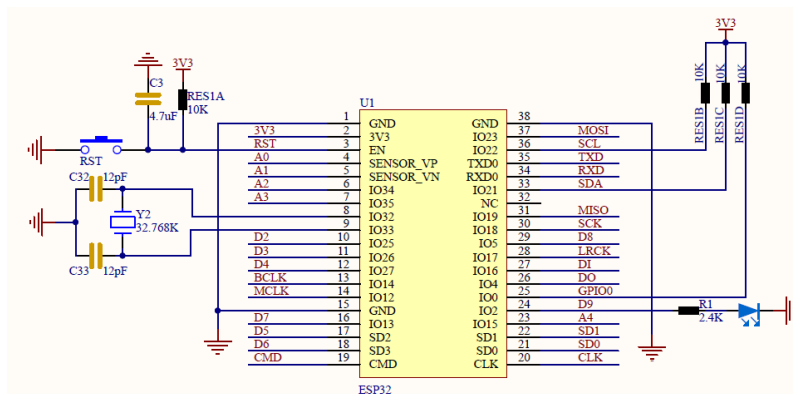


Figura 43 Esquemático ESP32

SENSOR DE MOVIMIENTO:

Descripción:

Este bloque está conformado por el módulo GY-521 que es una placa de desarrollo para el sensor MPU-6050 que cuenta con DOS sensores internos (un acelerómetro y un giroscopio). Para realizar el esquemático y su configuración, se utilizó las recomendaciones que propone el fabricante en su hoja de datos.

Esquemático:

En la Figura 44 podemos observar el circuito típico de conexión propuesto por el fabricante para el sensor MPU-6050.

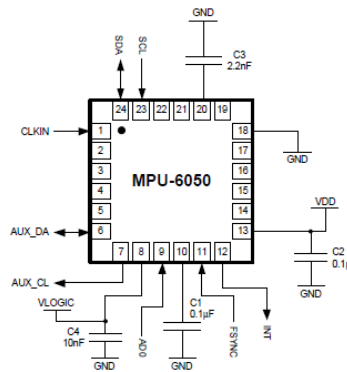


Figura 44 Circuito Típico de Conexión MPU-6050
Fuente: (InvenSense Inc, 2013)

En la Figura 45 podemos observar el circuito de conexión que se utilizó en el proyecto.

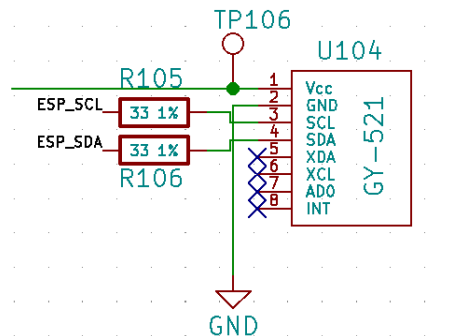


Figura 45 Esquemático MPU-6050

Configuración:

El protocolo de comunicación del dispositivo se puede configurar de dos diferentes maneras, una es usando SPI (Serial Port Interface) y la otra es mediante I2C (Inter Integrated Circuits). En nuestro caso vamos a configurar al dispositivo mediante I2C y el puerto SPI lo vamos a utilizar en la configuración de la memoria flash que se explicará más adelante.

Protocolo I2C:

I2C es un protocolo de comunicación entre dos dispositivos que está compuesto básicamente por dos señales que son la señal de reloj (SCL) y la señal de datos (SDA). La comunicación se establece mediante la configuración maestro/esclavo. De esta manera, el maestro es el que le indica al esclavo cuál es la tarea que tiene que ejecutar, el esclavo solo obedece las órdenes del maestro. Existen varios dispositivos que soportan las dos configuraciones y otros que solo soportan una sola.

En este caso el sensor MPU-6050 siempre trabaja como esclavo y el microcontrolador trabaja como maestro. Las conexiones SDA y SCL se colocan utilizando una resistencia pull-up a VDD. La máxima transferencia de información que ofrece este dispositivo es de 400kHz.

SENSOR DE TEMPERATURA:

Descripción:

Este bloque está conformado por el sensor de temperatura PN:LM35. El esquemático y su configuración se realizaron según las especificaciones del fabricante.

Esquemático:

En la siguiente figura se puede observar el esquemático implementado en el proyecto.

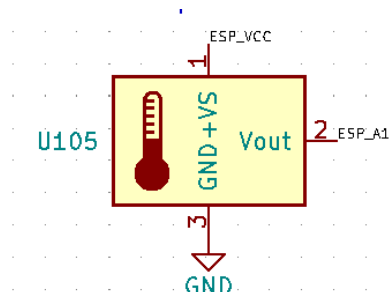


Figura 46 Esquemático LM-35

Configuración:

El módulo se alimenta con 3.3v y su salida se conecta a la entrada analógica A1 del módulo ESP32 para luego convertir ese valor en digital. Según las especificaciones del fabricante, cada grado centígrado está representado por 10mV que entran en A1. En descripción del firmware se explicarán los cálculos utilizados para obtener la temperatura en grados centígrados.

GNSS:

Descripción:

Este bloque está compuesto por el módulo PN: SIM7000E que está compuesto por un GPS y un módulo LTE que no se va a utilizar para este proyecto, pero puede servir para posibles nuevas actualizaciones.

Esquemático:

En la siguiente figura se puede observar el esquemático implementado en el proyecto.

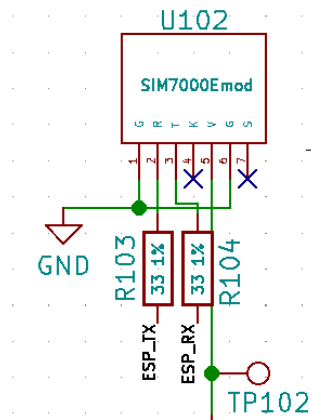


Figura 47 Esquemático SIM7000E

Configuración:

La configuración se realiza según las especificaciones del fabricante. El módulo es bastante simple de conectar, ya que su comunicación es por medio de UART así que se conectó el Transmisor del SIM con el Receptor del ESP y el Receptor del SIM con el Transmisor del ESP. En el caso de la alimentación, este módulo se alimenta con 5V, como la batería que utilizamos es de 3.7V y la ESP32 cuenta con solamente 3.3V de salida, se agregó una fuente de 5V que se controla con el pin ENABLE por medio del ESP32 para poder encender y apagar fácilmente el SIM. Hay que tener en cuenta que este módulo es uno de los que más energía consume.

INDICADORES:

Descripción:

Este bloque es uno de los más simples, pero no por eso el menos importante ya que se encargará de indicar mediante señales luminosas el estado del funcionamiento del equipo y de dar alertas en caso de ser necesario.

Esquemático:

En la siguiente figura se puede observar el esquemático utilizado en el proyecto.

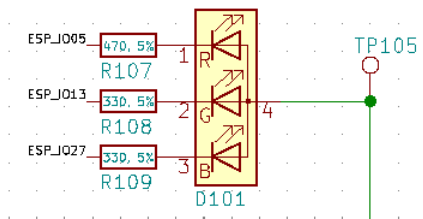


Figura 48 Esquemático Indicadores

Configuración:

Para la configuración solamente hay que tener en cuenta que este led RGB es colector común por lo tanto se conecta el colector a GND y las entradas se conectan por medio de una resistencia a la ESP32.

En la siguiente figura se puede ver el esquemático de todo el proyecto completo.

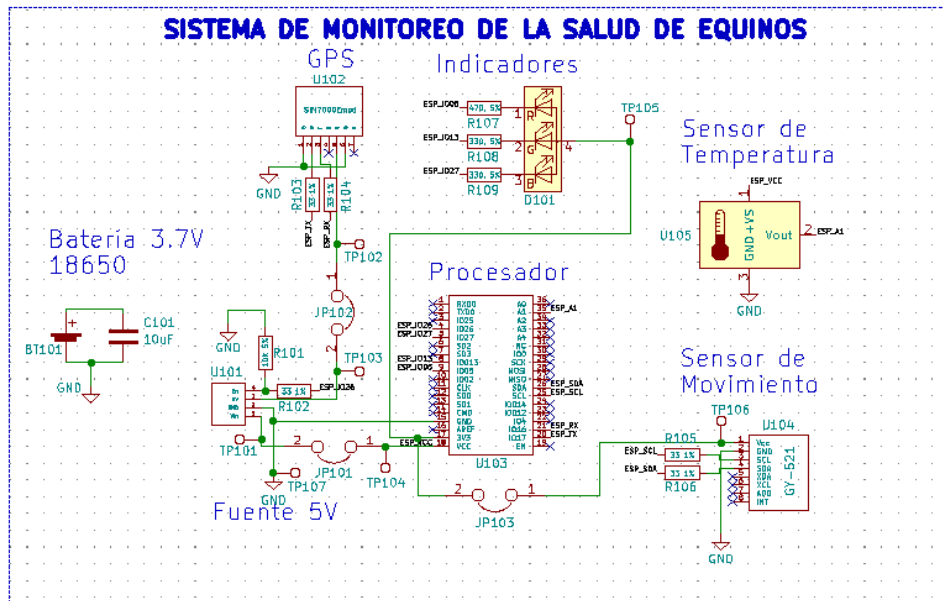


Figura 49 Esquemático

7.5.3.5.2 Diseño de la Placa de Circuito Impreso (PCB)

Introducción:

Una vez conformado el esquemático se realiza el diseño del PCB que consiste en definir las reglas de ruteo, cantidad de capas, dimensiones, posición y orientación de cada uno de los componentes que contempla el esquemático. Antes de entrar en detalle en el diseño y las reglas que se utilizaron, se realizará una introducción de las principales terminologías que son necesarias para el Diseño de un Circuito Impreso.

- **HUELLAS O FOOTPRINT:**

Las huellas o footprint son representaciones gráficas que se utilizan para la conexión de los componentes sobre la placa de circuito impreso y vienen acompañados de pads de cobre que representan la ubicación de los pines de conexión del componente. Todo componente lleva asociado si o si un footprint. En la siguiente gráfica se puede ver el footprint del componente MPU-6050 que se utilizará en el proyecto.

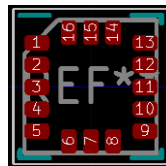


Figura 50 Footprint MPU-6050

- **ENCAPSULADOS**

El encapsulado es una representación gráfica de la forma física que tiene el componente expresado en 2D. Esta representación nos permite tener las medidas exactas del componente. Dicho encapsulado puede ser el mismo a simple vista para varios componentes, pero las características eléctricas no lo son.

Un ejemplo de un encapsulado se puede ver en la siguiente figura.

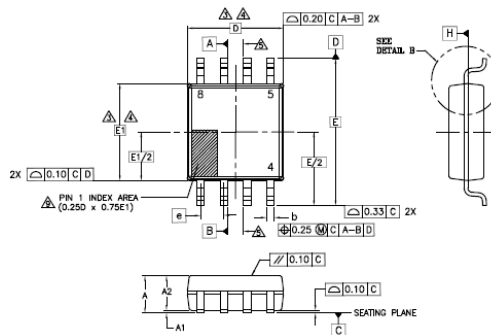


Figura 51 Encapsulado Memoria Flash
Fuente: (CYPRESS EMBEDDED IN TOMORROW, 2018)

- PADS O NODOS

Los pads o nodos, son las islas de cobre que conectan a los pines del componente con el circuito impreso. Estos pads pueden ser redondos, cuadrados, ovalados, para conexiones through-hole (con perforaciones pasantes) o para SMD (soldadura superficial).

También existen dos tipos de pads especiales que son los de fijación y las vías.

Pads de Fijación: son aquellos que se utilizan para sujeción de los componentes con el circuito impreso o se utilizan para sujetar la placa impresa. En el último caso, por lo general se coloca en los bordes de la placa para sujetar la misma a un gabinete.

Vías: son aquellos pads que se utilizan para realizar la interconexión entre una capa y otra.

En la figura 51 se pueden ver los pads de color rojo del componente MPU-6050.

- SELECCIÓN DEL ANCHO DE PADS O NODOS

El tamaño de los pads de los componentes viene dado por el fabricante, pero en el caso de las vías dependen del tamaño de las pistas que se utilicen.

Una buena regla de diseño que se pueden implementar en cualquier circuito es la siguiente:

- El tamaño exterior de la vía tiene que ser del doble del tamaño de la pista que se conecte.

Hay que tener en cuenta que el tamaño mínimo de las vías siempre lo va a limitar el fabricante del PCB.

- PISTAS

Las pistas son las conexiones físicas de cobre que unen los pines de los componentes con otros a través de los pads en un circuito impreso.

La representación en los diferentes softwares de diseño de PCB se los representa con líneas de diferentes colores según en la capa que se encuentren.

- SELECCIÓN DEL ANCHO DE PISTA

El ancho de la pista depende de varios factores como son la corriente que circula, la temperatura, el largo y demás. Para todo esto existe una norma llamada ANSI-IPC 2221 que recomienda el cálculo del ancho de pista según la siguiente ecuación.

$$Ancho = \frac{\left(\frac{I}{K1 * \Delta T^{K2}}\right)^{\frac{1}{K3}}}{L * 1.378} = [mil]$$

Dónde:

- I: representa la corriente máxima en amperios (A)
- ΔT : representa el incremento de temperatura máximo ($^{\circ}\text{C}$)
- L: representa el grosor de la capa de cobre, está dado en onza por pie cuadrado (oz/ft^2)
- K1: representa la constante de pistas internas (0.0150) y externas (0.0647)
- K2: representa la constante de pistas internas (0.5453) y externas (0.4281)
- K3: representa la constante de pistas internas (0.7349) y externas (0.6732)

Como se puede ver, el resultado de la ecuación se expresa en milésimas de pulgadas, donde 1mm equivale a 2.54 [mil] milésimas de pulgada.

