

Análisis de Factibilidad y Costos de Prototipos de Collar para Control de Ganado Ovino

Informe de Proyecto Social

Estudiantes:

Gianfranco Mangieri, Camila Oñate, Magalí Otazo, Matías Ramirez y
Fabio Vidal

Director:

Jorge Cogo

Universidad Nacional de Río Negro - 2025

Índice

Capítulo 1 Introducción.....	2
Capítulo 2 Descripción de Prototipos.....	2
2.1 Prototipo 1: Collar Completo con LoRaWAN, Tracker en Vivo y Cerca Electrónica..	4
2.2 Prototipo 2: Tracker en Vivo sin Cerca Electrónica.....	5
2.3 Prototipo 3: Cerca Electrónica con Configuración Local sin Conectividad.....	6
2.4 Prototipo 4: Registrador Local de Posiciones (Data Logger).....	7
2.5 Conexión LoRaWAN.....	8
Cálculo de cobertura necesaria.....	10
2.6 Servidor y Base de Datos.....	11
2.7 Aplicación.....	13
Capítulo 3 Análisis de Costos.....	13
Capítulo 4 Alternativas.....	15
Capítulo 5 Conclusión.....	16
Bibliografía.....	17
ANEXOS.....	19
ANEXO 1 Tablas de Componentes por Sistema.....	19
ANEXO 2 Opciones de Sistemas.....	27
ANEXO 3 Posibles Combinaciones para Prototipos.....	35
ANEXO 4 Combinaciones para Prototipos.....	38
ANEXO 5 Comparación de Componentes.....	58

Capítulo 1 Introducción

Durante el relevamiento de necesidades llevado a cabo el día 29 de octubre de 2025, en el marco del Proyecto Social “Conectividad en la Región Sur”, integrantes de la Universidad Nacional de Río Negro, vinculados a las carreras del área de turismo y a investigaciones en curso sobre la ganadería en la Región Sur —entre ellos el Sr. Sebastián Di Nardo— hicieron énfasis en una problemática crítica: la vulnerabilidad de los rebaños ante la falta de herramientas de supervisión. En particular, se destacó la preocupación frente a la depredación por fauna silvestre, así como la incertidumbre sobre la ubicación y estado del ganado ovino en zonas extensas y con limitada infraestructura de conectividad.

A partir de estas inquietudes, surgió la necesidad de evaluar la incorporación de tecnologías que permitan asistir al productor en la gestión del ganado, adecuadas a las condiciones técnicas y económicas de la región. En este contexto, el presente informe tiene como objetivo analizar, comparar y evaluar la factibilidad técnica y económica de distintos prototipos para un collar inteligente destinado al control y monitoreo de ganado ovino en la Línea Sur de Río Negro.

Los requerimientos planteados por los interesados fueron traducidos a soluciones tecnológicas concretas, dando lugar a la definición de distintas funcionalidades —como geolocalización, seguimiento en vivo, cercado electrónico y monitoreo remoto— que se materializan en cuatro posibles prototipos, ordenados de mayor a menor complejidad funcional y de mayor a menor costo estimado:

1. Collar Completo con LoRaWAN, Tracker en Vivo y Cerca Electrónica
2. Tracker en Vivo sin Cerca Electrónica
3. Cerca Electrónica con Configuración Local sin Conectividad
4. Registrador Local de Posiciones (Data Logger)

Cada propuesta supone un equilibrio entre funcionalidades, infraestructura necesaria y mantenimiento operativo, permitiendo evaluar alternativas acordes a las necesidades y limitaciones del contexto productivo regional.

Capítulo 2 Descripción de Prototipos

Para el desarrollo de los prototipos, se optó por una estrategia de dividir el diseño en “sistemas” y “subsistemas”, que agrupan potenciales componentes electrónicos a usar. La siguiente tabla muestra los sistemas, subsistemas y componentes pensados para la creación de los diferentes prototipos.

Sistema	Subsistema	Componente	Función
Microcontrolador Principal			Maneja la lógica del Collar
		Microcontrolador	Maneja la lógica del Collar
		Programación	Programar el Collar o extraer datos de el

		RTC	Reloj de Tiempo Real
		Memoria	Guardar los datos, por ejemplo el perímetro y posición
Alimentación Principal			Alimentación principal del Collar
		Batería y Portabatería	Almacenamiento de la energía que alimentara el Collar
		Reed Switch	Interruptor que abre o cierra el paso a la energía
		Alimentación IN	Lógica necesaria para regular la alimentación
LoRa			
		LoRa	Sistema de Comunicación inalámbrica
GPS			
		GPS	Sistema de Geolocalización
Actuadores			Mecanismo de Corrección hacia el Animal
		Actuador Sonoro	Corrección mediante Sonido
	Actuador de Voltaje	Batería y Portabatería	Almacenamiento de la energía que energiza el Actuador de Voltaje
		Reed Switch	Interruptor que abre o cierra el paso a la energía
		Alimentación IN	Lógica necesaria para regular la alimentación
		Actuador de Voltaje	Corrección mediante Voltaje
Sensores de Peligro			Detectar actividad peligrosa y/o sensor datos biométricos
		Sensor de Pulso Cardíaco	Sensar el Pulso Cardíaco
		Acelerómetro y Giroscopio	Sensar el movimiento

Tabla 1: Sistemas, subsistemas y componentes base de los prototipos.

Debido a la gran variedad de componentes electrónicos existentes, que pueden agrupar o no las diferentes funciones necesarias para la creación de uno o varios sistemas, se decidió crear varias tablas (ver ANEXO 1). Allí se describen los potenciales componentes y se los agrupa por sistema.

Al haber componentes electrónicos que cumplen la misma funcionalidad, se aplicó un criterio de selección para descartar algunos. Este proceso de descarte se puede

observar en las tablas del ANEXO 5, donde se puede apreciar que el mismo se produjo en base al costo y/o al consumo energético excesivo.

Al conocer qué componentes electrónicos pueden efectivamente conformar un sistema, se optó por crear varias tablas que muestran diferentes combinaciones de componentes por sistema. Estos terminaron conociéndose como “opciones” y se pueden visualizar en el ANEXO 2.

Al ya tener las diferentes posibles opciones de los sistemas, quedan unirlos para conformar los diferentes Prototipos. Para ello se crearon unas tablas intermedias, que se pueden encontrar en el ANEXO 3, en las que se identifican qué opciones son aptas para cada Prototipo. Cabe aclarar que hay componentes, por ejemplo los Heltec (además de tener el Sistema del Microcontrolador Principal, ya vienen con GPS y LoRa), que son placas integradas que ya cumplen con varias funcionalidades de los sistemas creados, por lo que simplifica las combinaciones.

Teniendo estas tablas intermedias, se crearon las últimas tablas (ANEXO 4) que muestran las diferentes combinaciones aptas para cada Prototipo. Aquí se muestran los precios finales de cada prototipo (sin contemplar el costo del envío) por cada combinación obtenida.

2.1 Prototipo 1: Collar Completo con LoRaWAN, Tracker en Vivo y Cerca Electrónica

El primer prototipo analizado es el más avanzado y completo de todos los modelos estudiados. Este diseño integra simultáneamente tres funciones principales: el seguimiento en vivo de cada animal, la implementación de una cerca electrónica capaz de generar estímulos correctivos, y la posibilidad de gestionar de manera remota los límites de pastoreo a través de una aplicación dedicada.

Para habilitar estas funciones se requiere una comunicación estable entre los collares y la aplicación. En la etapa de evaluación tecnológica se consideraron distintas alternativas, entre ellas LoRaWAN y Meshtastic. Si bien Meshtastic es una opción interesante para redes pequeñas o experimentales, se determinó que no es adecuada para un escenario con múltiples collares debido al riesgo de saturación del canal provocado por el constante reenvío de mensajes entre nodos. En contraste, LoRaWAN ofrece un esquema de comunicación más eficiente, escalable y robusto, con menor probabilidad de congestión y mejor adaptado a aplicaciones de IoT distribuidas en áreas rurales extensas. Por este motivo se seleccionó LoRaWAN como la tecnología principal para este.

Para poder producir este prototipo se requieren diversos componentes electrónicos y estructurales que permiten integrar las funcionalidades de posicionamiento, comunicación inalámbrica y cerca electrónica.

En términos generales, el Prototipo 1 es el que ofrece mayor funcionalidad, versatilidad y capacidad de monitoreo, constituyendo una solución integral para el manejo del ganado. Sin embargo, estas ventajas se obtienen a costa de un mayor precio, tanto en materiales como en infraestructura, así como de mayores requisitos de

alimentación y mantenimiento. Aun así, para casos donde el control preciso y la supervisión continua sean indispensables, este diseño representa la alternativa más completa y tecnológicamente avanzada. Este Prototipo se visualiza en la Figura 1 mediante un diagrama en bloques que representa los componentes que lo conforman.