- **DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES**

La distribución de los componentes en el PCB es una tarea fundamental para el buen funcionamiento del dispositivo y para evitar problemas a futuro. No existe una única forma de distribución, pero sí existen recomendaciones de buenas prácticas de diseño que se utilizan hoy en día respaldadas por las Normas IPC.

A continuación, se mostrarán algunas reglas básicas para la distribución de los componentes en el PCB.

- Seleccionar según el tipo de diseño la tecnología que se utilice para el montaje de los componentes ya sea THT, SMD o BGA, entre otras. Esto va a limitar mucho el diseño del circuito y la distribución de los componentes.
- Evitar colocar los componentes electrónicos de potencia sobre el PCB directamente ya que los mismos generan sobrecalentamiento y pueden afectar el funcionamiento de otros componentes. Los disipadores de calor se deben colocar en lo posible en el chasis o gabinete.
- Colocar los componentes ordenados y siguiendo una línea estética que permita poder facilitar el reconocimiento de los mismos y su funcionamiento.
- Evitar colocar pistas en los bordes de las placas ya que suelen ser más propensas a romperse en la interacción mecánica del PCB.
- Colocar separados los bloques digitales de los bloques analógicos para evitar problemas de interferencia. Lo mismo siempre se recomienda separar las puestas a tierra para cada caso.
- En el caso de comunicaciones de RF (Radio Frecuencia) siempre respetar las recomendaciones de diseño del fabricante para evitar atenuaciones innecesarias, interferencias, etc.

- **REGLAS DE TRAZADO DE PISTAS**

En el caso del trazado de las pistas lo que se busca siempre es un trazado sencillo y lo más corto posible, como es de esperar, también están contempladas en la Norma IPC y la mayoría de los programas de diseño ya vienen configurados de esta manera.

A continuación, se darán algunas recomendaciones básicas para el buen diseño:

- En la salida de los pads, las pistas tienen que salir en paralelo al pad o a 45°.

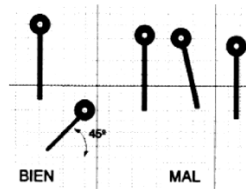


Figura 52 Conexión de Pista a Pads
Fuente: (Aparicio, 2010)

- Evitar las pistas a 90° y la conexión entre pistas en forma de T.

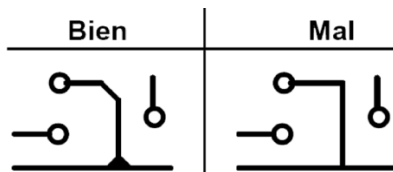


Figura 53 Pistas a 45°
Fuente: (Aparicio, 2010)

- La conexión entre nodos o pads siempre se va a realizar entre pistas.



Figura 54 Conexión entre nodos
Fuente: (Aparicio, 2010)

- Evitar los ángulos agudos entre las conexiones de las pistas ya que las mismas se pueden desprender.

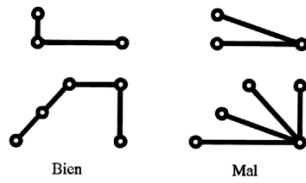


Figura 55 Conexión entre pistas
Fuente: (Aparicio, 2010)

- Colocar las pistas y nodos en forma perpendicular.

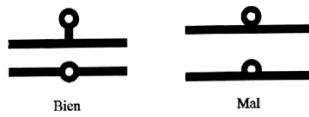


Figura 56 Conexión entre pistas y nodos
Fuente: (Aparicio, 2010)

- Evitar las superficies grandes de pads ya que no facilitan el soldado de los componentes.

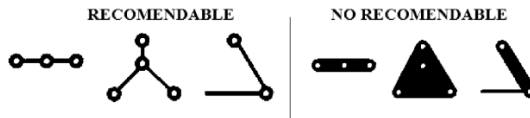


Figura 57 Superficies de pads
Fuente: (Aparicio, 2010)

- Ordenar las pistas de forma paralelas unas de otras y buscar siempre el camino más corto.

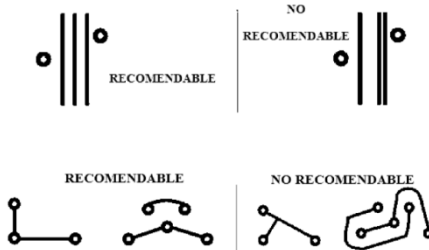


Figura 58 Conexión de pistas
Fuente: (Aparicio, 2010)

- **CAPAS**

Las capas son láminas de cobre muy delgadas que se utilizan para generar los pads y las pistas utilizando diferentes técnicas de fabricación. Los PCB más comunes están compuestos por una o dos capas, pero en la fabricación dependiendo de la complejidad del diseño se pueden fabricar de múltiples capas.

En la figura 59 podemos ver cómo se componen una placa de dos capas.

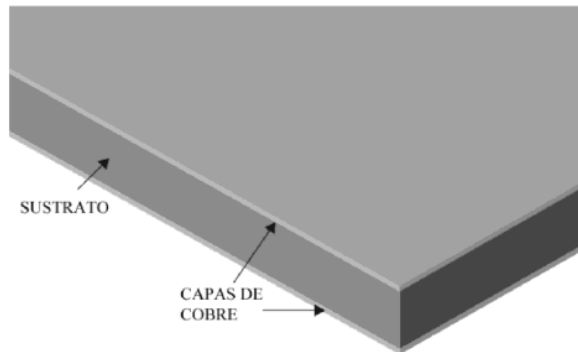


Figura 59 PCB de dos capas
Fuente: (Aparicio, 2010)

En el caso de la capa superior se la denomina TOP y la inferior se la denomina BOTTOM. El sustrato que se utiliza es de fibra de vidrio y puede tener diferentes espesores. Cuando el PCB corresponde a un diseño multicapa, lo que se hace es tener las 2 capas tradicionales (TOP y BOTTOM) y se agregan las demás capas entre medio del sustrato.

- **SERIGRAFÍA**

La serigrafía es el proceso donde se imprime tanto en la capa superior como en la capa inferior las referencias, nombres de componentes, etiquetas y demás, para facilitar el trabajo del ensamblador y sirve como referencia a la hora de realizar verificaciones sobre la placa.

- **VÍAS**

Las vías son las conexiones que existen entre capas, estas conexiones se realizan a través de perforaciones metálicas que permiten que la conducción eléctrica entre capas no se interrumpa al pasar por el sustrato. El tamaño de las mismas depende de la corriente que se le aplique.

Existen cuatro tipos de vías que se utilizan en la fabricación de circuitos impresos.

- **Vías Pasantes (Plated Through Hold):** Estas vías realizan la conexión entre capas exteriores (TOP y BOTTOM), pero también se pueden conectar vías interiores.
- **Vía enterrada (Buried via Hold):** Estas vías realizan las conexiones entre capas internas. A simple vista no se pueden ver ya que se encuentran entre el sustrato.

- Vía Ciega (Blind via Hold): Estas vías realizan la conexión entre una capa superior y una capa interna.
- Microvía: (Micro via Hold): Realiza la conexión entre capas internas y externas, son muy parecidas a las vías ciegas, pero se utiliza una técnica de fabricación mediante láser que las hace más finas.

A continuación, se muestra una representación gráfica de las diferentes vías:

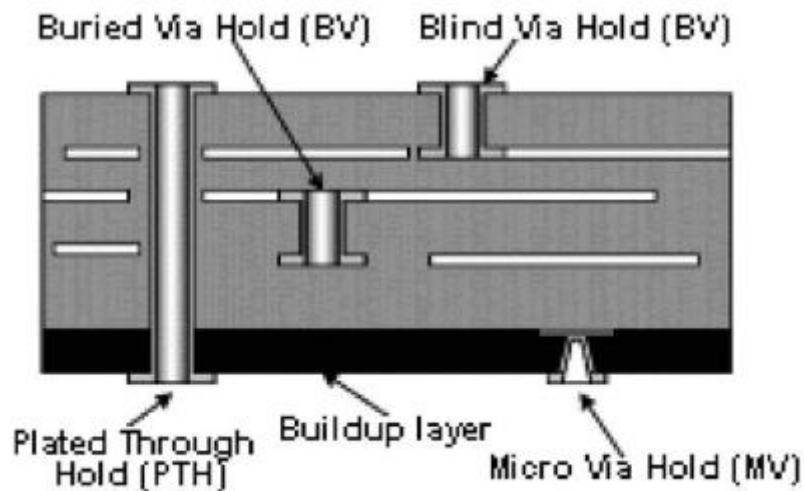


Figura 60 Tipos de vías
Fuente: (Aparicio, 2010)

Desarrollo:

Para el diseño del PCB se utilizará el programa Kicad que tiene una herramienta de edición de PCB llamada “Pcbnew”. Esta herramienta tiene como entrada el archivo .net (*EquiTech-PCB.net*) que es la lista de red que cuenta con todas las conexiones y footprints que se generaron en el esquemático.

A continuación se definen las dimensiones de la placa (61mm x 84mm), se realiza la ubicación de los componentes siguiendo los criterios anteriormente nombrados y se coloca en la capa superior (TOP) todos los componentes que integran el bloque digital (Microcontrolador, sensores, switch, leds, conector USB, memoria flash, host de la batería y los demás componentes pasivos asociados a cada circuito), por otro lado, en la capa inferior (BOTTOM) se colocan los componentes del bloque de alimentación (regulador de tensión y los demás componentes pasivos que acompañan a cada circuito) y el Sistema de Posicionamiento Global con sus respectivas antenas.

Una vez ubicados los componentes se definen dos reglas de ruteo. La primera regla se la denomina Default y es la que realiza las conexiones de la parte digital ya que en estas pistas la corriente que pasará es mínima. La segunda regla se llama PWR y se utiliza para las conexiones de alimentación donde las corrientes son mayores que las anteriores.

En la siguiente gráfica se pueden observar los detalles de cada regla.

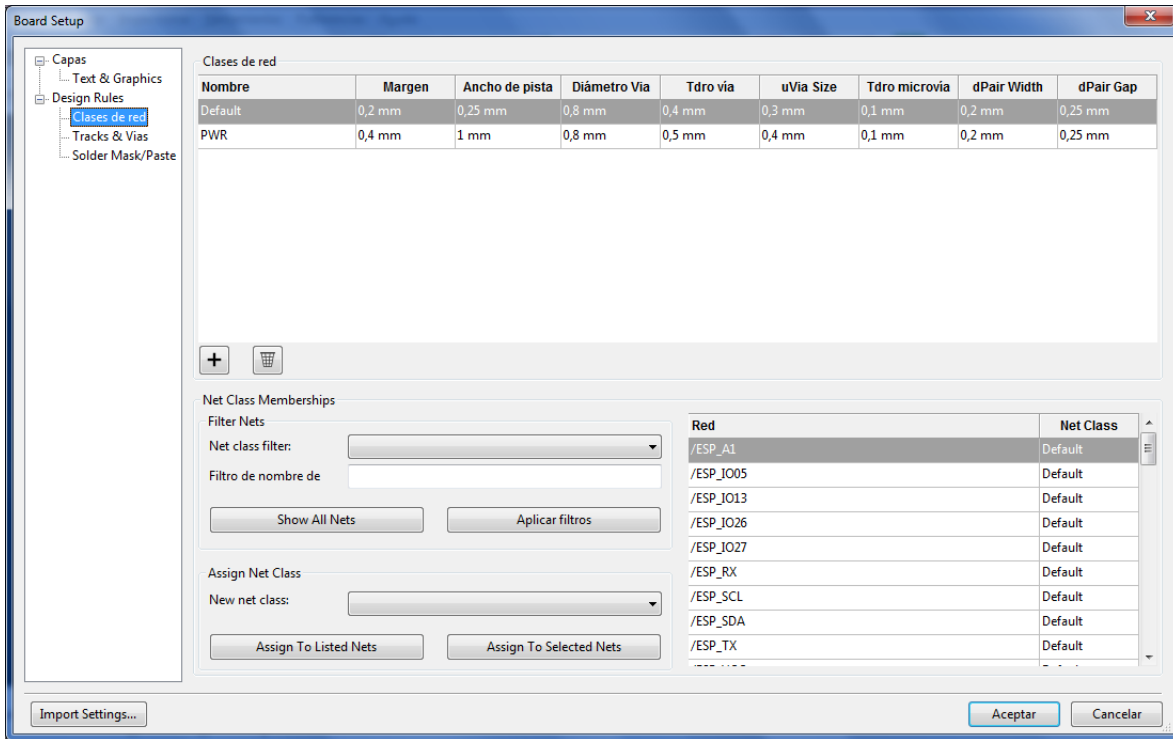


Figura 61 Regla de Ruteo PCB

Definidas las reglas de ruteo y la ubicación de los componentes, se realiza el ruteo de todas las pistas según las especificaciones definidas en el esquemático. Este trabajo se puede hacer de forma manual o en algunos casos donde el diseño no es muy complejo se puede hacer utilizando un software. En este caso, el ruteo se realizó de manera manual para poder utilizar la menor cantidad de vías posibles para reducir los costos de fabricación al mínimo teniendo en cuenta que el costo del PCB se encarece si las vías son muy pequeñas o si tiene muchas vías.

En la siguiente figura se puede ver el modelo 3D de la placa electrónica, tanto el TOP como el BOTTOM.

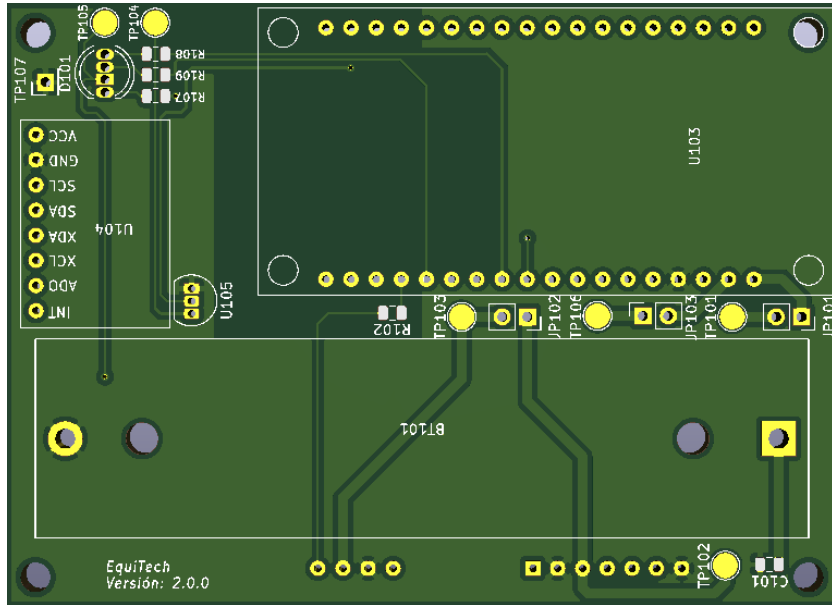


Figura 62 Modelo 3D de la placa electrónica (Vista Superior)

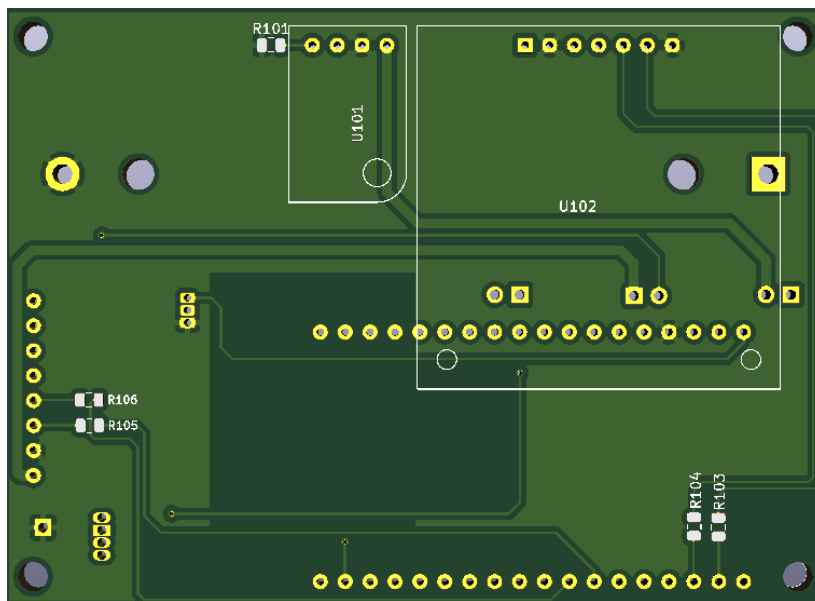


Figura 63 Modelo 3D de la placa electrónica (Vista Inferior)

Fabricación del PCB:

Una vez obtenida la versión final del PCB, se realiza la selección de un fabricante de PCB, se solicita una cotización y se envían los archivos de fabricación.

Para este punto se utilizó el fabricante de circuitos impresos PCBWAY de China (<https://www.pcbway.com/orderonline.aspx>) que cuenta con una página interactiva donde es posible seleccionar todas las especificaciones del PCB y calcular cuánto va a ser el costo de la placa más el envío al país de destino.

En la siguiente gráfica se pueden observar las especificaciones que se le solicitaron al fabricante.

Board type :	Single pieces	Panel Way :	
Different Design in Panel :	1	X-out Allowance in Panel :	
Size :	61 x 84 mm	Quantity :	20
Layer :	2 Layers	Material :	FR-4: TG130
Thickness :	1.6 mm	Min Track/Spacing :	6/6mil
Min Hole Size :	0.3mm ↑	Solder Mask :	Green
Silkscreen :	White	Edge connector :	No
Surface Finish :	HASL with lead	"HASL" to "ENIG"	No
Via Process :	Tenting vias	Finished Copper :	1 oz Cu
Extra pcb product number :		Additional Options :	UL Marking:None,
PO No. :		Manufacturing :	

Figura 64 Especificaciones del PCB

Los archivos de fabricación se obtienen utilizando el programa que se usó para diseñar el PCB, en nuestro caso es el programa Kicad.

Para la fabricación del PCB los archivos de fabricación se dividen en archivos gerber y archivos drill. En el primer caso están todas las configuraciones de tamaño y especificaciones en general y en el segundo se encuentra la ubicación de las perforaciones o taladrado. Por otro lado, existen archivos de pick and place que contienen la ubicación y orientación de cada componente, pero esos se utilizan para el montaje de los componentes, en nuestro caso, el montaje de los componentes se va a realizar a mano uno por uno.

En la siguiente figura se puede ver una foto de la placa electrónica con los componentes soldados lista para montar en el gabinete.

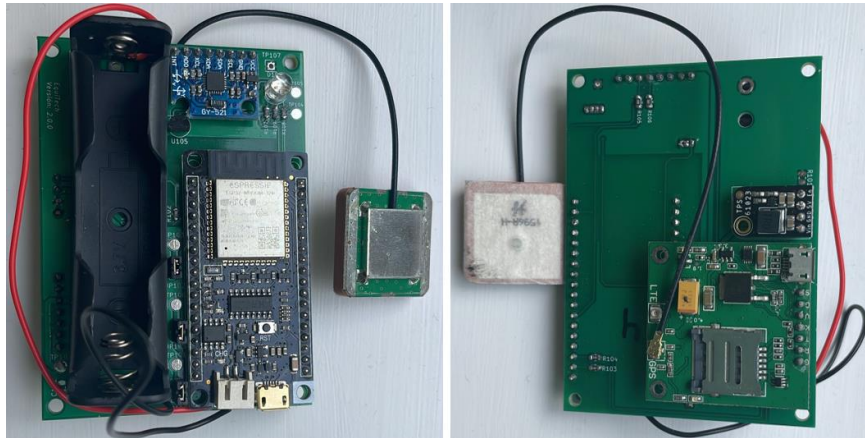


Figura 65 Placa Electrónica

7.5.3.6 Diseño de Gabinete:

El diseño del gabinete se realizó con el programa Solidworks en su totalidad teniendo en cuenta las medidas de la placa electrónica, la fácil colocación e instalación en el animal y que sea resistente al derrame de líquidos. El mismo va a estar formado por 2 piezas (Base y Tapa), la base va a ser la encargada de contener a la placa electrónica y poder sujetarse al animal mediante unos pasantes que se colocan en el collar o cabresto.

Para el diseño de la Base lo primero que se realizó fue exportar el modelo 3D de la placa electrónica para poder determinar sus dimensiones tridimensionales.

El diseño se realizó siguiendo las siguientes operaciones:

- Se realizó un croquis en el plano Planta (Croquis 1) con las dimensiones de la placa, la posición de las perforaciones y que defina el contorno del gabinete.
- Con las operaciones Extruir Saliente 1, 2 y 3 se creó el contorno del gabinete y la base.
- Con las operaciones Extruir Saliente 4, 5 y 7 se crearon las torretas para sujetar la placa electrónica.
- Se creó el Croquis 2 en el mismo plano anterior y con la operación Extruir Saliente 6 se realizan los soportes donde se va a atornillar la tapa del gabinete.
- Con el Croquis 3 y la operación Extruir Saliente 8 se crea la base inferior en forma de montura que va a sujetar el gabinete con el cuello del animal.

- Con el Croquis 4 y la operación Extruir Corte 1 se realiza la ranura por donde va a pasar el cinto del bozal.
- Con el Croquis 5 y las operaciones Extruir Corte 2 y Extruir Saliente 9 se realiza la ranura para insertar el switch que va a encender y apagar el equipo.
- Con el Croquis 6 y la operación Extruir Saliente 10 se hace la serigrafía para indicar la posición del switch.
- Por último se realizaron las operaciones de redondeo para que los bordes no lastimen al animal y permitan que se desplacen fácilmente los líquidos en caso de derrames.

En la siguiente figura se puede observar la base.

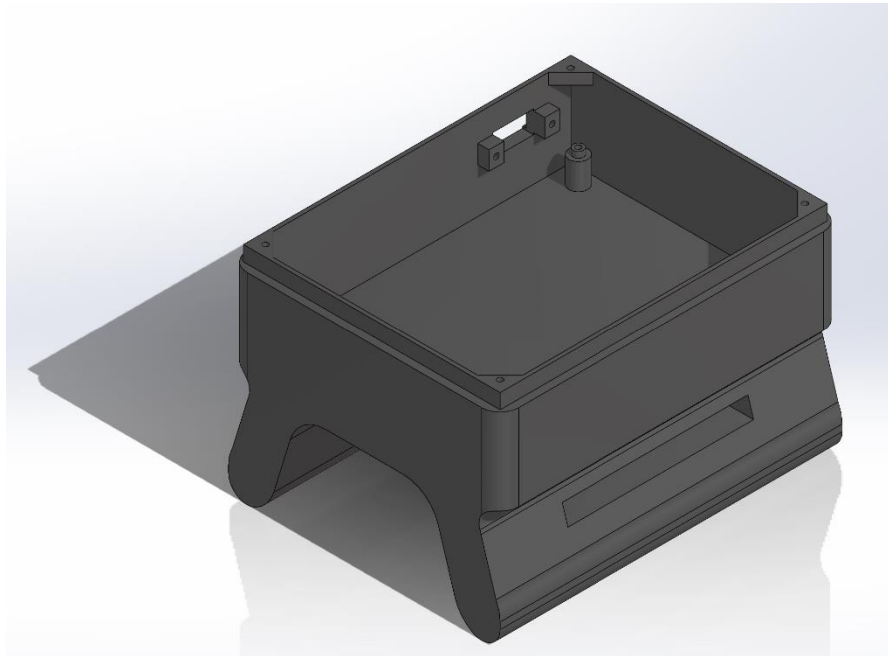


Figura 66 Base del Gabinete en vista isométrica

Una vez definida la base se realizó la tapa que tiene que sujetar las antenas del módulo SIM7000 (se utilizará para obtener la señal del GPS), encastrar en la base del gabinete de manera que quede protegido contra derrames de líquidos, tener una ventana para poder visualizar el LED y cuatro perforaciones para insertar los tornillos que sujetan la tapa con la base.

En base a estos requerimientos se realizan las siguientes operaciones:

- Con el Croquis 1 y las operaciones Extruir Saliente 1, 2 y 3 se crean las paredes y el fondo de la tapa.
- Con el Croquis 2, 3 y las operaciones de Refrentado para Tornillo se crean las perforaciones que sujetarán la tapa con la base.
- Con el Croquis 4 y las operaciones Extruir Saliente 4, 5, 6 y 7 se crean los soportes para contener las antenas y un cilindro para direccionar la emisión de luz del Led.
- Con el Croquis 6 y la operación Extruir Saliente se crea la serigrafía con el nombre del equipo.
- Por último se aplican las operaciones de redondeo para continuar con el diseño de la base.

En la siguiente gráfica se puede observar el modelo 3D de la tapa.

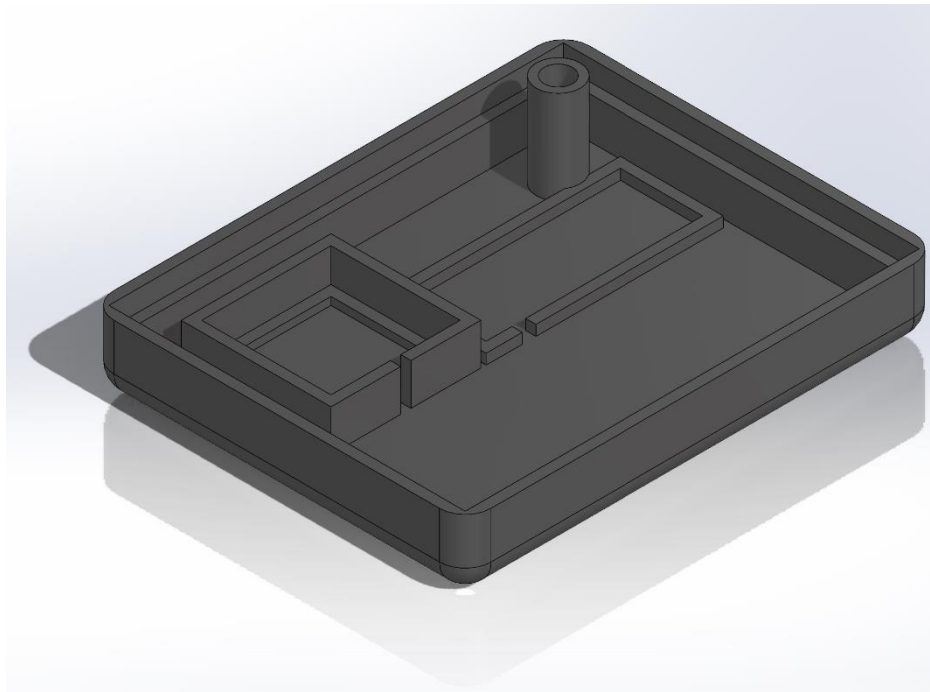


Figura 67 Tapa del Gabinete en vista isométrica

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D del gabinete completo con la pila y la placa electrónica en su interior. En la primera imagen aparece el gabinete transparente para que se pueda apreciar el interior y en la segunda imagen se puede ver el mismo sin transparencia.