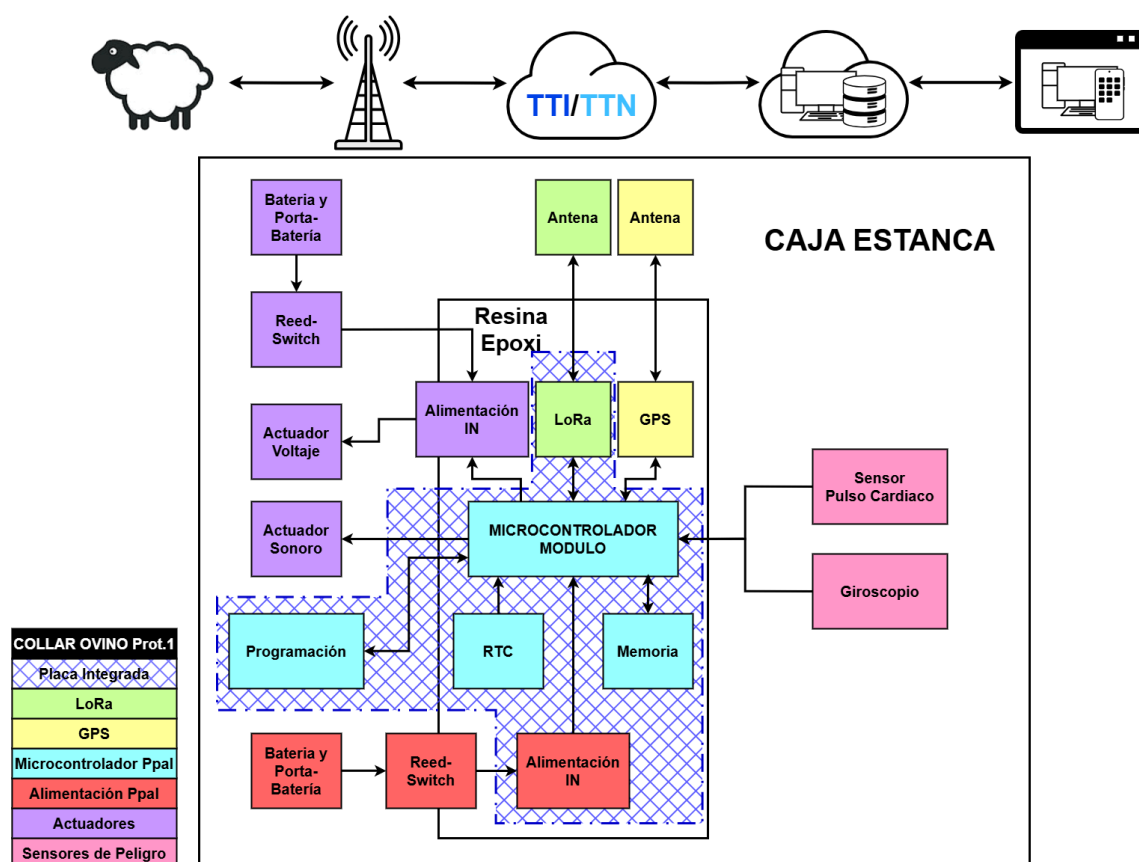


Figura 1: Prototipo 1 Collar Ovino.

2.2 Prototipo 2: Tracker en Vivo sin Cerca Electrónica

El segundo prototipo propuesto constituye una variante simplificada del diseño más completo. En este caso se mantiene la funcionalidad de seguimiento en vivo del ganado, permitiendo al productor conocer en tiempo real la ubicación de cada animal, pero se prescinde completamente del sistema de cerca electrónica y de los componentes asociados al estímulo correctivo. Esta modificación reduce los costos de fabricación y simplifica la estructura del dispositivo, sin comprometer la capacidad de monitoreo remoto, que continúa siendo el principal objetivo de esta versión.

Al igual que en el prototipo anterior, esta variante requiere un sistema de comunicación inalámbrica confiable para transmitir la posición del animal hacia una aplicación de gestión. Por coherencia y compatibilidad con la infraestructura del proyecto, se propone nuevamente el uso de LoRaWAN.

La eliminación del módulo de cerca electrónica permite simplificar tanto el diseño físico como la electrónica interna, ya que se descarta la necesidad de un sistema

de estimulación y del refuerzo estructural asociado. De este modo, el conjunto de componentes necesarios para su fabricación es prácticamente el mismo que el del Prototipo 1, con la excepción de aquellos elementos vinculados al mecanismo de corrección. Esta simplificación queda demostrada en la Figura 2, en la que se puede observar cómo dicho diagrama es exactamente el mismo que el de la Figura 1, pero sin los mecanismos de corrección.

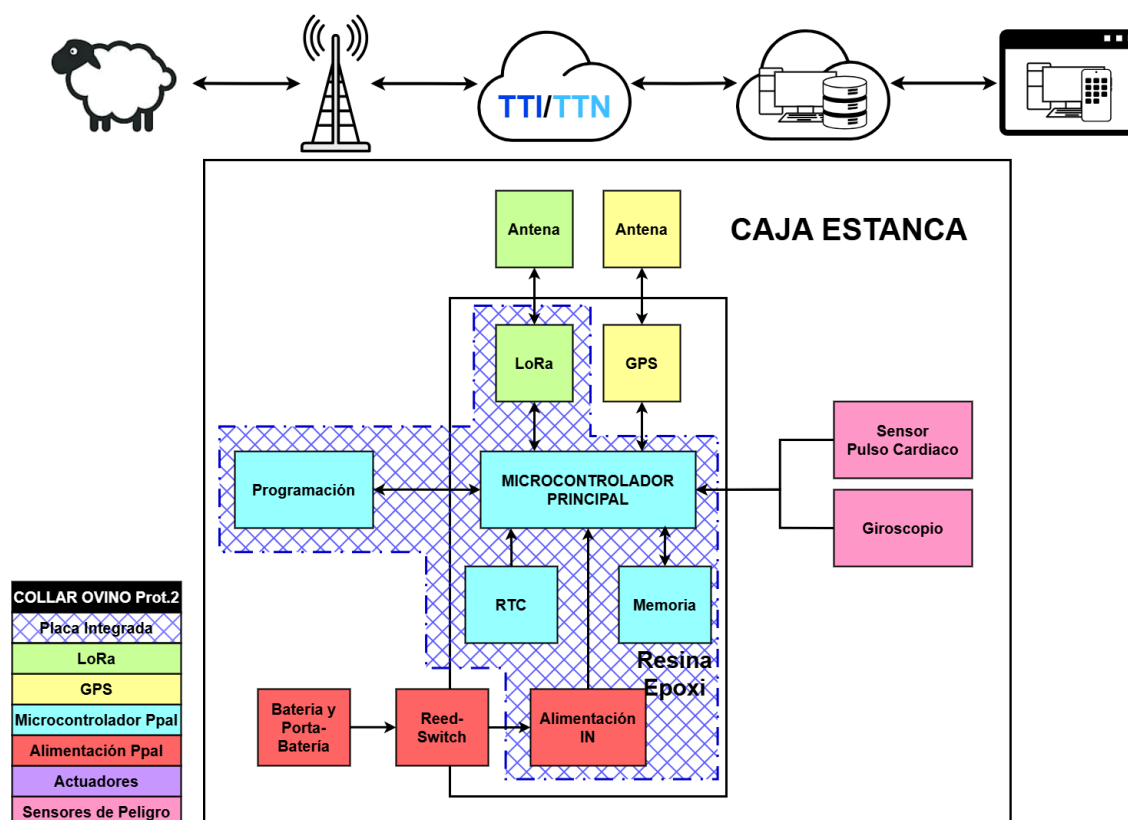


Figura 2: Prototipo 2 Collar Ovino.

2.3 Prototipo 3: Cerca Electrónica con Configuración Local sin Conectividad

El tercer prototipo plantea un enfoque intermedio que busca conservar la funcionalidad de cerca electrónica, pero reduciendo significativamente los costos operativos al eliminar todo el sistema de conectividad remota. A diferencia de los modelos anteriores, este diseño no incorpora un módulo de comunicación ni una aplicación asociada, lo que implica que el productor no puede monitorear en tiempo real la posición del ganado ni modificar los límites del área de pastoreo desde la distancia. En su lugar, el collar funciona de manera completamente autónoma y depende de configuraciones que se cargan manualmente en la memoria del dispositivo antes de colocarlo en el animal.

La decisión de remover la infraestructura LoRaWAN, el acceso a Internet y el servidor de aplicación reduce tanto el costo inicial como la complejidad técnica del sistema. Esto hace que el prototipo sea particularmente adecuado para escenarios en los

que el monitoreo remoto no es indispensable, pero sí es necesario establecer límites para mantener al ganado dentro de una zona controlada. El dispositivo detecta cuando el animal se acerca o supera los límites precargados y aplica un estímulo correctivo según la configuración establecida, de forma similar al Prototipo 1, aunque sin interacción externa ni actualización dinámica de las zonas.

Al prescindir de los módulos de comunicación, este diseño depende exclusivamente de sus sensores internos y del contenido almacenado en la memoria local, tal como se visualiza en el diagrama de componentes de la Figura 3. Por lo tanto, la lista de componentes necesarios se ve simplificada y adaptada al propósito de la cerca electrónica autónoma.

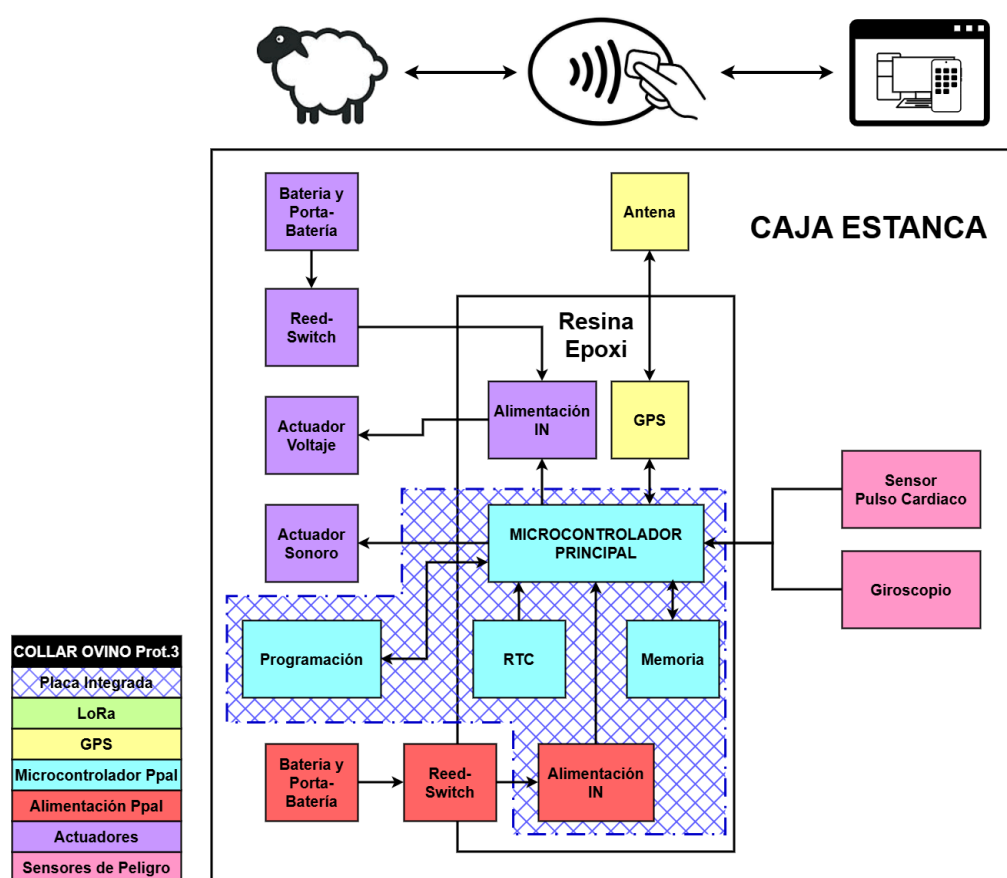


Figura 3: Prototipo 3 Collar Ovino.

2.4 Prototipo 4: Registrador Local de Posiciones (Data Logger)

El cuarto y último prototipo representa la alternativa más simple y económica dentro del conjunto de diseños evaluados. En este caso, el collar no incorpora conectividad remota ni funciones de cerca electrónica; su objetivo principal es registrar periódicamente la posición del animal en una memoria interna, permitiendo que el productor descargue los datos manualmente cuando lo considere necesario. Este enfoque elimina por completo la necesidad de infraestructura externa, servidores, gateways o aplicaciones, lo que reduce de manera significativa los costos de implementación y mantenimiento.

Este dispositivo funciona como una herramienta de análisis más que como un mecanismo de control en tiempo real. El ganadero puede retirar el collar o conectarlo físicamente a un lector para obtener los datos registrados y visualizar, en un mapa u otra interfaz, las áreas más frecuentadas por el ganado, zonas potencialmente peligrosas o sectores donde suelen congregarse los animales. Esta información puede resultar útil para planificar estrategias de manejo, identificar fallas en cercos físicos o incluso optimizar el uso del terreno, aunque no permite intervenir durante el comportamiento del animal.

Debido a su simplicidad, los componentes requeridos son reducidos y se limitan a lo estrictamente necesario para obtener y almacenar coordenadas de posición. Dichos componentes se visualizan en el diagrama en bloques de la Figura 4.

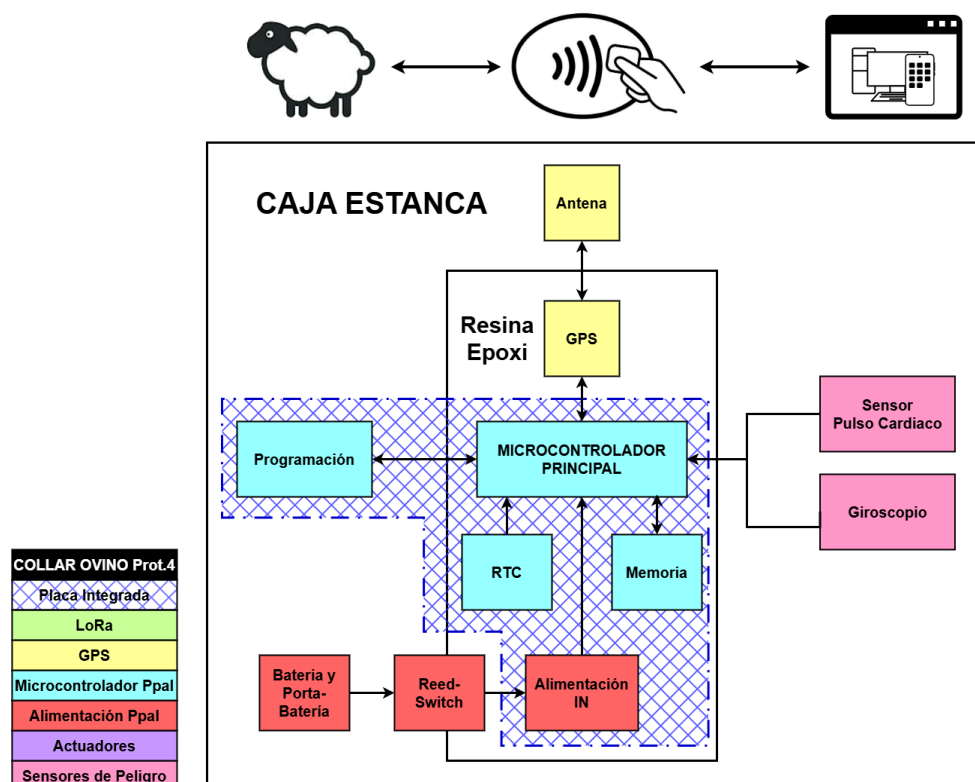


Figura 4: Prototipo 4 Collar Ovino.

2.5 Conexión LoRaWAN

Para aquellos prototipos que integran una aplicación móvil o plataforma de monitoreo remoto, es indispensable contar con una red LoRaWAN que permita la comunicación de largo alcance entre los collares y la infraestructura de backend. La elección de esta tecnología responde a su bajo consumo energético, su capacidad para operar en zonas rurales sin cobertura celular y su adecuada relación entre alcance y capacidad de transmisión. Sin embargo, su implementación también plantea ciertas limitaciones que deben ser tenidas en cuenta al dimensionar el sistema.

Uno de los aspectos principales es el rango de cobertura. Dependiendo de la ubicación del Gateway y de las características del terreno, la cobertura efectiva puede variar y, en algunos casos, resultar insuficiente para áreas muy amplias. En este análisis se consideró como referencia un campo equivalente a una legua de campo, es decir, aproximadamente 2500 hectáreas, lo cual permite evaluar el comportamiento de la red en un escenario representativo. Asumiendo un establecimiento con 1000 ovejas, se analizó adicionalmente la capacidad del Gateway para procesar el volumen de información generado por los collares.

Para este trabajo se seleccionó el equipo Misesight UG67 como nodo central de la red, este cuenta con una sensibilidad de -140 dB, una potencia máxima de transmisión de 27 dBm y un rango aproximado de 15 km.



Figura 5: GateWay LoRaWAN Milesight UG67

Milesight UG67	
Sensibilidad	-140dBm (@ 292 bps)
Potencia de transmisión	27 dBm

Carcasa	IP67
Conectividad	Ethernet, celular (4G) and Wi-Fi
Integración de servidor/APIs	MQTT(s)/HTTP(s) API
Rango aproximado	15 km
Cantidad de nodos	2000

Tabla 2: Especificaciones Milesight UG67 .

Cálculo de cobertura necesaria

Dado un campo de 2500 hectáreas, se parte de un área de

$$\text{Área} = 2500 \times 10\,000 \text{ m}^2$$

Suponiendo un campo aproximadamente cuadrado, el lado del mismo será:

$$L = \sqrt{\text{Área}} = \sqrt{2500 \times 10\,000} \text{ m} = 5000 \text{ m}$$

Este valor representa la dimensión del terreno. Para estimar la distancia máxima que debe cubrir el Gateway, se toma la diagonal desde el centro del campo hasta una esquina (Figura 6), ya que es el punto más alejado. Esta distancia es:

$$R_{\min} = \frac{\sqrt{2}L}{2} \approx 3534 \text{ m}$$

Con estos valores podemos concluir que el GateWay Milesight UG67 es plenamente capaz de cubrir la distancia requerida para una legua de campo. Además, es importante considerar la capacidad del equipo para gestionar hasta 1000 nodos en simultáneo. Según se observa en la **Tabla 2**, el Gateway también cumple con este requisito sin inconvenientes.

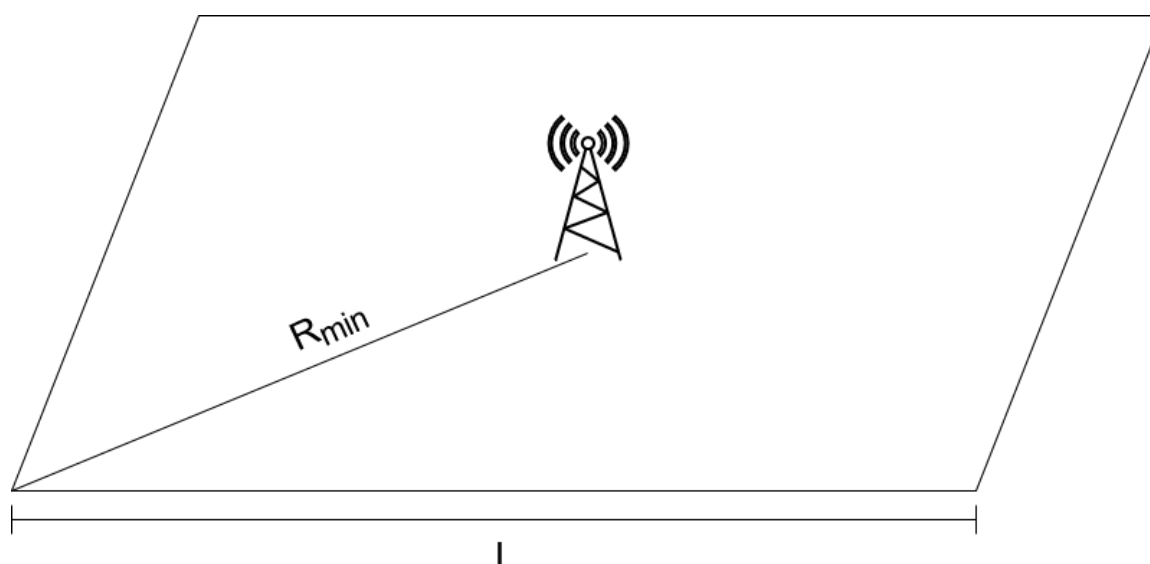


Figura 6: Diagrama demostrativo del alcance del Gateway.

Los Gateways se diferencian en donde pueden ubicarse, ya sea en interiores o exteriores. Los precios de los primeros suelen rondar los 400 dólares, y de los últimos los 800 dólares.

Para ser utilizados es necesario registrarse en The Things Industries (TTI) o The Things Network (TTN) que, si bien cuentan con planes gratuitos, los mismos presentan varias limitaciones que vuelven inviable el uso comercial, por lo que resulta necesario el pago mensual de membresías. Para el caso de TTN, no tiene planes de pago, es gratuito pero no apto para empresas. Y TTI tiene el plan Standard cuya membresía mínima es de 200 dólares por mes.

También existen alternativas de código abierto como ChirpStack, que es la alternativa mundialmente utilizada en lugar de TTI. Permite instalar un servidor de red LoRaWAN completo en infraestructura propia, ya sea en un servidor privado (VPS, cuya ubicación geográfica puede presentar problemas de latencia) o en un dispositivo físico ubicado en el mismo campo junto al Gateway (como una Raspberry Pi). El costo adicional que presenta este enfoque reside en el mantenimiento del hardware o del servidor donde se aloje. Asimismo, un punto fuerte a recalcar es el hecho que tanto la base de datos (necesaria para el almacenamiento de la información y registros del ganado) como el servidor podrían convivir en el mismo equipo.