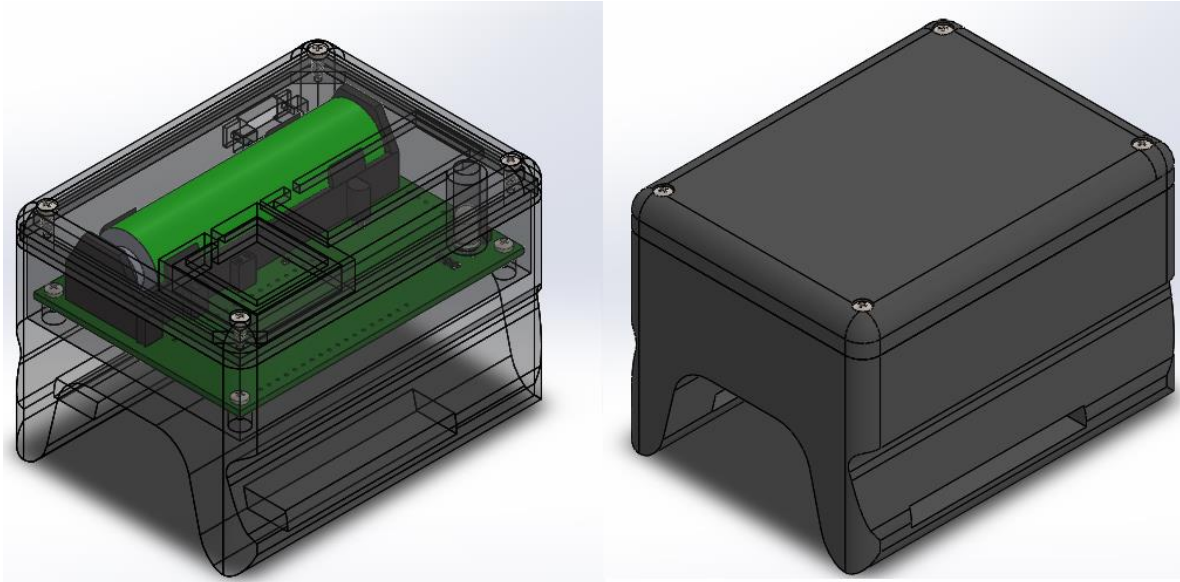
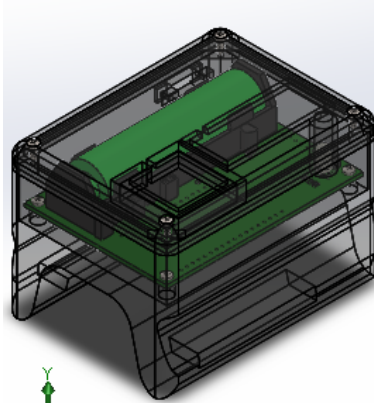


Figura 68 Gabinete 3D

Por último, en la siguiente gráfica se puede ver el modelo 3D en la vista isométrica junto a una tabla que describe los elementos necesarios para armar el equipo completo junto a las cantidades de cada elemento.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base		1
2	Placa Electrónica		1
3	Tapa		1
4	Tapping screw DIN 7049-ST2.2x4.5-C-H-S		4
5	Tapping screw DIN 7049-ST2.2x6.5-C-H-S		4
6	Battery 18650		1

*Isométrica

Figura 69 Gabinete Final

7.5.3.7 Diseño del Firmware:

El firmware es la programación a bajo nivel que establece la lógica que controla y administra todos los periféricos que rodean al microcontrolador. El lenguaje de programación que se utiliza es el C debido a la versatilidad y portabilidad que nos provee el mismo para migrar a otras plataformas. Una de las razones de la utilización del módulo ESP32 es que en una misma placa contiene un microcontrolador con todos los periféricos que necesitamos como son (UART, E/S, PWM, SPI, I2C), protocolos de comunicación como son BT y WIFI, memoria flash de 16Mb y una de las interfaces de desarrollo que se utiliza para programar es el IDE de Arduino que es una herramienta de desarrollo libre de forma gratuita y viene junto con un juego de librerías que aceleran el desarrollo y la puesta en marcha del prototipo.

Previamente a comenzar a trabajar en los prototipos se programó gran parte del firmware del equipo poniendo en marcha los periféricos internos y externos utilizando un kit de desarrollo, luego se migró al prototipo funcional para continuar el desarrollo, debido a que el kit de desarrollo no cuenta con todos los periféricos necesarios para el producto. Una vez superada la etapa de pruebas del firmware, el mismo quedó conformado por seis grandes bloques según se enumeran a continuación- Inicialización – Adquisición – Transmisión- Procesamiento - Almacenamiento – Notificación e Indicadores

Los primeros tres bloques se programaron en la ESP32 y los demás se programaron en el servidor de Amazon que se creó para tal fin. De esta manera el equipo obtendrá los datos de los sensores y los enviará directamente al servidor para ser analizados y dar alerta en caso de ser necesario. De esta manera el usuario podrá tener una plataforma que le permita hacer un seguimiento las 24hs del día sin la necesidad de estar observando el animal.

En la siguiente Figura se puede observar el Diagrama en Bloques completo y más adelante se realizará una descripción de cada bloque detalladamente.

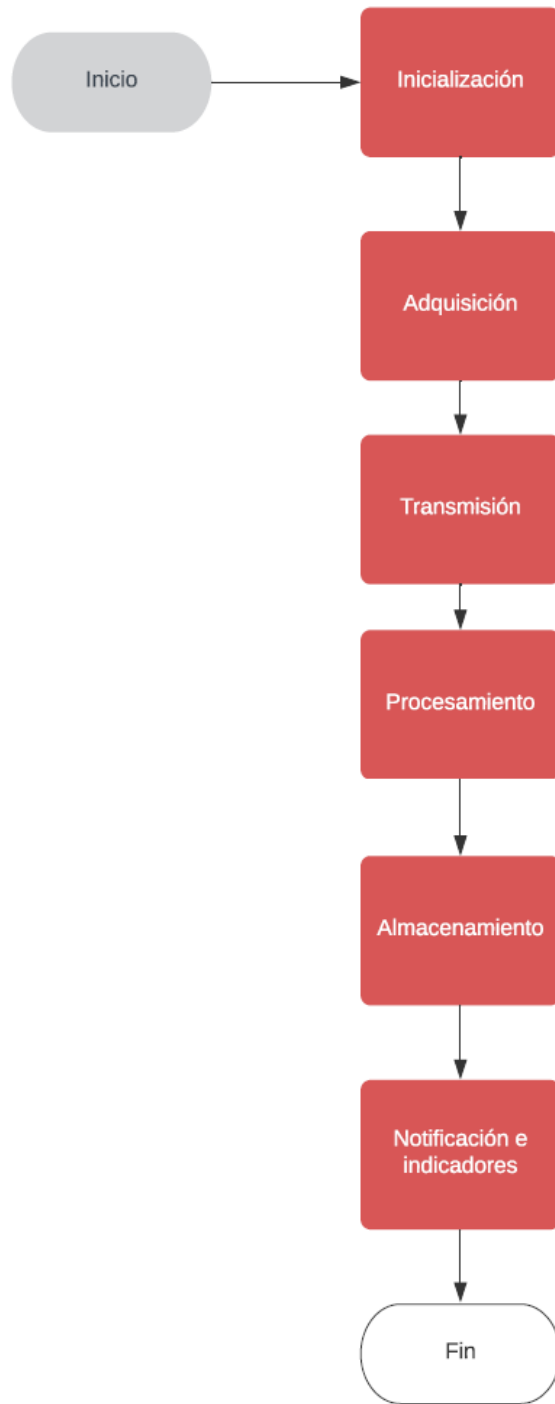


Figura 70 Diagrama de Bloque

Inicialización:

Al alimentar el dispositivo comienza la etapa de inicialización la cual es la encargada de configurar todos los periféricos utilizados y dejar todo operativo para el funcionamiento del dispositivo, esta etapa ocurrirá en cada reinicio del equipo o al iniciar nuevamente la adquisición.

Lo primero que se realiza es incluir todas las librerías que se van a utilizar, luego se inicializan y se reservan todas las diferentes variables globales que necesitamos tanto para GPIO (puertos de E/S), configurar WIFI, MQTT (protocolo de comunicación), MPU-6050 (acelerómetro, giroscopio y sensor de temperatura), SIM7000E (GPS), modo sleep de la ESP32, batería y memoria flash.

Una vez definidas todas las variables se declaran todas las funciones que se van a utilizar.

Para este bloque se utilizarán dos funciones principales que se describen a continuación.

void config_wifi(): Cuando no es posible conectarse a WIFI, esta función es la encargada de configurar el equipo como Punto de Acceso para poder configurar una nueva conexión WIFI. Lo primero que hace es crear el punto de acceso con los parámetros de SSID y contraseña preestablecidos. Este punto de acceso se visualiza como una red WIFI y con la ayuda de un dispositivo ya sea PC, Tablet o un Teléfono es posible configurar una nueva red visible desde la siguiente IP: 192.168.4.1.

En la siguiente imagen se puede ver como se visualiza el Punto de Acceso y la configuración de la nueva red.

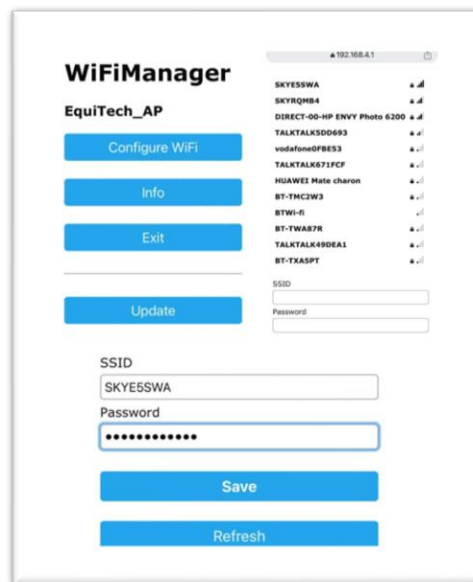


Figura 71 Configurar Punto de Acceso

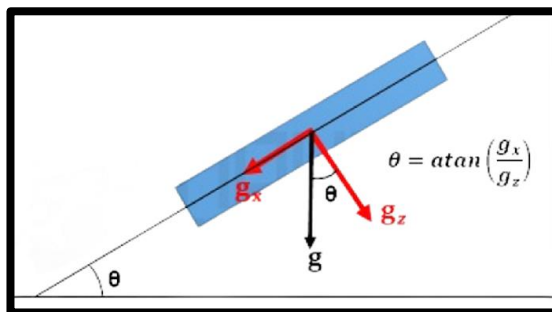
void init_config(); Lo primero que hace es configurar los puertos tanto de entrada como de salida, luego se configura la velocidad del puerto serie (UART) para realizar la comunicación con el módulo SIM7000, se configuran los puertos de comunicación para el protocolo I2C estableciendo el puerto 21 para SDA (Serial Data) y el puerto 22 para SCL (Serial Clock), iniciar el sensor MPU6050, inicializar el protocolo MQTT estableciendo el servidor y el puerto que nos va a permitir enviar los datos obtenidos a la base de datos y por último se inicializa el uso de la memoria flash.

Adquisición:

Una vez inicializados todos los dispositivos empezamos a tomar muestras de los distintos periféricos.

Comenzamos leyendo el nivel de batería a través de la función *void read_bat()*, de esta manera podemos saber si el equipo va a poder continuar trabajando o no, si el equipo está con batería baja (menos del 5%), lo que se hace es dar una alerta de batería baja (led rojo encendido por 5 segundos) y apagarlo. Si la batería está en un nivel aceptable (mayor al 5%), continuamos adquiriendo los datos del sensor de movimiento mediante la función *void orientacionEnGrados()* (leemos orientación en el eje X y orientación en el eje Y) estos datos se pasan por un filtro complementario y se almacenan en una variable volátil dispuesta para tal fin junto con una etiqueta temporal de forma de determinar cuando ocurre tal evento.

La orientación es el ángulo de inclinación en la que se encuentra el sensor con respecto a la tierra, pero no debemos olvidarnos que el sensor nos devuelve la aceleración y la velocidad angular así que debemos trabajar un poco con esos valores para poder obtener el ángulo de inclinación. Para esto lo que tenemos que hacer es plantear el siguiente sistema donde el sensor se encuentra quieto e inclinado un ángulo θ , de esta manera sabemos que la única fuerza que actúa es la gravedad así que podemos determinar que el ángulo va a quedar determinado según la siguiente ecuación matemática.



$$\theta = \left(\frac{Gx}{Gy} \right)$$

Con esta ecuación se determina la orientación en un plano 2D y para obtener la misma en 3D tenemos que obtenerla para el plano x y para el plano y.

$$\theta_x = \left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right)$$

$$\theta_y = \left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right)$$

Ahora bien, esta ecuación solo nos sirve en el caso de que el sensor no se encuentre en movimiento (que no es nuestro caso) porque las demás fuerzas que actúen nos van a afectar las mediciones así que debemos obtener la orientación utilizando el giroscopio.

Sabemos que el giroscopio nos devuelve la velocidad angular así que para determinar el ángulo de rotación lo que tenemos que hacer es integrar la velocidad y conocer el ángulo inicial como se ve en la siguiente ecuación.

$$\theta_x = \theta_{x0} + \omega_x \Delta t$$

$$\theta_y = \theta_{y0} + \omega_y \Delta t$$

Al realizar estas ecuaciones con el giroscopio se van acumulando errores ya sea de los datos obtenidos del sensor o del cálculo del tiempo. A este error se lo denomina DRIFT.

Para disminuir este error y el del acelerómetro lo que se utiliza es un filtro complementario, que es la suma de dos filtros, un pasa bajo para el acelerómetro para eliminar los datos que varían a corto plazo y un pasa alto al giroscopio para eliminar las variaciones a largo plazo.

La ecuación que representa este filtro es la siguiente:

$$\text{ángulo} = 0.98 (\text{ángulo} + \omega_{\text{giroscopio}} dt) + 0.02 (\text{ang}_{\text{acelerómetro}})$$

Luego se lee el valor del sensor de temperatura utilizando la función `void temperaturaEnGrados()`, se aplica la corrección de offset y se almacena en una variable volátil.

Posteriormente se consulta si se desea leer los datos del GPS debido a que este último dato consume entre 60mAh y 90mAh de corriente por lo que se optó por usar esta programación de ahorro de energía para alargar la vida útil de la batería.

La lectura del GPS se realiza mediante la función *void read_gps_data()* y se utilizan los Comandos AT (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2020) que son los que están configurados por el fabricante para poder facilitar la programación del equipo.

Los comandos que se utilizan son los siguientes:

AT+CGPSPWR (Comando para encender o apagar la fuente de alimentación del GPS)

AT+CGNSTST (Comando que envía datos recibidos del GNSS (Global Navigation Satellite System) a la UART)

AT+CGNSINF (Comando que devuelve los parámetros que se obtienen del GPS en el formato que se describe en la siguiente tabla)

Index	Parameter	Unit	Range	Length
1	GPS run status	--	0-1	1
2	Fix status	--	0-1	1
3	UTC date & Time	yyyyMMddhh mmss.sss	yyyy: [1980,2039] MM : [1,12] dd: [1,31] hh: [0,23] mm: [0,59] ss.sss:[0.000,60.999]	18
4	Latitude	±dd.dddddd	[-90.000000,90.000000]	10
5	Longitude	±ddd.dddddd	[-180.000000,180.000000]	11
6	MSL Altitude	meters		8
7	Speed Over Ground	Km/hour	[0,999.99]	6
8	Course Over Ground	degrees	[0,360.00]	6
9	Fix Mode	--	0,1,2 ^[1]	1
10	Reserved1			0
11	HDOP	--	[0,99.9]	4
12	PDOP	--	[0,99.9]	4
13	VDOP	--	[0,99.9]	4
14	Reserved2			0
15	GPS Satellites in View	--	[0,99]	2
16	GNSS Satellites Used	--	[0,99]	2
17	GLONASS Satellites in View	--	[0,99]	2
18	Reserved3			0
19	C/N0 max	dBHz	[0,55]	2
20	HPA ^[2]	meters	[0,9999.9]	6

Tabla VIII Descripción comando AT+CGNSINF
Fuente: (Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2020)

Al utilizar los comandos mencionados anteriormente podemos obtener del equipo una cadena de caracteres que van a contener toda la información que utilizaremos para obtener la localización geográfica del equipo. Ahora bien, para poder obtener una posición correcta, el módulo necesita poder conectarse al menos a 3 satélites para poder triangular y obtener un valor adecuado, en caso de no poder ser posibles nos va a devolver una cadena de caracteres pero con valores nulos así que lo que hacemos es ir solicitándole que nos envíe las coordenadas cada 30 segundos y con un máximo de 5 reintentos. Si por alguna razón no es posible obtenerlos se da aviso y la función devuelve nulo. En el caso de que los valores sean correctos lo que hacemos es almacenarlos en una variable que va a contener todo el mensaje.

Transmisión:

Una vez almacenados todos los datos en diferentes variables, lo que se realiza es primeramente la conexión del equipo a Internet, luego la conexión al servidor mediante el protocolo MQTT y luego se realiza la transmisión de los datos al servidor. En el caso de que no sea posible la transmisión de los datos, se guardan los mismos en una memoria flash que viene con el módulo ESP32 para transmitir posteriormente y se deja en modo sleep al equipo para ahorrar la mayor cantidad de energía posible y alargar su vida útil.

Procesamiento:

Una vez recibido los datos en el servidor lo que se hace es analizar los mismos mediante parámetros ya establecidos para determinar si es necesario dar una alerta o no. Transferir el control de estas tareas al software reduce los requerimientos de hardware, baja los costos de diseño y simplifica el firmware. Por otro lado, poder realizar el procesamiento desde el servidor nos da la versatilidad que, si en algún momento es necesario modificar los patrones de referencia establecidos, no sea necesario configurar cada equipo por separado sino que solamente se modifique el firmware del servidor y con solo una conexión a internet todos los equipos queden funcionando correctamente.

Almacenamiento:

El almacenamiento de los datos enviados al servidor se guarda en una base de datos establecida para tal fin en el formato de tablas mysql para realizar un posterior análisis off-line para poder realimentar al sistema e ir trabajando en la búsqueda de una media que nos permita establecer si el animal se encuentra bien o no y si es posible detectar enfermedades a futuro.

Notificación e Indicadores:

Esta es la parte más simple del firmware, pero no la menos importante, ya que es la que controla las señales luminosas del equipo para informar al usuario el estado del mismo. Si está encendido y/o adquiriendo.

Si el equipo se encuentra encendido y adquiriendo, se enciende el led Verde
 Si el equipo está con batería baja, se enciende el led Rojo
 Si el equipo no se puede conectar a WIFI, se enciende el led azul
 Si el equipo no puede conectarse a MQTT, parpadea el Led azul.

Ver ANEXO A “Firmware v 1.2.1”

Ver ANEXO B “Diagrama de flujo Firmware ESP v1.2.1”

7.5.4 Planificación/ Evaluación:

7.5.4.1 Pruebas Realizadas

A continuación, se detallarán todos los ensayos y pruebas que se realizaron con el prototipo final para poder verificar su funcionamiento, detectar posibles mejoras y determinar cuál es la configuración más eficiente para utilizar el equipo a la hora de recolectar datos.

Autonomía energética del equipo:

Este ensayo consiste en medir el consumo de la batería e ir almacenando los datos mientras el equipo funciona normalmente con una frecuencia de muestreo para la recolección de datos de 10 segundos. Para esto se dividieron las pruebas en dos etapas, una utilizando las mediciones del GPS todo el tiempo y la otra sin utilizar la medición del GPS.

De esta manera podemos determinar cuál es la autonomía energética real del equipo y ver si variando la frecuencia de muestreo tanto de los datos como del GPS podemos alargar la vida útil del equipo.

PRUEBAS:

Ensayo de Batería		
	Ensayo 1	Ensayo 2
Número de Serie	1004	1004
Frecuencia de muestreo (seg)	10	10
GPS activado	NO	SI
Fecha de Inicio	18/4/2023 15:45	21/4/2023 10:09
Fecha de Fin	20/4/2023 23:54	22/4/2023 17:29
Número de muestras	15313	5877
Autonomía (hs)	56:09	31:19

Tabla IX Ensayo para el consumo energético

De los datos obtenidos se puede observar que la autonomía energética del equipo es mucho mayor cuando solamente obtenemos los datos del sensor de movimiento y de la temperatura, en cambio cuando se activa el sensor de GPS el consumo aumenta y su autonomía disminuye. Es por esta razón que se optó por la opción de consultarle al usuario si desea activar o no los datos del GPS.

De la misma manera, también se puede observar que si se varía la frecuencia de muestreo de los datos el equipo puede aumentar su autonomía, pero esto se verá más adelante cuando se evalúe cuál debe ser la frecuencia de muestreo más óptima.

Gabinete y colocación:

En primer lugar, se analiza el gabinete para ver si cumple con los estándares establecidos y luego se analiza la mejor posición para colocar el equipo en el caballo.

Gabinete:

Lo primero que se realizó fue una simulación en el programa Solidworks para ver si la placa electrónica y sus componentes encastraba correctamente en el gabinete. Luego se realizó una primera impresión 3D donde se pudieron corroborar algunos detalles que se muestran en la siguiente tabla.

ENSAYO DE GABINETE		Versión: 1.0.0
OBJETIVO		
Verificar la interacción mecánica del gabinete con la placa electrónica		
COMPONENTES A ENSAYAR		
Gabinete EquiTech Base		
Gabinete Equitech Tapa		
PROCEDIMIENTO		
Colocar la tapa sobre la carcasa inferior. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas.		
CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
La tapa se inserta correctamente a la carcasa inferior	P	
El gabinete cierra correctamente	P	
PROCEDIMIENTO		
Colocar la placa electrónica en la carcasa inferior haciendo coincidir las torretas en los agujeros. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas		

CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
Las torretas se insertan en los agujeros sin dificultad.	NP	Las torretas no encastran en los agujeros de la placa por la mala calidad de la impresión.
La placa se inserta en el gabinete sin dificultad, no toca con los bordes internos del gabinete.	NP	La placa entra muy justa y no permite que pasen los cables de la antena del GPS.
PROCEDIMIENTO		
Colocar la placa electrónica en la carcasa inferior haciendo coincidir las torretas en los agujeros y colocar la Tapa sobre la carcasa inferior. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas		
CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
Las torretas se insertan en los agujeros sin dificultad.	NP	Las torretas no encastran en los agujeros de la placa por la mala calidad de la impresión.
El gabinete cierra correctamente y la placa que resguardada	NP	La placa entra muy justa y no permite que pasen los cables de la antena del GPS.
La base de la carcasa inferior es suficientemente fuerte para sujetar	NP	La base no queda suficientemente fuerte y se rompe al aplicarle un poco de fuerza.

Tabla X Ensayo de Gabinete 1.0.0

Corrigiendo los detalles encontrados en la primera impresión 3D se realizó una segunda impresión donde los resultados obtenidos fueron muy buenos como se puede observar en la siguiente tabla.

ENSAYO DE GABINETE	Versión: 2.0.0
OBJETIVO	
Verificar la interacción mecánica del gabinete con la placa electrónica	
COMPONENTES A ENSAYAR	
Gabinete EquiTech Base	
Gabinete Equitech Tapa	
PROCEDIMIENTO	
Colocar la tapa sobre la carcasa inferior. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas.	

CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
La tapa se inserta correctamente a la carcasa inferior	P	
El gabinete cierra correctamente	P	
PROCEDIMIENTO		
Colocar la placa electrónica en la carcasa inferior haciendo coincidir las torretas en los agujeros. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas		
CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
Las torretas se insertan en los agujeros sin dificultad.	P	
La placa se inserta en el gabinete sin dificultad, no toca con los bordes internos del gabinete.	P	
PROCEDIMIENTO		
Colocar la placa electrónica en la carcasa inferior haciendo coincidir las torretas en los agujeros y colocar la Tapa sobre la carcasa inferior. Verificar la interacción mecánica entre ambas piezas		
CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADO (P/NP)	OBSERVACIÓN
Las torretas y los agujeros se encuentran centrados.	P	
Las torretas se insertan en los agujeros sin dificultad.	P	
El gabinete cierra correctamente y la placa que resguardada	P	
La base de la carcasa inferior es suficientemente fuerte para sujetar	P	

Tabla XI Ensayo de Gabinete 2.0.0

Una vez definido el gabinete, queda por encontrar la posición del equipo en el caballo. Al principio se pensó en utilizar una correa elástica que pase por las rendijas del gabinete y quede sujeta al cuello del animal en forma de cinto. De esta manera podemos lograr una fácil colocación del equipo y poder interactuar con el animal sin molestarlo demasiado.

En las primeras pruebas donde se colocó solamente el gabinete sin la placa electrónica para ver cómo se comportaba el animal, las pruebas realizadas fueron muy buenas ya que se podía colocar fácilmente y al animal no le molestaba.

En la segunda prueba donde colocó la placa electrónica empezaron a aparecer los problemas debido al peso del equipo. Lo primero que pasó es que se corría de lugar y no quedaba bien sujeto en la parte superior del cuello. Luego se ajustó la correa para que no pase lo mencionado anteriormente, pero la presión que teníamos que ejercer era demasiada para que no se mueva y esto afectaba al animal para poder respirar normalmente y que no se sienta incómodo.