2.6 Servidor y Base de Datos

Al usar LoRaWAN mediante servidores de The Things, después de que el nodo envía un mensaje, abre una "ventana" de escucha exactamente 1 segundo después. Por tanto, la arquitectura de red basada en The Things Industries (TTI) presenta un desafío crítico relacionado con la ubicación geográfica. Dado que los clústeres de TTI se encuentran en Estados Unidos, la latencia de red se convierte en un factor determinante, especialmente para la correcta recepción de mensajes de bajada (*downlinks*).

Durante la ejecución de algunos ensayos preliminares, se evidenció experimentalmente que alojar el servidor de aplicaciones en Argentina introducía un

retardo excesivo. Este retardo ocasiona la pérdida sistemática de las ventanas de recepción (RX1 y RX2) del protocolo LoRaWAN, impidiendo que los dispositivos recibiesen comandos de configuración en el tiempo deseado. Por consiguiente, se determinó como requisito potencial ubicar la infraestructura en la misma región geográfica que TTI (EE. UU.).

Los criterios de selección resultantes son:

- **Servidor de Aplicación:** Alojamiento en EE. UU. para garantizar que el tiempo de respuesta se mantenga dentro de los márgenes de las ventanas RX. Se prioriza el soporte nativo de Python para una gestión eficiente de la suscripción MQTT.
- **Base de Datos:** Ubicación contigua al servidor (EE. UU.) para minimizar la latencia interna. Se requiere una capacidad de almacenamiento escalable (mínimo 1 GB) y políticas de retención de datos automatizadas para evitar la saturación.

La tabla siguiente muestra algunos Servidores y Bases de Datos que cumplen con estas características:

Servicio / BD	Tipo	Precio (Aprox)	Características	Lenguaje	Acceso / Control
Fly.io	PaaS / Compute	Gratis (Hobby)	Despliegue de contenedores globales. Convierte Docker en Micro-VMs.	Dockerfile (Python, Go, Node, etc.)	CLI (Terminal)
		Pago por uso (~\$5/mo para 512MB)			Panel Web (Monitoreo)
Neon	DB Postgres	Gratis (0.5GB)	Serverless Postgres. Separa cómputo de almacenamiento.	SQL (Postgres)	Panel Web
		\$5/mo mínimo			Drivers SQL estándar
Railway	PaaS + DB	Trial limitado	Todo en uno: aloja el Backend y la BD en el mismo proyecto.	Dockerfile / Buildpacks	Panel Web (UI) CLI opcional
		\$5/mo (Plan Hobby)			
		\$20/mo (Pro)			
AWS (EC2 + RDS)	IaaS (Nube)	Gratis (12 meses)	El estándar de la industria. Máximo control.	Cualquiera (Máquina Virtual)	Consola Web (AWS)
		Complejo de calcular			SSH / CLI
Supabase	BaaS (Backend)	Gratis (500MB)	Alternativa Open Source a Firebase. Usa Postgres bajo el capó.	SQL / JS / Python (Functions)	Panel Web (UI) excelente
		\$25/mo (Pro)			

DigitalOcean	IaaS / PaaS	\$4 - \$6/mo (Droplet)	Servidor Privado Virtual (VPS) clásico o App Platform.	Cualquiera (Linux)	SSH (Terminal) Panel Web
--------------	-------------	---------------------------	---	-----------------------	---------------------------------

Tabla 3: Diferentes opciones de Servidor y/o Base de Datos

Recomendamos utilizar la combinación de Fly (Servidor) y Neon (Base de Datos), o Railway, que es un todo en uno.

Es importante recalcar aquí la opción alternativa de ChirpStack, implementada en un dispositivo local junto al Gateway, que no analizamos en profundidad debido a limitaciones de tiempo del presente proyecto. Los costos específicos de implementación y soporte permanecen como variables no evaluadas en el presente informe.

2.7 Aplicación

Para el desarrollo de una Aplicación, varias compañías ofrecen servicios a Hobbystas y Estudiantes, pero para el caso de una empresa es necesario el pago de una licencia de uso.

La elección de la misma depende del uso que se le quiera dar y del alcance del proyecto. Nuestra recomendación es Qt, que cuenta con dos servicios esenciales:

- Gratuito para el uso de Hobbystas y Estudiantes.
- Licencia de \$600/año utilizada para el desarrollo de aplicaciones empresariales (ADE-SB).

Además se debe contemplar el pago al programador que, como se ha dicho, depende del alcance del proyecto. No podemos estimar un precio al carecer de un modelo final y de las características y funcionalidades que el usuario requiera.

Capítulo 3 Análisis de Costos

En este capítulo se analizarán las variaciones en los costos finales de los distintos prototipos en función de los componentes usados basados en las tablas del ANEXO 4. Se mostrarán tanto los precios mínimos, promedios, medianos y máximos de cada Prototipo sin contar y contando con su encapsulamiento/recubrimiento.

Al día de la fecha (07/12/2025), se considera la cotización 1 dólar = \$1450. Al limitarse el análisis a los materiales y componentes, no se contemplan los honorarios y costos de ingeniería y desarrollo. Además, el precio de compra de los componentes está considerado por unidad. Por lo que, si se compran en varias unidades, tales como 10, 20, 50 o 100, dichos costos serían menores al finalmente mostrado. Este análisis quedó descartado debido a limitaciones de tiempo.

Precios (USD) - Sin Recubrimiento

Prototipo	Mínimo	Promedio	Media	Máximo
Prototipo 1 - Collar Ovino	88.86	122.87	130.68	150.88
Prototipo 2 - Collar Ovino	40.43	74.44	82.24	102.44
Prototipo 3 - Collar Ovino	103.86	119.89	108.30	117.60
Prototipo 4 - Collar Ovino	55.42	60.65	59.86	69.16

Tabla 4: Precios sin recubrimiento.

Precios (USD) - Con Recubrimiento				
Prototipo	Mínimo	Promedio	Media	Máximo
Prototipo 1 - Collar Ovino	97.38	123.11	126.09	146.29
Prototipo 2 - Collar Ovino	62.05	87.78	90.76	110.96
Prototipo 3 - Collar Ovino	99.27	104.50	103.71	113.01
Prototipo 4 - Collar Ovino	63.94	69.17	68.38	77.68

Tabla 5: Precios con recubrimiento.

Nos referimos a recubrimiento/encapsulamiento a medidas para proteger la circuitería y aumentar la vida útil de los componentes. Para ello se utiliza resina epoxi que aísla del agua, vibración, óxido y térmica a los componentes, y además una Caja Estanca IP 67 que ofrece una protección total contra polvo e inmersión temporal en agua de hasta 1 metro de profundidad por 30 minutos.

En entornos agrícolas, los componentes no mueren por "viejos", si no que mueren por corrosión galvánica (humedad + voltaje) y fatiga mecánica (vibración). Con esto nos aseguramos un mínimo de un par de años sin cambiar componentes, aunque no podemos dar una cifra exacta ya que requiere de un estudio largo y tedioso que excede el tiempo del Proyecto Social, además que presenta el requisito crítico de haber elegido una versión medianamente definitiva del collar a utilizar.

Lo anterior, no obstante, incorpora un punto económicamente relevante a considerar que es la relación entre la vida útil del dispositivo y la del animal. Dado que las ovejas tienen un ciclo de permanencia limitado en el establecimiento (debido a la faena o rotación), el diseño robusto del collar garantiza que este sobreviva al animal portador. Esto permite recuperar el equipo y reutilizarlo en nuevos ejemplares, lo que significa que un único dispositivo servirá para monitorear a múltiples animales a lo largo de su vida útil, amortizando su costo inicial.

Capítulo 4 Alternativas

Durante el desarrollo del proyecto, se evaluaron opciones adicionales que podrían adoptarse en futuras etapas. Estas alternativas no sustituyen el enfoque principal, pero permiten identificar posibles mejoras o evoluciones del diseño.

Una primera alternativa consiste en desarrollar un nivel de integración más profundo y reemplazar ciertas placas pre ensambladas por los chips base individuales y la circuitería auxiliar necesaria. Este enfoque permitiría un mayor control sobre el diseño final e incluso podría reducir costos, ya que los chips base suelen tener un valor inferior al de las placas integradas, y el uso de varias de estas últimas incorpora componentes repetidos.

Sin embargo, esta opción supondría una carga de diseño considerablemente mayor, dado que sería necesario implementar manualmente funciones que las placas integradas ya resuelven, extendiendo los tiempos de desarrollo y la complejidad general del proyecto. A esto se suma que algunos chips base presentan mayor dificultad de acceso en el mercado local. Por estas razones, si bien es una opción viable, no se consideró para la instancia actual.

Otra alternativa consiste en orientar el desarrollo hacia un collar destinado a los perros pastores en lugar de aplicarlo directamente sobre las ovejas. Como el número de perros es significativamente menor que el de animales del rebaño, esto podría simplificar la logística, reducir la cantidad total de dispositivos necesarios y aún así permitir un monitoreo eficiente del comportamiento general del rebaño.

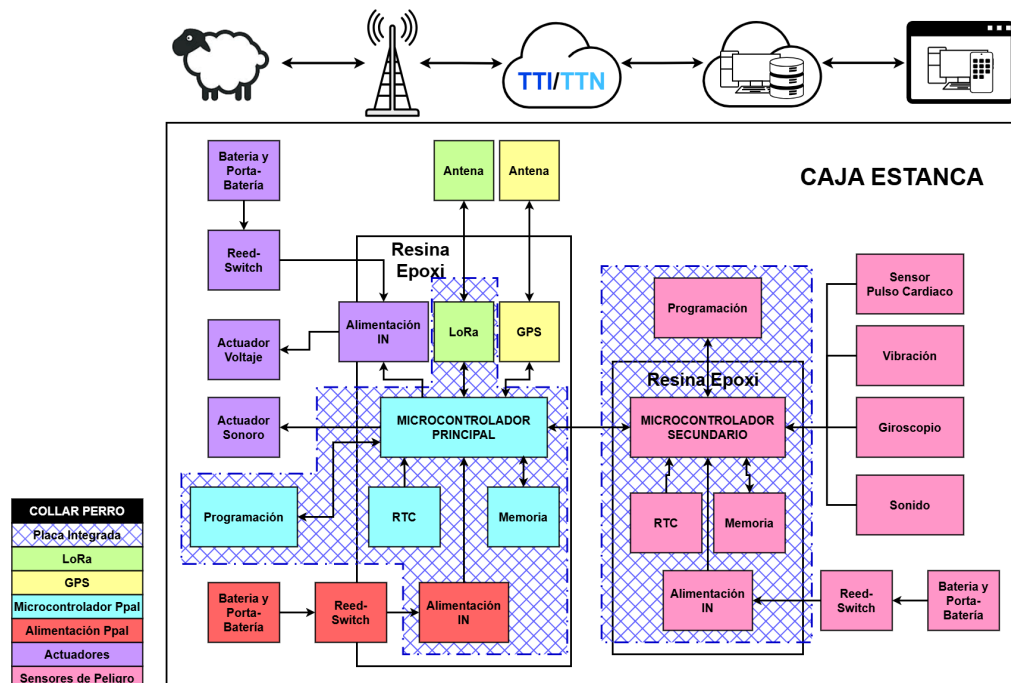


Figura 7: Prototipo Collar Canino.