Es por esto que se descartó la opción de un cinto y se pasó a utilizar un cabresto que es de fácil colocación y no molesta al caballo.

Como se puede observar, el cabresto funciona correctamente y es de muy fácil colocación, el problema ahora se traslada a poder mantener el equipo centrado en la parte superior del cuello debido a que el cabresto pasa por encima de la cabeza, el equipo no se puede trabar con a la cumbreira del cuello y si el animal mueve bruscamente la cabeza (que es normal para un caballo) el equipo se puede desplazar un poquito hacia los costados. Este problema se soluciona fijando el equipo al cabresto para que no se mueva.

En la siguiente imagen se puede observar cómo queda el equipo colocado en caballo.



Figura 72 Colocación del dispositivo en el Caballo

Frecuencia de muestreo:

Este ensayo consiste en utilizar un equipo colocado en un caballo configurado con una frecuencia de muestreo de 10 segundos y luego analizar los datos para determinar si variando la frecuencia de muestreo podemos obtener los mismos resultados.

En la siguiente imagen se puede observar cómo se comportan los datos (Orientación eje X y Orientación eje Y) al variar la frecuencia de muestreo en 10, 30 y 60 segundos respectivamente.



Figura 73 Ensayo variación de frecuencia

Lo primero que se puede observar es que al pasar de 10 segundos a 30 segundos se filtran mucho los movimientos que tiene el caballo normalmente, pero esto no afectaría al uso previsto del equipo ya que la alerta o señal de que el caballo está experimentando alguna anomalía se demuestra cuando la medición supera los límites (líneas rojas) por más de 2 minutos.

En el caso de pasar de 30 a 60 segundos la pérdida de información es superior. Esto no afectaría al uso, pero se pueden perder datos que en esta primera etapa son muy importantes para analizar el comportamiento del animal.

Es por este motivo que en este primer prototipo se va a muestrear cada 10 segundos. Esto es fundamental poder obtener la mayor cantidad de datos posibles y poder encontrar una media que represente que el animal se encuentra bien.

Detección de Inactividad:

Este ensayo consiste en utilizar el equipo y medir el comportamiento del caballo cuando se encuentra en el box.

En la siguiente grafica se puede observar cómo los datos tanto de la orientación en el eje X como en el eje Y permanecen sin variación durante un cierto periodo, lo que indicaría que el animal en esos momentos se encuentra quieto o inactivo.

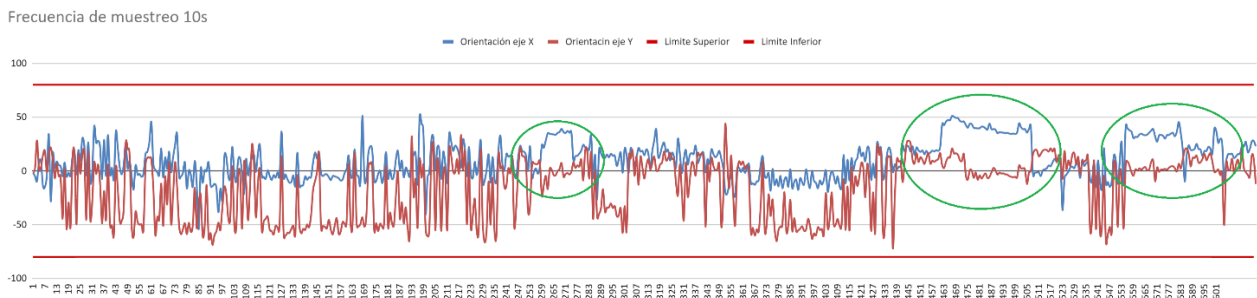


Figura 74 Detección de Inactividad

Mas adelante esta información podría utilizarse como una alarma que indicaría que el animal no se encuentra bien si es que los tiempos de inactividad son muy extensos.

7.5.4.2 Discusión

Los resultados finales de las pruebas realizadas son muy buenos, ya que permiten evidenciar el buen trabajo realizado durante la primera iteración del proyecto dando como resultado un prototipo electrónico que cumple con el alcance inicialmente definido. A continuación, se analizarán los resultados obtenidos y se compararán con el alcance que se definió al inicio del proyecto.

- *Diseño del prototipo final:* Se realizó un prototipo final que consiste en un diseño de una placa electrónica, un gabinete y un firmware para programar el equipo y poder almacenar los resultados obtenidos.
- *Medir al menos 3 parámetros:* El prototipo mide la posición del cuello/cabeza del animal en el eje X, en el eje Y, la temperatura y la posición global donde se encuentra.
- *El prototipo realiza mediciones no invasivas:* por este motivo es que los sensores que se utilizaron no están en contacto directo con el cuerpo del animal para no lastimarlo ni molestarlo.
- *El prototipo es portátil* y se puede trasladar de manera muy fácil ya que pesa unos 230g aproximadamente y está alimentado mediante una pila recargable que le da una autonomía de 30hs como mínimo dependiendo de la configuración establecida.
- *El prototipo es de fácil colocación y utilización,* esto se debe a que solo hay que colocarle la pila recargable, enhebrar el equipo en el cabresto, colocar el cabresto al animal y encender el equipo mediante el botón de encendido. Todo este trabajo puede demorar unos 3 a 5 minutos como máximo.

8 Marco Económico:

Esta etapa del proyecto de investigación se centrará en el análisis de distintas características del entorno, para determinar la viabilidad de este prototipo como un potencial nuevo producto comercial.

Se analizará el entorno, el mercado, los recursos para la puesta en marcha y un breve análisis final de la rentabilidad.

8.2 Entorno

Desde el momento que la idea de este proyecto surgió en 2019 hasta el día de hoy, año 2023, hubo más modificaciones en el entorno de los que se hubiesen podido imaginar. A modo de ejemplificación se puede mencionar el comienzo de una Pandemia, cuarentena mundial, reapertura gradual de las actividades, fin de la pandemia, guerra entre Rusia y Ucrania, e incremento mundial de los costos de vida entre otros. Todas estas variables tuvieron un fuerte impacto en el desarrollo de la economía global.

Para realizar el estudio del entorno, se utilizará el análisis PESTEL. Se definirán y evaluarán una serie de factores macro ambientales, y cómo estos impactan en un proyecto o negocio. El nombre PESTEL surge de las siglas de los factores que se analizan: Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos y Legales.

Factores Políticos:

Analizar el total de la política Argentina, requeriría un extenso debate. En cambio, se han seleccionado una serie de interrogantes a responder para determinar así la posición actual.

Argentina, ¿posee una política estable? No. ¿Por qué? En primer lugar, Argentina está sufriendo una inflación casi descontrolada. Además, el gobierno de turno no tiene la aprobación de gran parte de la población y sumado a eso, 2023 es un año electoral.

Atravesar un periodo de transición o elecciones próximas, incluso para un país desarrollado, podría provocar cierta inestabilidad. Pero para Argentina, actualmente bajo el gobierno de Alberto Fernandez, las elecciones de agosto y octubre 2023 no son el mayor de los problemas. El índice de popularidad de Alberto no es el mejor, incluso dentro de su misma fuerza política, el peronismo.

El oficialismo y la oposición, hoy 18 junio 2023, siguen discutiendo la integración de sus listas.

Más allá de los nombres personales, podría decirse que peronismo y derecha o ultraderecha son las dos principales fuerzas que representarán al electorado en las próximas elecciones, y no hay certeza de cuál de las dos será la vencedora. De esto dependerá el rumbo de

la nación en los próximos 4 años, a sabiendas de que cada uno de estos espacios políticos se encuentran más cerca o más lejos del populismo o liberalismo.

Por lo que es necesario pensar, dependiendo quien gane las elecciones, ¿estaremos más abiertos o cerrados al mercado internacional? ¿Qué acuerdos internacionales se están firmando o se firmarán en los próximos meses? Dolarizar la economía Argentina, ¿sí o no?

Pensar en las elecciones y lo que pase en los próximos 4 años, es pensar a mediano-largo plazo. En la cabeza de los argentinos hay algo más inminente; y es el desembolso que el Fondo Monetario Internacional debería hacer entre julio y octubre, y las condiciones que pueda llegar a imponer para ese desembolso. La desestabilización cambiaria y la devaluación son variables por evaluar si se quiere pensar en un nuevo negocio. Dependiendo de lo que pase con el FMI, ¿Se pondrán nuevas restricciones al mercado cambiario?

Sin respuestas certeras a todos estos interrogantes, el análisis político no es muy animador. Sin embargo, es solo el primero de todos los factores. Se evaluará el factor económico para seguir completando el análisis del entorno.

Factores Económicos:

Para el contexto económico, se seleccionarán algunos aspectos como la estabilidad económica, el nivel socioeconómico del público objetivo, competencia y precios en el mercado de productos similares.

Así como el contexto político, el factor económico también es fluctuante. Aproximadamente cada 5 años Argentina atraviesa un gran proceso de recesión, algunos de ellos duran incluso años.

Se procederá a analizar el presente económico a través de los siguientes indicadores:

El **PBI** mide el valor de los bienes y servicios producidos por un país o región en un tiempo determinado. El PBI nominal de Argentina del 1er trimestre de 2023 es de 701.176 millones de pesos argentinos. Registrando así un incremento con respecto al año anterior de 1,3% y 0,7% con respecto al trimestre anterior. Esto quiere decir que, en términos generales, hubo crecimiento económico. (*Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2023*)

El PBI per cápita es el número anterior dividido por la cantidad de habitantes de ese país y refleja la participación de la población en la riqueza del país. Debido a que la riqueza no se distribuye de manera equitativa en cada individuo, este dato no sirve como análisis del nivel de ingreso por habitante ni como nivel socioeconómico del público.

El PBI analizado de forma aislada puede llevar a conclusiones erróneas. Deben analizarse además otros indicadores, como desigualdad en reparto de riqueza, tasa de empleo, o nivel de pobreza, entre otros.

Se utilizará el **Coefficiente Gini** para medir la desigualdad en la distribución de la riqueza. El valor de este indicador se encuentra entre 0 y 1. Siendo 0 la máxima igualdad (todos los

ciudadanos tienen los mismos ingresos) y 1 la máxima desigualdad (salarios muy desiguales, donde un ciudadano concentra la totalidad de los ingresos). El coeficiente Gini de Argentina para el primer trimestre del 2023 fue de 0,446. Registrando un aumento contra el 0,430 del mismo trimestre de 2022. Lo que indica un aumento interanual de la desigualdad salarial. Si se compara con otras zonas, por ejemplo, los países escandinavos tienen un índice promedio de 0,250, y la zona de la unión europea 0,300. Argentina está ubicada en los últimos tres cuartos de tabla del ranking mundial, con una desigualdad salarial media-alta. (*Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2023*)

Respecto a las tasas de empleo, desocupación y tasa de pobreza, los índices para el primer trimestre del año 2023 son 45% para la tasa de empleo, 6,9% la tasa de desocupación y 29,6% la tasa de pobreza, siendo esta última la situación del 39,2% de las personas en Argentina. (*Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2023*) Esto quiere decir que el 40% de la población de Argentina es pobre y un hogar promedio de 4 integrantes vive con menos de 131.807 pesos argentinos al mes (aproximadamente menos de 500 dólares estadounidenses). (*Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2023*)

El panorama no parece alentador. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el público objetivo de este producto serían los dueños de cabañas, criadores de caballos, entrenadores, jugadores de polo, y demás entusiastas de los caballos y el monitoreo de sus comportamientos. El producto sería lanzado como un gadget para un público con un nivel socioeconómico medio o medio-alto.

En cuanto a la competencia y el precio, se analizó el mercado y actualmente no hay en Argentina un producto de similares características. Hay productos semejantes en distintas partes de Europa como Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Bélgica, España; y además en Estados Unidos. Se ha decidido hacer un apartado especial a este tema y se ampliará la información en el inciso 8.3.

Como respuesta a la problemática de la inflación, se propone definir el valor del producto en dólares.

Factores Sociales:

El hecho de que no haya un producto como este en el mercado Argentino, ¿se debe a que no habría potenciales consumidores o simplemente aún no ha sido desarrollado?

Se analizará brevemente la cultura, variables demográficas y estilo de vida de la población para intentar responder este interrogante.

La lengua, las costumbres, las creencias y tradiciones, el estilo de vida, y el arte y esparcimiento, entre otros, forman la cultura de un grupo determinado. La cultura condiciona los comportamientos de la población, como por ejemplo el consumo.

Argentina es internacionalmente reconocida por un deporte muy popular, como es el fútbol. Sin embargo, en ciertos sectores de la sociedad el rugby y el polo comparten la pasión. En los últimos años el Polo ha crecido exponencialmente, y no está reservado únicamente a la élite de la sociedad. Esta popularización ha logrado visibilidad internacional, siendo los argentinos catalogados como los mejores en este deporte.

Durante la temporada de Polo en Argentina, entre septiembre y Diciembre, se organizan al menos diez torneos. Dos de ellos de renombre internacional; El Abierto de Hurlingham y el Abierto Argentino. El resto del año los jugadores famosos son contratados para participar en los equipos y torneos del hemisferio norte, donde obtienen sus mayores ingresos.