Este nuevo Prototipo es igual al Prototipo 1 del collar Ovino, a excepción de que incluye una nueva lógica dentro del Sistema de Sensores de Peligro. En él, se incorporan nuevos sensores para detectar posibles nuevas amenazas y avisar de forma instantánea.

Sistema	Subsistema	Componente	Función
Sensores de Peligro	Sensores de Peligro para Perro	Microcontrolador	Maneja la lógica del Collar
		Programación	Programar el Collar o extraer datos de el
		RTC	Reloj de Tiempo Real
		Memoria	Guardar los datos, por ejemplo el perímetro
		Batería y Portabatería	Almacenamiento de la energía que alimentara el Collar
		Reed Switch	Interruptor que abre o cierra el paso a la energía
		Alimentación IN	Lógica necesaria para regular la alimentación
		Vibración	Detectar Gruñidos
		Sonido	Detectar Ladrido
		Sensor de Pulso Cardíaco	Sensar el Pulso Cardíaco
		Giroscopio	Sensar el movimiento

Tabla 6: Sistema Sensores de Peligro para el Collar Canino.

Necesitaría su propio microcontrolador y alimentación, ya que debe procesar la información de los sensores antes de darle un aviso al microcontrolador principal, y dicho procesamiento es caro energéticamente. Este agregado se puede observar en la tabla que está a continuación:

Precios (USD) - Sin Recubrimiento				
Prototipo	Mínimo	Promedio	Media	Máximo
Collar Canino	88.86	152.80	164.25	185.58
Precios (USD) - Con Recubrimiento				
Collar Canino	110.48	174.86	185.87	207.19

Tabla 7: Precios para el Collar Canino.

Capítulo 5 Conclusión

La investigación de los distintos prototipos ha demostrado que la implementación tecnológica de un sistema de monitoreo (y posible cerco virtual) es **técnicamente factible** y que las opciones propuestas cumplen con los requisitos de comunicación, autonomía y resistencia ambiental necesarios.

Sin embargo, y como lo ha demostrado el análisis de costos, existe una brecha significativa entre el precio de los prototipos, en particular de aquellos que presentan costos extra (Prototipos 1,2 y la opción canina), y el valor de mercado individual de un ovino. Incluso si se considera que la fabricación a gran escala reduce costos, las expectativas iniciales resultan inalcanzables para una tecnología que integre GPS y LoRaWAN.

La conclusión principal consiste en que la viabilidad del uso de collares queda supeditada no a la reducción de costos sino a la reutilización y durabilidad de los dispositivos. Al garantizar que los collares sobrevivan por años y excedan el tiempo de vida de los animales, el costo podría disminuir drásticamente. La otra opción, como ya se mencionó, consiste en reducir el número de collares al enfocarse en ciertos puntos del sistema, por ejemplo los perros pastores, donde el precio se diluye al gestionar indirectamente a cientos de cabezas de ganado.

Bibliografía

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (s.f.). *Manual de ovinos*. Argentina.gob.ar.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (s.f.). *Producción de carne de rumiantes y bienestar animal*.
- University of California Agriculture and Natural Resources. (s.f.). *Ovinos: Pequeñas granjas*.
- The Things Industries. (s.f.). *Support*.
- The Things Network. (s.f.). *Get started*.
- Documentation. *ChirpStak*.
- Datasheet GateWay LoRaWAN Milesight UG67
- Calculadora de precios patentada de Fly.io. *Fly*.
- Precios. *Neon*.
- Precios. *Railway*.
- Precios. *AWS*.
- Precios. *Supabase*.
- Precios. *DigitalOcean*.
- Qt para empresas pequeñas. *Qt*.
- Datasheet Heltec Wireless Tracker.
- Datasheet Heltec Mesh Node T114.
- Datasheet Heltec Wireless Stick Lite.
- Datasheet Seeed Studio Xiao SoM (System on Module).
- Datasheet Wio SX1262 Module.
- Datasheet NTAG I2C.
- Datasheet MIKROE-4635.
- Datasheet NFC/RFID Adafruit ST25DV16K I2C RFID EEPROM Breakout - STEMMA QT / Qwiic.
- Datasheet ANT7-T-25DV64KC.
- Datasheet Ky-021.
- Datasheet Sensor MC-38.
- Datasheet Cs2451.

- [Datasheet HC05.](#)
- [Datasheet ESP-01S.](#)
- [Datasheet TPL5110.](#)
- [Datasheet Antena NFC.](#)
- [Datasheet ESP32-C3.](#)
- [Datasheet ESP32-S3.](#)
- [Datasheet STM32f103.](#)
- [Datasheet nRF52840.](#)
- [Datasheet sx1276.](#)
- [Datasheet sx1262.](#)
- [Datasheet Antena 915MHz.](#)
- [Datasheet IRF9620PBF.](#)
- [Datasheet 621-PD3S230HQ7.](#)
- [Datasheet 1N5822.](#)
- [Datasheet SS24.](#)
- [Datasheet SS34.](#)
- [Datasheet CYPC817A.](#)
- [Datasheet Generador de Pulsos de Alto Voltaje.](#)
- [Datasheet KY-006.](#)
- [Datasheet KY-012.](#)
- [Datasheet neo6m.](#)
- [Datasheet neo7m.](#)
- [Datasheet L86.](#)
- [Datasheet MAX30102.](#)
- [Datasheet SW420.](#)
- [Datasheet MPU6500.](#)
- [Datasheet BMI160.](#)
- [Datasheet MPU6050.](#)
- [Datasheet MAX9814.](#)
- [Datasheet MAX4466.](#)
- [Ficha Técnica Caja Estanca IP65-67.](#)
- [Batería Litio-Ión 18650.](#)
- [Batería Litio-Ión 26650.](#)
- [¿Cómo usar resinas en encapsulado eléctrico? Antala Specialty Chemicals](#)

ANEXOS

ANEXO 1 Tablas de Componentes por Sistema

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	<u>14.90</u>		<u>125851.00</u>			<u>27184.00</u>	<u>29207.00</u>	35.15
Mesh Node T114	nRF52840+SX1262+GPS	<u>23.80</u>							23.80
Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	<u>22.90</u>		<u>71990.00</u>				<u>31618.00</u>	31.45
STM32WLE5JC	STM32+LoRa		<u>35872.00</u>				<u>31922.00</u>	<u>35596.00</u>	23.77
Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	<u>17.90</u>		<u>73890.00</u>			<u>35719.00</u>	<u>46061.00</u>	31.31
Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262		<u>22096.00</u>	<u>46700.00</u>	<u>10.62</u>		<u>47448.00</u>	<u>34424.00</u>	22.91
NTAG I2C	Dynamic NFC Tag		<u>7780.00</u>						5.37
MIKROE-4635	Dynamic NFC Tag		<u>22935.00</u>						15.82
NFC/RFID Adafruit ST25DV16K I2C RFID EEPROM Breakout - STEMMA QT / Qwiic	Dynamic NFC Tag		<u>6470.00</u>						4.46
ANT7-T-25DV64KC	Dynamic NFC Tag		<u>8210.00</u>						5.66

Ky-021	Reed-Switch			<u>6000.00</u>					4.14
Sensor MC-38	Reed-Switch			<u>8000.00</u>					5.52
Cs2451	Bluetooth			6409.00					4.42
HC05	Bluetooth			6510.00					4.49
ESP-01S	Wifi			<u>6000.00</u>					4.14
TPL5110	Anti-Freezeo			25905.00					17.87
Componente Base	Antena NFC				2.50				2.50
ESP32-C3	Microcontrolador		5192.46	7990.00	3.28				4.12
ESP32-C3	x10		4488.12		2.83				2.96
ESP32-C3	x25		4258.80		2.67				2.80
ESP32-C3	x100		3898.44		2.46				2.57
ESP32-C3	x250		3685.50		2.33				2.44
ESP32-S3	x1		10073.00	24990.00	5.49				9.89
ESP32-S3	x10		9009.00		4.75				5.48
ESP32-S3	x25		7059.78		4.49				4.68
ESP32-S3	x100		6863.22		4.14				4.44
ESP32-S3	x250		6650.28		3.93				4.26
STM32f103				7290.00					5.03
nRF52840			17035.20	12519.00	9.96				10.11

Tabla 8: Componentes del Sistema Microcontrolador Principal

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Medi
------------	-------------	----------------	--------	--------------	---------	------------	---------	------------	------

									a
Caja Estanca	IP65 (115x115)			<u>5600.00</u>					3.86
Caja Estanca	IP66 (115x115)			1410.00					0.97
Caja Estanca	IP67 (115x115x65/80)		<u>14800.00</u>	<u>19300.00</u>				<u>12600.00</u>	10.74
Caja Estanca	IP67 (150x150)			<u>16900.00</u>					11.66
Temperatura	Resina Epoxi (575g)			<u>19100.00</u>			<u>4.00</u>	<u>9600.00</u>	7.93
Placa para Circuitos Impresos	Placa de cobre			<u>6060.00</u>				<u>2500.00</u>	2.95

Tabla 9: Componentes de Encapsulamiento/Recubrimiento y Fabricación.

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	<u>14.90</u>		<u>125.851.00</u>			<u>27.184.00</u>	<u>29.207.00</u>	35.15
Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	<u>23.80</u>							23.80
Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	<u>22.90</u>		<u>71.990.00</u>				<u>31.618.00</u>	31.45
STM32WLE5JC	STM32+LoRa		<u>35.872.00</u>				<u>31.922.00</u>	<u>35.596.00</u>	23.77
Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	<u>17.90</u>		<u>73.890.00</u>			<u>35.719.00</u>	<u>46.061.00</u>	31.31
Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262		<u>22.096.00</u>	<u>46.700.00</u>	<u>10.62</u>		<u>47.448.00</u>	<u>34.424.00</u>	22.91
sx1276	LoRa 915MHz			<u>23.500.00</u>		<u>18.35</u>			17.28
sx1262	LoRa 915MHz		<u>17,166.00</u>				<u>5,315.00</u>		7.75
Antena 915MHz	Antena			<u>13,000.00</u>					8.97

SMA	SMA			<u>7,000.00</u>					4.83
Ufl	Ufl			<u>4,000.00</u>					2.76
Pigtail	Pigtail			<u>4,900.00</u>					3.38
Capacitor 100nF	Capacitor (x10) 0805			<u>6,300.00</u>					4.34
Capacitor 10nF	Capacitor (x10) 0805			<u>4,300.00</u>					2.97
Capacitor 47uF	Capacitor TH (x20)			<u>4,800.00</u>					3.31

Tabla 10: Componentes del Sistema LoRa

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Ky-021	Reed-Switch			<u>6,000.00</u>					4.14
Sensor MC-38	Reed-Switch			<u>8,000.00</u>					5.52
18650	Bateria 2200mAh			<u>9,500.00</u>					6.55
26650	Bateria 8000 a 10000mAh			<u>12,000.00</u>					8.28
18650	Portabateria			<u>3,000.00</u>					2.07
26650	Portabateria			<u>11,000.00</u>					7.59
JST macho y hembra 2 pines	Cable JST (unidad)			1,282.00					0.88
Resistencia 1K Ohm	R1206 (x100)			<u>7,435.00</u>					5.13
Resistencia 360 Ohm	R1206 (x100)			<u>7,435.00</u>					5.13

IRF9620PBF	Transistor Canal P			<u>8,150.00</u>					5.62
621-PD3S230HQ7	Diodo Schottky		<u>1,082.00</u>						0.75
1N5822	Diodo Schottky			349.00					0.24
SS24	Diodo Schottky			350.00					0.24
SS34	Diodo Schottky			350.00					0.24
CYPC817A	Optocoplador			<u>2,000.00</u>					1.38
Generador de Pulsos de Alto Voltaje	1000kV			<u>14,000.00</u>					9.66
Capacitor 5000uF	Capacitor			<u>14,800.00</u>					10.21
KY-006	Buzzer			<u>2,600.00</u>					1.79
KY-012	Buzzer			<u>2,500.00</u>					1.72

Tabla 11: Componentes del Sistema de Actuadores

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	<u>23.80</u>							23.80
Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1262+GPS	<u>22.90</u>		<u>71,990.00</u>				<u>31,618.00</u>	31.45
Ublox	neo6m		11,990.00				<u>2,280.00</u>	<u>7,655.00</u>	5.04
Ublox	neo7m		46,167.00				<u>2,280.00</u>	<u>8,402.00</u>	13.07
Quectel	L86		23,900.00	20,999.16	<u>12.82</u>		<u>6,059.00</u>	<u>9,128.00</u>	10.85
Quectel	L86 (x10)		19,263.70		<u>11.14</u>				12.21
Quectel	L86 (x25-50)		17,297.28		<u>10.25</u>				11.09
Quectel	L86 (x100)		16,003.26		<u>9.76</u>				10.40

Tabla 12: Componentes del Sistema GPS

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Pulso Cardíaco	MAX30102		26044.00	4500.00	12.40		<u>3037.00</u>	<u>1674.00</u>	7.34
ESP32-C3	Microcontrolador		5192.46	7990.00	3.28				4.12
ESP32-C3	x10		4488.12		2.83				2.96
ESP32-C3	x25		4258.80		2.67				2.80
ESP32-C3	x100		3898.44		2.46				2.57
ESP32-C3	x250		3685.50		2.33				2.44
ESP32-S3	x1		10073.00	24990.00	5.49				9.89
ESP32-S3	x10		9009.00		4.75				5.48
ESP32-S3	x25		7059.78		4.49				4.68
ESP32-S3	x100		6863.22		4.14				4.44
ESP32-S3	x250		6650.28		3.93				4.26
STM32f103				7290.00					5.03
nRF52840			17035.20	12519.00	9.96				10.11
Ky-021	Reed-Switch			<u>6000.00</u>					4.14
Sensor MC-38	Reed-Switch			<u>8000.00</u>					5.52
18650	Bateria 2200mAh			<u>9500.00</u>					6.55
26650	Bateria 8000 a 10000mAh			<u>12000.00</u>					8.28
18650	Portabateria			<u>3000.00</u>					2.07

26650	Portabatería			<u>11000.00</u>					7.59
SW420	Vibración			<u>4000.00</u>					2.76
MPU6500	Giroscopio			<u>12007.00</u>	7.17		<u>1518.00</u>	<u>1280.00</u>	4.35
BMI160	Giroscopio		<u>16216.00</u>	<u>34100.00</u>			<u>1108.00</u>	<u>2427.00</u>	9.28
MPU6050	Giroscopio		<u>21130.00</u>	<u>4095.00</u>			<u>2323.00</u>	<u>1674.00</u>	5.04
Sonido	MAX9814			<u>8000.00</u>			<u>3310.00</u>	<u>2632.00</u>	3.21
Sonido	MAX4466			<u>8850.00</u>			<u>2202.00</u>	<u>1674.00</u>	2.93

Tabla 13: Componentes del Sistema de Sensores

Componente	Descripción	Tienda Oficial	Mouser	MercadoLibre	Digikey	rsdelivers	alibaba	AliExpress	Media
Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	<u>14.90</u>		<u>125851.00</u>			<u>27184.00</u>	<u>29207.00</u>	35.15
Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	<u>23.80</u>							23.80
Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	<u>22.90</u>		<u>71990.00</u>				<u>31618.00</u>	31.45
STM32WLE5JC	STM32+LoRa		<u>35872.00</u>				<u>31922.00</u>	<u>35596.00</u>	23.77
Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	<u>17.90</u>		<u>73890.00</u>			<u>35719.00</u>	<u>46061.00</u>	31.31
Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262		<u>22096.00</u>	<u>46700.00</u>	<u>10.62</u>		<u>47448.00</u>	<u>34424.00</u>	22.91
Ky-021	Reed-Switch			<u>6000.00</u>					4.14
Sensor MC-38	Reed-Switch			<u>8000.00</u>					5.52

18650	Bateria 2200mAh			<u>9500.00</u>					6.55
26650	Bateria 8000 a 10000mAh			<u>12000.00</u>					8.28
18650	Portabateria			<u>3000.00</u>					2.07
26650	Portabateria			<u>11000.00</u>					7.59
MT3608	Step-up			<u>2400.00</u>					1.66
JST macho y hembra 2 pines	Cable JST (unidad)			1,282.00					0.88
SS24	Diodo Schottky			350.00					0.24
Capacitor 100nF	Capacitor (x10) 0805			<u>6,300.00</u>					4.34
Capacitor 10nF	Capacitor (x10) 0805			<u>4,300.00</u>					2.97
Capacitor 47uF	Capacitor TH (x20)			<u>4,800.00</u>					3.31

Tabla 14: Componentes del Sistema de Alimentación Principal

ANEXO 2 Opciones de Sistemas

Tabla de Símbolos	
Símbolo	Significado
X	Lo Usa
C	Comparte con otro Sistema/Subsistema (General)
-	Otro Sistema/Subsistema lo usa pero no lo comparte

Tabla 15: Tabla informativa sobre los símbolos que se utilizan en las demás tablas

Sistema Microcontrolador Principal																			
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	L o R a	G P S	Sensor es de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Op ción 1	Op ción 2	Op ción 3	Op ción 4	Op ción 5	Op ción 6	Op ción 7	Op ción 8	Op ción 9	Op ción 10
X	C		C			Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	1.00	35.15	X									
X	C		C	C		Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	1.00	23.80		X								
X	C		C	C		Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	1.00	31.45			X							
X	C		C			STM32WLE5JC	STM32+LoRa	1.00	23.77				X						
X	C		C			Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	1.00	23.80					X					
X	C		C			Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262	1.00	22.91						X				
X					-	ESP32-C3		1.00	4.12							X			

X					-	ESP32-S3		1.00	9.89								X		
X					-	STM32f103		1.00	5.03									X	
X					-	nRF52840		1.00	10.11										X
X						NFC/RFID Adafruit ST25DV16K I2C RFID EEPROM Breakout - STEMMA QT / Qwiic	Dynamic NFC Tag	1.00	4.46							X	X	X	
X						Antena NFC		1.00	0.00										X
TOTAL										35.15	23.80	31.45	23.77	23.80	22.91	8.59	14.35	9.49	10.11

Tabla 16: Tabla de Opciones para el Sistema Microcontrolador Principal

Sistema Alimentación Principal																	
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	L o R a	G P S	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7	Opción 8
C	X		C			Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	1.00	35.15	X							
C	X		C	C		Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	1.00	23.80		X						
C	X		C	C		Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	1.00	31.45			X					

C	X		C		STM32WLE5JC	STM32+LoRa	1.00	23.77				X				
C	X		C		Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	1.00	23.80					X			
C	X		C		Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262	1.00	22.91						X		
	X	-			Ky-021	Reed-Switch	1.00	4.14	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	-			Sensor MC-38	Reed-Switch	1.00	5.52	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	-			18650	Bateria 2200mAh	1.00	6.55	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	-			18650	Portabateria	1.00	6.55	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	-			JST macho y hembra 2 pines	Cable JST (unidad)	1.00	0.88							X	X
	X				MT3608	Step-up	1.00	1.66								X
	X		-		Capacitor 100nF	Capacitor (x10) 0805	2.00	0.43								X
	X		-		Capacitor 10nF	Capacitor (x10) 0805	2.00	0.30								X
	X		-		Capacitor 47uF	Capacitor TH (x20)	2.00	0.17								X
	X	-			SS24	Diodo Schottky	1.00	0.24								X
TOTAL									57.	46.	54.	46.	46.	45.	23.	27.
									90	56	21	53	56	66	64	33

Tabla 17: Tabla de Opciones para el Sistema Alimentación Principal

Subsistema Actuador de Voltaje									
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	Lo Ra	G P S	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)
	-	X			-	Sensor MC-38	Reed-Switch	1.00	5.52
	-	X			-	18650	Bateria 2200mAh	1.00	6.55
	-	X			-	18650	Portabateria	1.00	6.55
	-	X				JST macho y hembra 2 pines	Cable JST (unidad)	1.00	0.88
		X				Resistencia 1K Ohm	R1206 (x100)	1.00	0.05
		X				Resistencia 360 Ohm	R1206 (x100)	1.00	0.05
		X				IRF9620PBF	Transistor Canal P	1.00	5.62
		X				SS24	Diodo Schottky	1.00	0.24
		X				CYPC817A	Optocoplador	1.00	1.38
		X				Generador de Pulsos de Alto Voltaje	1000kV	1.00	9.66
		X				Capacitor 5000uF	Capacitor	1.00	10.21
TOTAL									46.71