Es un sector abierto a la innovación, con un público amplio, relativamente joven y dispuesto al consumo. Los partidos más importantes pueden llegar a los 30.000 espectadores. Argentina es el país con más jugadores registrados, cerca de 3.000 a nivel nacional.

El estilo de vida del jugador de polo es medio, medio alto. El público aficionado cuenta con un espectro amplio de estratos sociales, contando desde profesionales y gente de negocios afines, hasta petiseros y cuidadores de caballos. Se trata, en general, de personas que viajan por trabajo alrededor del mundo, y con buena predisposición hacia el desarrollo y adelanto tecnológico.

Factores Tecnológicos:

Cuando se menciona la innovación y el adelanto tecnológico, ¿qué tanto es posible?

La industria del Polo ha logrado exportar no solo jugadores, y caballos campeones, sino criadores, petiseros, conocimiento de cría y cuidados, venta de embriones y clonación de caballos, entre otros.

Durante el desarrollo de este trabajo, se ha comprobado que en Argentina existe tecnología de punta aplicada a la salud de los caballos. Desde inseminación artificial, hasta clínicas especializadas para equinos.

Podría estimarse que un aparato electrónico que ayuda a monitorear el comportamiento del caballo sería una ventaja adicional al desarrollo del sector.

Al tratarse este producto de un aparato tecnológico, cualquier cambio de tecnología debería ser evaluado y adoptado en el menor tiempo posible para no quedar obsoleto. Modificaciones, como, por ejemplo: espacio de guardado en la nube, Internet de las cosas, Big Data e Inteligencia Artificial, podrían cambiar no solo los métodos de producción y procesos comerciales, sino el producto mismo.

Por lo tanto, debe seguirse de cerca cada nuevo avance tecnológico.

Factores Ecológicos:

Desde el punto de vista de las preocupaciones medioambientales: el producto puede ser reciclado en gran parte y se trata de un aparato alineado con las tendencias de consumo de cuidado y respeto por los animales.

Algunas de estas cuestiones fueron evaluadas al momento de elegir, por ejemplo, pilas recargables en vez de desechables, y por tratarse de un dispositivo no invasivo ni subcutáneo.

Factores Legales:

El instituto que regula este tipo de dispositivos en Argentina es el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Por este motivo se contactó con el Ing. Luciano S. BLAS Jefe Departamento de Compatibilidad Electromagnética del INTI para analizar las características y el uso previsto del equipo para analizar las normativas que aplican para poder comercializar el producto. Llamativamente la respuesta fue que en Argentina actualmente no existen regulaciones vigentes que apliquen para este dispositivo debido a que el uso previsto es para el sector veterinario, esto quiere decir que se puede comercializar ya que las normativas son de carácter voluntario.

Derechos legislativos:

Para encuadrar el dispositivo se utiliza la Clasificación de Niza, establecida por el Arreglo de Niza (1957), es una clasificación internacional de productos y servicios que se aplica al registro de marcas. Cada cinco años se publica una nueva edición y, desde 2013, cada año se publica una nueva versión de cada edición. <https://www.argentina.gob.ar/inpi/marcas/clasificacion-de-marcas>. En base a esta clasificación el equipo se encuentra en la CLASE 9

Propiedad Intelectual:

La Propiedad Intelectual en Argentina está regulada por el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial ([INPI](#)) y se divide en patentes de invención y modelos de utilidad. Ambos tipos son un derecho de propiedad industrial que otorga el Estado al inventor para ejercer la exclusividad sobre su creación. El proceso de registro de la invención queda a cargo de la Administración Nacional de Patentes (APN).

Las patentes se protegen durante veinte años y los modelos de utilidad diez años.

Reglamentos:

Debido a que las normativas son de carácter voluntario lo que se debe hacer es investigar las normas aplicables a productos similares en el exterior y encuadrar los ensayos para realizarlos a nivel nacional según lo define el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Una de las normas aplicables es IEC 61000 para el ensayo de Compatibilidad electromagnética.

8.3 Mercado

- Competencia

A nivel local y Latinoamérica no se encontraron productos que monitoreen el comportamiento del animal. Considerando que Argentina es el 1er exportador de caballos de Polo y el 3ro en caballos de Pura Sangre, sería interesante poder exportar no solo la materia prima, sino servicios y valores agregados relacionados a los caballos.

Los dispositivos similares que se encontraron en el mercado fueron de Suecia, Reino Unido, USA, Francia, España, Austria y Dinamarca. Estos dispositivos son de uso doméstico, para monitorear la ubicación y la actividad del caballo, están pensados para utilizarse en un ámbito de uso masivo. Nuestra primera diferencia sería que el dispositivo que se está desarrollando estaría destinado a ser una herramienta complementaria que ayude al petisero para poder detectar y prevenir posibles enfermedades.

- Clientes

Para determinar cuáles van a ser los posibles clientes, lo que se hace es centrarnos particularmente en el mercado Argentino, que es a donde se quiere apuntar en un principio. Para esto se consultó con la Asociación Argentina de Criadores de Caballos de Polo (ACCPP) que es la única organización de cría de caballos de polo en Argentina, y lleva más de 150 años trabajando con todos los productores en Argentina. Hoy en día llevan más de 90.000 caballos registrados y cuentan con el apoyo de más de 70 productores. Por otro lado, en la Asociación Argentina de Polo (AAP) se encuentran registrados 271 clubes en todo el país, con un total de 3.000 jugadores profesionales.

El equipo va a ser una herramienta más que va a acompañar el crecimiento del caballo en todas sus etapas de formación, por lo tanto, lo van a poder utilizar desde los productores, los clubes, e incluso los jugadores profesionales que en su mayoría tienen sus propios establecimientos con sus caballos.

8.4 Recursos para puesta en marcha

En base al punto anterior se realizará un plan de negocio para poder estimar todos los recursos necesarios para la puesta en marcha.

Para poder llevar a cabo este plan se tomaron como referencia las planillas predeterminadas de la página plantillasmil.com que simplifican el análisis y contemplan cuatro puntos fundamentales como son Inversión, Financiación, Gastos Operativos y Ventas.

Nota: Se utilizará el dólar como moneda oficial y se contempla un escenario sin inflación.

● **Inversiones:**

En este punto se detalla el dinero disponible a invertir para el comienzo del negocio. La Inversión total sería de USD 22.000, compuesta por:

- Inversión en Activos: U\$D 8.500
- Stock Inicial: U\$D 2.000
- Gastos y provisiones: U\$D 13.500

En esta primera etapa el mayor gasto viene dado entre el stock inicial y los gastos y provisiones debido a que el primer año se basará en desarrollar 20 prototipos funcionales que se distribuirán en diferentes establecimientos y se les hará un seguimiento para ver como se comporta el equipo. Una vez recolectada esta información y con el acompañamiento de los posibles clientes se desarrollará la segunda iteración del proyecto que dará como resultado un producto final que estará listo para ser comercializado a principios de 2025.



Figura 75 Inversiones

- **Financiación:**

En este punto se describe de dónde proviene el dinero necesario para poder llevar a cabo la inversión que se analizó en el punto anterior (U\$D 22.000). En este caso se optó por una inversión que será llevada a cabo por el aporte de los socios fundadores en su totalidad.

- **Gastos Operativos:**

En este punto se detallan todos los gastos del negocio en un período de 5 años. Estos gastos se dividen en gastos operativos y gastos de personal.

PASO 3: ¿CUÁLES SON LOS GASTOS DEL NEGOCIO?						
Gastos anuales		2025	2026	2027	2028	2029
		32,840.00	49,920.00	52,260.00	56,262.00	77,496.60
Gastos Operativos	Mensual	2025	2026	2027	2028	2029
	Variac.					
Alquileres	400.00	4,800.00	4,800.00	4,800.00	5,760.00	5,760.00
Alquiler de vehículos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mantenimiento y limpieza	20.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00
Publicidad y promoción	500.00	6,000.00	7,800.00	10,140.00	13,182.00	17,136.60
Telefonía e Internet	40.00	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00
Electricidad, gas y agua	80.00	960.00	960.00	960.00	960.00	960.00
Material de oficina	40.00	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00
Asesorías		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seguros	50.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00
Viajes, dietas y alojamientos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tributos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gastos establecimiento (iniciales)		2,000.00				
Total gastos		15,560.00	15,360.00	17,700.00	21,702.00	25,656.60
Gastos de personal	%	2025	2026	2027	2028	2029
Número empleados		1	2	2	2	3
Sueldo bruto mensual (medio)		1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00
% Variación anual						
Nómina bruta		14,400.00	28,800.00	28,800.00	28,800.00	43,200.00
% costo empresa	20.0%	2,880.00	5,760.00	5,760.00	5,760.00	8,640.00
Gastos de personal		17,280.00	34,560.00	34,560.00	34,560.00	51,840.00

Figura 76 Gastos Operativos

De los gastos operativos se puede observar que el mayor porcentaje viene dado por el alquiler de las oficinas y la fuerte inversión en publicidad y promociones, que va a ser la principal estrategia de negocio para lograr una buena presencia en el mercado local. Esta publicidad va a contemplar tanto la presencia en redes sociales como presencia personal en las diferentes competencias de polo que se realicen en Argentina.

Más adelante se volverán a citar varios datos que aparecen en esta planilla para justificar la evolución de las ventas en el transcurso de los próximos años.

- Ventas:

Este punto es uno de los más importantes a la hora de analizar la viabilidad del proyecto ya que se estimarán los ingresos que se llevarán a cabo en los próximos 5 años.

Los ingresos van a estar determinados por la venta de equipos, accesorios y las suscripciones anuales. En el caso de las ventas de equipos, esto va a contemplar el equipo con los accesorios principales y por otro lado, la venta de suscripciones contempla la posibilidad de ingresar a la web y poder monitorear hasta 10 equipos por suscripción.

Teniendo en cuenta los datos analizados anteriormente, se puede afirmar que el mercado es muy prometedor en base a la cantidad de criadores, clubes y caballos. En base a estos datos se estima que hay un mercado de al menos 45.000 caballos que podrían utilizar el equipo.

A continuación, se muestra la tabla de ingresos estimados en los próximos 5 años.

PASO 4: ¿CUÁNTO VOY A VENDER E INGRESAR?								
				2025	2026	2027	2028	2029
Ventas (total)				54,103	81,154	121,731	182,596	273,894
<i>Costo de las ventas</i>				34.27%	34.27%	34.27%	34.27%	34.27%
Previsión de VENTAS				2025	2026	2027	2028	2029
Productos / Servicios	Precio	% M.B.	% Var.	Previsión de ventas en unidades				
EquiTech 1.0	140.00	50.0%	50.0%	170	255	383	574	861
Servicio Suscripción Anual	240.00	80.0%	50.0%	119	179	268	402	602
Cabreso Equitech 1.0	45.00	50.0%	50.0%	26	38	57	86	129
Batería recargable	15.00	40.0%	50.0%	17	26	38	57	86
Cargador de Batería	20.00	40.0%	50.0%	17	26	38	57	86
				0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0
Total n° ventas				349	523	784	1,176	1,764
<i>Variación anual PRECIO</i>				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Total ventas				54,103	81,154	121,731	182,596	273,894
Margen Bruto				35,560	53,340	80,009	120,014	180,021
				65.73%	65.73%	65.73%	65.73%	65.73%
Costo de las Ventas				18,542.75	27,814.13	41,721.19	62,581.78	93,872.67
				34.27%	34.27%	34.27%	34.27%	34.27%

Figura 77 Plan de Ventas

Lo primero que se puede observar es que la estimación de venta de equipos comienza en 2025 que es cuando se tiene la primera versión comercializable.

En la primera columna a la izquierda se encuentran los productos, seguido de los precios por productos, luego la columna de %MB que representa el margen bruto por producto estimado en porcentaje y la columna de %var que representa la variación de las ventas con respecto al año anterior.

En base al análisis anteriormente mencionado, se puede observar que el plan de ventas para los primeros 2 años es poder alcanzar el 1% del mercado en unidades vendidas, esto equivale a unos 420 equipos aproximadamente. Para esto se contempla una fuerte inversión en publicidad y promoción que comenzará con U\$D 6.000 el primer año y un solo empleado. Para el segundo año la inversión en publicidad aumenta un 30% y se sumará un empleado para satisfacer la demanda. En los siguientes años la previsión de ventas va a seguir con una variación del 50% con respecto al año anterior y se va a mantener el aumento en las inversiones de publicidad y promoción estipulada en un 30% para acompañar la planificación de venta de equipos.

Por otro lado la venta de suscripciones que se estiman vender van a ser un porcentaje de la venta de equipos debido a que el productor puede utilizar hasta 10 equipos con una sola suscripción.

En la parte inferior se pueden ver los costos asociados a la planificación y el margen bruto que se utilizarán más adelante para analizar la viabilidad de la inversión.

8.5 Análisis de la Rentabilidad y Viabilidad

Ahora bien, para poder hacer un análisis lo más completo posible es necesario revisar la planilla de Pérdidas y Ganancias previstas, que contempla las ventas totales con sus costos y los márgenes brutos. Además, contempla los gastos de personal y los gastos corrientes, las amortizaciones, los gastos financieros y el impuesto a las ganancias de sociedades.

En la siguiente figura se puede observar la planilla de Pérdidas y Ganancias previstas.