Tabla 18: Tabla de Componentes necesarios para el Subsistema Actuador de Voltaje

Sistema Actuadores										
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	Lo Ra	G P S	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1
		X				KY-012	Buzzer	1.00	1.72	X
		X				Sub-Sistema Actuador de Voltaje	Subsistema Completo	1.00	46.71	X
TOTAL										1.72
										48.43

Tabla 19: Tabla de Opciones para el Sistema Actuadores

Sistema LoRa																
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	Lo Ra	G P S	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7
C	C		X	C		Wireless Stick Lite (V3)	ESP32-S3+SX1262	1.00	35.15	X						
C	C		X	C		Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	1.00	23.80		X					
C	C		X	C		Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1263+GPS	1.00	31.45			X				
C	C		X	C		STM32WLE5JC	STM32+LoRa	1.00	23.77				X			

C	C		X	C		Mesh Node T114	nRF52840+SX1262	1.00	23.80					X			
C	C		X	C		Xiao Nrf52840 & Wio-sx1262	ESP32-S3+SX1262	1.00	22.91						X		
			X			sx1276	LoRa 915MHz	1.00	17.28							X	
			X			sx1262	LoRa 915MHz	1.00	7.75								X
			X			Antena 915MHz	Antena	1.00	8.97							X	X
			X			Ufl	Ufl	1.00	2.76							X	X
			X			Pigtail	Pigtail	1.00	3.38							X	X
	-		X			Capacitor 100nF	Capacitor (x10) 0805	1.00	0.43							X	X
	-		X			Capacitor 10nF	Capacitor (x10) 0805	1.00	0.30							X	X
	-		X			Capacitor 47uF	Capacitor TH (x20)	1.00	0.17							X	X
TOTAL										35.15	23.80	31.45	23.77	23.80	22.91	33.28	23.75

Tabla 20: Tabla de Opciones para el Sistema LoRa

Sistema GPS														
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	LoRa	GPS	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
C	C		C	X		Mesh Node T114	ESP32-S3+SX1262+GPS	1.00	23.80	X				
C	C		C	X		Wireless Tracker	ESP32-S3+SX1262+GPS	1.00	31.45		X			
				X		Ublox	neo6m	1.00	5.04			X		
				X		Ublox	neo7m	1.00	5.04				X	

			X		Quectel	L86	1.00	10.85					X
TOTAL									23.80	31.45	5.04	5.04	10.85

Tabla 21: Tabla de Opciones para el Sistema GPS

Subsistema Sensores de Peligro para Perro													
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	Lora	GPS	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
-					X	ESP32-C3		1.00	4.12	X			
-					X	ESP32-S3		1.00	9.89		X		
-					X	STM32f103		1.00	5.03			X	
-					X	nRF52840		1.00	10.11				X
	-	-			X	Sensor MC-38	Reed-Switch	1.00	5.52	X	X	X	X
	-	-			X	18650	Batería 2200mAh	1.00	6.55	X	X	X	X
	-	-			X	18650	Portabatería	1.00	6.55	X	X	X	X
					X	SW420	Vibración	1.00	2.76	X	X	X	X
					X	Sonido	MAX4466	1.00	3.21	X	X	X	X
					X	Pulso Cardíaco	MAX30102	1.00	7.34	X	X	X	X
					X	BMI160	Giroscopio	1.00	9.28	X	X	X	X
TOTAL										45.34	51.10	46.24	51.33

Tabla 22: Tabla de Opciones para el Subsistema Sensores de Peligro para Perro

Sistema Sensores de Peligro														
Microcontrolador Principal	Alimentación Principal	Actuadores	Lo Ra	G P S	Sensores de Peligro	Componente	Descripción	Cantidad	Precio (USD)	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
					X	Subsistema Sensores de Peligro para Perro	Opción 1	1.00	45.34	X				
					X	Subsistema Sensores de Peligro para Perro	Opción 2	1.00	51.10		X			
					X	Subsistema Sensores de Peligro para Perro	Opción 3	1.00	46.24			X		
					X	Subsistema Sensores de Peligro para Perro	Opción 4	1.00	51.33				X	
					X	Pulso Cardíaco	MAX30102	1.00	7.34					X
					X	BMI160	Giroscopio	1.00	9.28					X
TOTAL										45.34	51.10	46.24	51.33	16.63

Tabla 23: Tabla de Opciones para el Sistema de Sensores de Peligro

ANEXO 3 Posibles Combinaciones para Prototipos

Tabla de Símbolos	
Símbolo	Significado
X	Combinación Indiferente
C#	Solo comparte con el Sistema que tenga el mismo número

Tabla 24: Tabla informativa sobre los símbolos que se utilizan en las demás tablas de Posibles Combinaciones para Prototipos

Posibles Combinaciones - Prototipo 1 - Collar Canino										
Sistema	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10
Microcontrolador	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X	X	C7
LoRa	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X		
GPS	C2	C3	X	X	X					
Alimentación	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	X		
Actuadores		X								
Sensores de Peligro	X	X	X	X						

Tabla 25: Tabla de Posibles Combinaciones para el Prototipo 1 del Collar Canino

Posibles Combinaciones - Prototipo 1 - Collar Ovino										
Sistema	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10
Microcontrolador	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X	X	C7
LoRa	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X		

GPS	C2	C3	X	X	X					
Alimentación	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	X		
Actuadores		X								
Sensores de Peligro					X					

Tabla 26: Tabla de Posibles Combinaciones para el Prototipo 1 del Collar Ovino

Posibles Combinaciones - Prototipo 2 - Collar Ovino										
Sistema	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10
Microcontrolador	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X	X	C7
LoRa	C1	C2	C3	C4	C5	C6	X	X		
GPS	C2	C3	X	X	X					
Alimentación	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	X		
Actuadores			X							
Sensores de Peligro					X					

Tabla 27: Tabla de Posibles Combinaciones para el Prototipo 2 del Collar Ovino

Posibles Combinaciones - Prototipo 3 - Collar Ovino										
Sistema	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10
Microcontrolador							X	X	X	C7
LoRa									X	

GPS			X	X	X					
Alimentación							C7	X		
Actuadores		X								
Sensores de Peligro					X					

Tabla 28: Tabla de Posibles Combinaciones para el Prototipo 3 del Collar Ovino

Posibles Combinaciones - Prototipo 4 - Collar Ovino										
Sistema	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10
Microcontrolador							X	X	X	C7
LoRa									X	
GPS			X	X	X					
Alimentación							C7	X		
Actuadores			X							
Sensores de Peligro					X					

Tabla 29: Tabla de Posibles Combinaciones para el Prototipo 3 del Collar Ovino

ANEXO 4 Combinaciones para Prototipos

Recubrimiento	Precio (USD)
Caja Estanca IP 67	10.74
Resina Epoxi	7.93
Placa de Cobre	2.95
TOTAL	21.62

Tabla 30: Costos del Recubrimiento/Encapsulamiento.

Prototipo 1 - Collar Canino								
Combinaciones	Microcontrolador	LoRa	GPS	Alimentación	Actuadores	Sensores de Peligro	Precio sin recubrimiento	Precio con recubrimiento
P1_CC_1	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 1	133.96	155.58
P1_CC_2	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 2	139.72	161.34
P1_CC_3	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 3	134.86	156.48
P1_CC_4	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 4	139.95	161.57
P1_CC_5	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 1	133.96	155.58
P1_CC_6	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 2	139.72	161.34

P1_CC_7	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 3	134.86	156.48
P1_CC_8	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 4	139.95	161.57
P1_CC_9	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 2	Opción 1	139.77	161.39
P1_CC_10	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 2	Opción 2	145.53	167.15
P1_CC_11	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 2	Opción 3	140.67	162.29
P1_CC_12	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 2	Opción 4	145.76	167.38
P1_CC_13	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 2	Opción 1	117.57	139.19
P1_CC_14	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 2	Opción 2	123.34	144.96
P1_CC_15	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 2	Opción 3	118.47	140.09
P1_CC_16	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 2	Opción 4	123.56	145.18
P1_CC_17	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 2	Opción 1	125.22	146.84
P1_CC_18	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 2	Opción 2	130.99	152.61
P1_CC_19	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 2	Opción 3	126.13	147.74
P1_CC_20	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 2	Opción 4	131.21	152.83
P1_CC_21	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 2	Opción 1	122.58	144.20

P1_CC_22	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 2	Opción 2	128.35	149.96
P1_CC_23	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 2	Opción 3	123.48	145.10
P1_CC_24	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 2	Opción 4	128.57	150.19
P1_CC_25	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 2	Opción 1	122.58	144.20
P1_CC_26	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 2	Opción 2	128.35	149.96
P1_CC_27	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 2	Opción 3	123.48	145.10
P1_CC_28	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 2	Opción 4	128.57	150.19
P1_CC_29	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 2	Opción 1	128.39	150.01
P1_CC_30	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 2	Opción 2	134.16	155.78
P1_CC_31	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 2	Opción 3	129.29	150.91
P1_CC_32	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 2	Opción 4	134.38	156.00
P1_CC_33	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 2	Opción 1	122.61	144.23
P1_CC_34	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 2	Opción 2	128.38	150.00
P1_CC_35	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 2	Opción 3	123.51	145.13
P1_CC_36	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 2	Opción 4	128.60	150.22

P1_CC_37	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 2	Opción 1	122.61	144.23
P1_CC_38	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 2	Opción 2	128.38	150.00
P1_CC_39	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 2	Opción 3	123.51	145.13
P1_CC_40	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 2	Opción 4	128.60	150.22
P1_CC_41	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 2	Opción 1	128.42	150.04
P1_CC_42	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 2	Opción 2	134.19	155.81
P1_CC_43	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 2	Opción 3	129.33	150.94
P1_CC_44	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 2	Opción 4	134.41	156.03
P1_CC_45	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 2	Opción 1	121.72	143.33
P1_CC_46	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 2	Opción 2	127.48	149.10
P1_CC_47	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 2	Opción 3	122.62	144.24
P1_CC_48	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 2	Opción 4	127.71	149.33
P1_CC_49	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 2	Opción 1	121.72	143.33
P1_CC_50	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 2	Opción 2	127.48	149.10
P1_CC_51	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 2	Opción 3	122.62	144.24