PÉRDIDAS Y GANANCIAS previstas					
Presupuesto	2025	2026	2027	2028	2029
Total VENTAS	54,103	81,154	121,731	182,596	273,894
Coste de Venta	18,543	27,814	41,721	62,582	93,873
MARGEN Bruto	35,560	53,340	80,009	120,014	180,021
Gastos de Personal	17,280	34,560	34,560	34,560	51,840
Gastos Corrientes	15,560	15,360	17,700	21,702	25,657
Resultado Operativo - EBITDA	2,720	3,420	27,749	63,752	102,525
Amortizaciones - Depreciaciones	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050
B.A.I.I. - EBIT	1,670	2,370	26,699	62,702	101,475
Gastos financieros (intereses)	0	0	0	0	0
Resultado Bruto - BAI	1,670	2,370	26,699	62,702	101,475
Impuesto sociedades 35.0%	584	829	9,345	21,946	35,516
RESULTADO Neto	1,085	1,540	17,355	40,756	65,959
% S/Ventas	2.01%	1.90%	14.26%	22.32%	24.08%

Figura 78 Pérdidas y Ganancias

- ❖ El Margen Bruto es igual al total de ingresos por ventas menos los costos de venta.
- ❖ El Resultado Operativo es el resultado de restarle al Margen Bruto los costos de ventas, los gastos de personal y los gastos corrientes.
- ❖ EBIT son los Beneficios antes de Intereses e Impuestos.
- ❖ BAI son los Beneficios antes de Impuestos.
- ❖ Resultado Neto es el beneficio anterior menos impuestos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede ver que en los dos primeros años el resultado es casi nulo. Solo recién al finalizar el 3er año, se van a obtener resultados positivos (ganancias) y sumando el acumulado de los 3 años, se recupera la inversión inicial de 22.000 USD planteada al inicio en el punto 8.4. Para el 4to y 5to año los resultados son mucho más alentadores obteniendo una ganancia de U\$D 40.756 anual y U\$D 65.959 respectivamente.

9 Conclusiones

Cuando se inició el proyecto el objetivo era lograr un prototipo funcional que monitoree el comportamiento de los caballos de polo cuando los mismos se encuentran en el box. Se realizó un fuerte trabajo de investigación para poder detectar necesidades en la industria ecuestre donde se realizaron varias visitas a diferentes establecimientos, charlas con petiseros y eminencias de la industria. Una vez detectadas estas necesidades se pasó a una etapa de investigación de las tecnologías existentes en el mercado para ver si el prototipo se podía llevar a cabo técnicamente. Una vez definido todos los materiales que se iban a utilizar se comenzó con el desarrollo de la placa electrónica, luego se pasó a la programación del firmware y por último al diseño del gabinete.

Una vez que se finalizaron los diseños llegó la hora de la puesta en marcha del equipo y la etapa de ensayos y pruebas.

Las pruebas realizadas fueron muy alentadoras confirmando que el prototipo cumple con las expectativas esperadas. Por otro lado, se realizó un plan de negocio para analizar la viabilidad del proyecto y los resultados obtenidos fueron positivos.

Como conclusión se pudo lograr un prototipo funcional que monitoree la salud de los equinos y que se pueda adaptar al mercado.

Si bien la industria hípica argentina posee una alta intervención humana, con mano de obra excelentemente calificada, irremplazable por el avance tecnológico y las máquinas, es necesario empezar a incursionar con las nuevas tecnologías en la actividad ecuestre. Está comprobado que, con el correcto uso, la tecnología puede favorecer al desarrollo de la actividad. Y creo que la industria equina no está exenta.

Por este motivo es que este dispositivo podría ser una pieza fundamental para comenzar a introducir la tecnología en esta industria que va a fortalecer aún más a la producción nacional, mejorar aún más los cuidados de los animales y poder lograr un conocimiento mayor de su comportamiento que nos permita llegar al máximo de su potencial.

Este proyecto es un claro ejemplo de cómo es posible utilizar los conocimientos obtenidos en la facultad para generar necesidades en industrias que hace algunos años eran impensadas, utilizar una metodología de trabajo y lograr un dispositivo que cubra estas necesidades y generar una oportunidad de negocio en una industria que tiene muchísimo potencial.

10 Trabajos a futuro para la segunda iteración:

La segunda iteración va a tener como objetivo lograr un producto final que se pueda comercializar en Argentina para principios de 2025. Para poder lograr esto a continuación se detallan todos los puntos a seguir.

- Ensamblar 15 prototipos funcionales listos para ensayar tanto en ensayos internos como externos.
- La distribución de los prototipos se va a dar de la siguiente manera:
Se destinarán 3 prototipos para pruebas internas para evaluar el envejecimiento de la batería y el resto se va a distribuir con los productores que participaron en la primera etapa del proyecto donde se realizarán visitas a los establecimientos, se le hará entrega de los prototipos y un acceso a la web donde pueden reportar los eventos de los animales.
- Obtener un seguimiento de los datos y de las oportunidades de mejora por parte de los usuarios: Se realizará un seguimiento personalizado con los usuarios mediante la web y comunicaciones telefónicas con el objetivo de poder recolectar la mayor información posible.
- Analizar y definir el nuevo diseño del equipo: En base a los datos obtenidos y el feedback de los usuarios se comenzará con las etapas de la segunda iteración. (Determinación de Objetivos, Análisis de Riesgo, Desarrollos y Pruebas y Planificación/Evaluación).

A continuación, se muestra el calendario de los trabajos a futuro.

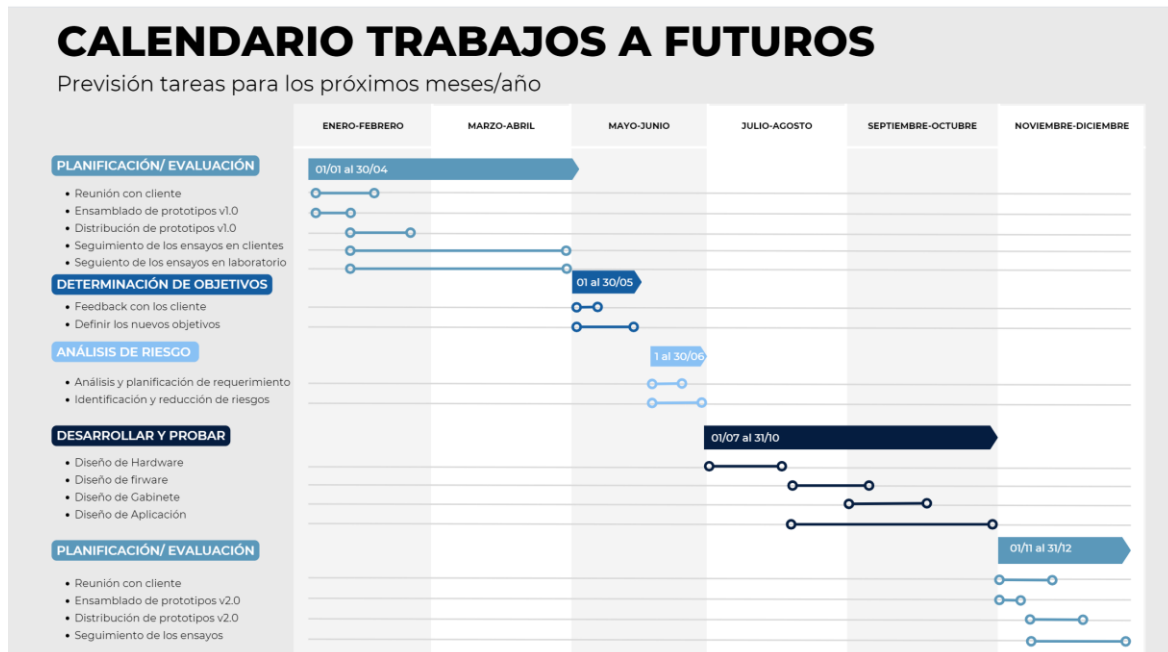


Figura 79 Calendario Trabajos a Futuro

11 Bibliografía:

AACCP. 2022. Asociación Argentina de Criadores de Caballos de Polo. AACCP. [En línea] Paisanos.io, 2022. www.criapoloargentino.com.ar.

Adafruit Industries. 2017. <https://www.adafruit.com/>. [En línea] 2017. https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Adafruit%20PDFs/4654_Web.pdf.

Álvarez, David Abelardo García. 2008. Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM). UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID. [En línea] 2008. <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>.

Aparicio, Miguel Pareja. 2010. *Diseño y desarrollo de circuitos impresos con KICAD*. Madrid : RC Libros, 2010.

CYPRESS EMBEDDED IN TOMORROW. 2018. <http://www.cypress.com/>. [En línea] 19 de 04 de 2018. [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-AN98508_Infineon_Serial_Peripheral_Interface_\(SPI\)_FL_Flash_Layout_Guide-ApplicationNotes-v05_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7cdc391c017d0cfa551f57ea](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-AN98508_Infineon_Serial_Peripheral_Interface_(SPI)_FL_Flash_Layout_Guide-ApplicationNotes-v05_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7cdc391c017d0cfa551f57ea).

DFRobot. 2021. www.DFRobot.com.cn. [En línea] 2021. <https://download.kamami.pl/p573315-FireBeetle%20Board-ESP32%20User%20Manual%20update.pdf>.

EPSON. 2019. epon.com. [En línea] 2019. https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/.

GUGLIELMINETTI, Dr. Alejandro. 2019. *Entrevista Dr. Alejandro Guglielminetti* -. Centro Kawell de Rehabilitación Hospitalaria de Equinos., AGOSTO de 2019.

Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC. 2023. Evolución de la distribución del ingreso (EPH) Primer trimestre de 2023 - Trabajo e ingresos. Vol. 7, n° 6. [En línea] Junio de 2023. https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ingresos_1trim23FE81E6BC4E.pdf.

—. 2023. Informe 1er trimestre 2023 - Cuentas nacionales Vol. 7, n° 10. [En línea] Junio de 2023. https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/pib_06_2380B0E11233.pdf.

—. 2023. Mercado de trabajo. Tasas e indicadores socioeconómicos (EPH) - Primer trimestre de 2023 - Trabajo e ingresos. Vol. 7, n° 5. [En línea] Junio de 2023. https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/mercado_trabajo_eph_1trim234267B9F5D1.pdf.

InvenSense Inc. 2013. <https://invensense.tdk.com/>. [En línea] 19 de 08 de 2013. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.

INVENSENSE INC. 2016. <https://invensense.tdk.com/>. [En línea] 2016. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.

Ka Nang Leung. 2003. A Capacitor-Free CMOS Low-Dropout Regulator. [aut. libro] Ka Nang Leung. *IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 38, NO. 10*. 2003.

Marta Arenas Mas. 2008. Cap. 4 - Sensor medidor de Aceleración. AUTOR: Marta Arenas Mas - *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE ACELERACIONES CON PROCESAMIENTO MEDIANTE MICROCONTROLADOR*. [En línea] JUNIO de 2008. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11638/descargar_fichero/Capitulo+4.pdf.

Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca. 2023. Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca. *Informacion Estadística ' Existencias.* [En línea] 2023. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/equinos/informacion_estadistica/.

Ministerio Economía - Secret. Agricultura, Ganadería y Pesca. 2023. Ministerio Economía - Secret. Agricultura, Ganadería y Pesca. *Equinos - Producción Primaria.* [En línea] 2023. <https://www.argentina.gob.ar/senasa/programas-sanitarios/cadenaanimal/equinos/equinos-produccion-primaria>.

MOHAN, NED. 2009. *ELECTRÓNICA DE POTENCIA Convertidores, aplicaciones y diseño.* Mexico : McGraw-Hill , 2009. Tercera edición.

Reboul José Manuel Quero. 2011. Universidad de Sevilla Dpto. de Ingeniería Electrónica Microsistemas. [En línea] 2011. https://woody.us.es/ASIGN/SEA/pracs/Eval_Gir_con_datasheet.pdf.

Richtek Technology Corporation. 2018. <https://www.richtek.com/>. [En línea] Mayo de 2018. https://www.richtek.com/assets/product_file/RT9080/DS9080-07.pdf.

SENASA. 2019. SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENT. [En línea] 2019. <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/equinos>.

Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd. 2020. <http://www.simcom.com/>. [En línea] 07 de 18 de 2020. https://cdn.geekfactory.mx/sim7000g/SIM7000%20Series_AT%20Command%20Manual_V1.06.pdf. SIM7000 Series_AT Command Manual_V1.06.

—. **2015.** <https://en.simcom.com/>. [En línea] 2015. https://www.elecrow.com/download/SIM800%20Series_GNSS_Application%20Note%20V1.00.pdf. SIM800 Seires_GNSS_Application Note_V1.00.

—. **2018.** <https://en.simcom.com/>. [En línea] 24 de 12 de 2018. <https://es.scribd.com/document/665672432/Sitecom-SIM7000-Hardware-Design-V1-03#>. SIM7000 _Hardware Design_V1.03.

Tisera et al, Jorge. 2009. SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL. *RAZAS EQUINAS - TP MV Jorge Tisera y otros.* [En línea] 2009. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_equinos/curso_equinos_I/22-razas_equinas_2009.pdf.

Universidad de Sevilla. 2012. Universidad de Sevilla Diseño Integrado, Capitulo 4 SENSOR MEDIDOR DE ACELERACIÓN. [En línea] 2012. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11638/descargar_fichero/Capitulo+4.pdf.