P1_CC_52	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 2	Opción 4	127.71	149.33
P1_CC_53	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 2	Opción 1	127.53	149.15
P1_CC_54	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 2	Opción 2	133.29	154.91
P1_CC_55	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 2	Opción 3	128.43	150.05
P1_CC_56	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 2	Opción 4	133.52	155.14
P1_CC_57	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	168.01	189.63
P1_CC_58	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	173.77	195.39
P1_CC_59	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	168.91	190.53
P1_CC_60	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	174.00	195.62
P1_CC_61	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	168.01	189.63
P1_CC_62	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	173.77	195.39
P1_CC_63	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	168.91	190.53
P1_CC_64	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	174.00	195.62
P1_CC_65	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	173.82	195.44
P1_CC_66	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	179.59	201.20

P1_CC_67	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	174.72	196.34
P1_CC_68	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	179.81	201.43
P1_CC_69	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	158.48	180.10
P1_CC_70	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	164.25	185.87
P1_CC_71	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	159.38	181.00
P1_CC_72	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	164.47	186.09
P1_CC_73	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	158.48	180.10
P1_CC_74	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	164.25	185.87
P1_CC_75	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	159.38	181.00
P1_CC_76	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	164.47	186.09
P1_CC_77	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	164.29	185.91
P1_CC_78	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	170.06	191.68
P1_CC_79	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	165.20	186.81
P1_CC_80	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	170.28	191.90
P1_CC_81	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	173.77	195.39

P1_CC_82	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	179.54	201.16
P1_CC_83	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	174.68	196.30
P1_CC_84	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	179.76	201.38
P1_CC_85	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	173.77	195.39
P1_CC_86	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	179.54	201.16
P1_CC_87	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	174.68	196.30
P1_CC_88	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	179.76	201.38
P1_CC_89	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	179.59	201.20
P1_CC_90	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	185.35	206.97
P1_CC_91	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	180.49	202.11
P1_CC_92	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	185.58	207.19
P1_CC_93	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	164.25	185.87
P1_CC_94	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	170.01	191.63
P1_CC_95	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	165.15	186.77
P1_CC_96	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	170.24	191.86

P1_CC_97	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	164.25	185.87
P1_CC_98	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	170.01	191.63
P1_CC_99	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	165.15	186.77
P1_CC_100	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	170.24	191.86
P1_CC_101	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	170.06	191.68
P1_CC_102	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	175.83	197.44
P1_CC_103	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	170.96	192.58
P1_CC_104	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	176.05	197.67
P1_CC_105	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	168.91	190.53
P1_CC_106	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	174.68	196.30
P1_CC_107	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	169.82	191.43
P1_CC_108	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	174.90	196.52
P1_CC_109	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	168.91	190.53
P1_CC_110	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	174.68	196.30
P1_CC_111	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	169.82	191.43

P1_CC_112	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	174.90	196.52
P1_CC_113	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	174.72	196.34
P1_CC_114	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	180.49	202.11
P1_CC_115	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	175.63	197.24
P1_CC_116	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	180.71	202.33
P1_CC_117	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 1	159.38	181.00
P1_CC_118	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 2	165.15	186.77
P1_CC_119	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 3	160.29	181.91
P1_CC_120	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 4	165.38	186.99
P1_CC_121	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 1	159.38	181.00
P1_CC_122	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 2	165.15	186.77
P1_CC_123	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 3	160.29	181.91
P1_CC_124	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 4	165.38	186.99
P1_CC_125	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 1	165.20	186.81
P1_CC_126	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 2	170.96	192.58

P1_CC_127	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 3	166.10	187.72
P1_CC_128	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 4	171.19	192.81
P1_CC_105	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 1	165.85	187.46
P1_CC_106	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 2	171.61	193.23
P1_CC_107	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 3	166.75	188.37
P1_CC_108	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 4	171.84	193.45
P1_CC_109	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 1	165.85	187.46
P1_CC_110	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 2	171.61	193.23
P1_CC_111	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 3	166.75	188.37
P1_CC_112	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 4	171.84	193.45
P1_CC_113	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 1	171.66	193.28
P1_CC_114	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 2	177.42	199.04
P1_CC_115	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 3	172.56	194.18
P1_CC_116	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 4	177.65	199.27
P1_CC_117	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 1	156.32	177.94

P1_CC_118	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 2	162.09	183.70
P1_CC_119	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 3	157.22	178.84
P1_CC_120	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 4	162.31	183.93
P1_CC_121	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 1	156.32	177.94
P1_CC_122	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 2	162.09	183.70
P1_CC_123	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 3	157.22	178.84
P1_CC_124	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 4	162.31	183.93
P1_CC_125	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 1	162.13	183.75
P1_CC_126	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 2	167.90	189.52
P1_CC_127	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 3	163.03	184.65
P1_CC_128	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 4	168.12	189.74

Tabla 31: Tabla de las Combinaciones para fabricar el Prototipo 1 del Collar Canino

Prototipo 1 - Collar Ovino								
Combinaciones	Microcontrolador	LoRa	GPS	Alimentación	Actuadores	Sensores de Peligro	Precio sin recubrimiento	Precio con recubrimiento
P1_CO_1	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 5	105.25	126.87
P1_CO_2	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 5	105.25	126.87
P1_CO_3	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 2	Opción 5	111.06	132.68
P1_CO_4	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 2	Opción 5	88.86	110.48
P1_CO_5	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 2	Opción 5	96.51	118.13
P1_CO_6	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 2	Opción 5	93.87	115.49
P1_CO_7	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 2	Opción 5	93.87	115.49
P1_CO_8	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 2	Opción 5	99.68	121.30
P1_CO_9	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 2	Opción 5	93.90	115.52
P1_CO_10	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 2	Opción 5	93.90	115.52
P1_CO_11	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 2	Opción 5	99.71	121.33
P1_CO_12	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 2	Opción 5	93.01	114.63
P1_CO_13	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 2	Opción 5	93.01	114.63
P1_CO_14	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 2	Opción 5	98.82	120.44

P1_CO_15	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	139.30	160.92
P1_CO_16	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	139.30	160.92
P1_CO_17	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	145.11	166.73
P1_CO_18	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	129.77	151.39
P1_CO_19	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	129.77	151.39
P1_CO_20	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	135.58	157.20
P1_CO_21	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	145.07	166.68
P1_CO_22	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	145.07	166.68
P1_CO_23	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	150.88	172.50
P1_CO_24	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	135.54	157.16
P1_CO_25	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	135.54	157.16
P1_CO_26	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	141.35	162.97
P1_CO_27	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	140.20	161.82
P1_CO_28	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	140.20	161.82
P1_CO_29	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	146.01	167.63
P1_CO_30	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	130.68	152.30

P1_CO_31	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	130.68	152.30
P1_CO_32	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	136.49	158.11
P1_CO_33	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 5	137.14	158.76
P1_CO_34	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 5	137.14	158.76
P1_CO_35	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 5	142.95	164.57
P1_CO_36	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 5	127.61	149.23
P1_CO_37	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 5	127.61	149.23
P1_CO_38	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 5	133.42	155.04

Tabla 32: Tabla de las Combinaciones para fabricar el Prototipo 1 del Collar Ovino

Prototipo 2 - Collar Ovino								
Combinaciones	Microcontrolador	LoRa	GPS	Alimentación	Actuadores	Sensores de Peligro	Precio sin recubrimiento	Precio con recubrimiento
P2_CO_1	Opción 1	Opción 1	Opción 3	Opción 1	Opción 3	Opción 5	56.81	78.43
P2_CO_2	Opción 1	Opción 1	Opción 4	Opción 1	Opción 3	Opción 5	56.81	78.43
P2_CO_3	Opción 1	Opción 1	Opción 5	Opción 1	Opción 3	Opción 5	62.63	84.24
P2_CO_4	Opción 2	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 5	40.43	62.05

P2_CO_5	Opción 3	Opción 3	Opción 2	Opción 3	Opción 3	Opción 5	48.08	69.70
P2_CO_6	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 4	Opción 3	Opción 5	45.44	67.05
P2_CO_7	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 4	Opción 3	Opción 5	45.44	67.05
P2_CO_8	Opción 4	Opción 4	Opción 5	Opción 4	Opción 3	Opción 5	51.25	72.87
P2_CO_9	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	Opción 3	Opción 5	45.47	67.09
P2_CO_10	Opción 5	Opción 5	Opción 4	Opción 5	Opción 3	Opción 5	45.47	67.09
P2_CO_11	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 5	Opción 3	Opción 5	51.28	72.90
P2_CO_12	Opción 6	Opción 6	Opción 3	Opción 6	Opción 3	Opción 5	44.57	66.19
P2_CO_13	Opción 6	Opción 6	Opción 4	Opción 6	Opción 3	Opción 5	44.57	66.19
P2_CO_14	Opción 6	Opción 6	Opción 5	Opción 6	Opción 3	Opción 5	50.38	72.00
P2_CO_15	Opción 7	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	90.86	112.48
P2_CO_16	Opción 7	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	90.86	112.48
P2_CO_17	Opción 7	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	96.68	118.29
P2_CO_18	Opción 7	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	81.34	102.96
P2_CO_19	Opción 7	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	81.34	102.96
P2_CO_20	Opción 7	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	87.15	108.77

P2_CO_21	Opción 8	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	96.63	118.25
P2_CO_22	Opción 8	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	96.63	118.25
P2_CO_23	Opción 8	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	102.44	124.06
P2_CO_24	Opción 8	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	87.10	108.72
P2_CO_25	Opción 8	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	87.10	108.72
P2_CO_26	Opción 8	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	92.92	114.53
P2_CO_27	Opción 9	Opción 7	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	91.77	113.39
P2_CO_28	Opción 9	Opción 7	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	91.77	113.39
P2_CO_29	Opción 9	Opción 7	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	97.58	119.20
P2_CO_30	Opción 9	Opción 8	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	82.24	103.86
P2_CO_31	Opción 9	Opción 8	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	82.24	103.86
P2_CO_32	Opción 9	Opción 8	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	88.05	109.67
P2_CO_33	Opción 10	Opción 7	Opción 3	Opción 7	Opción 3	Opción 5	88.70	110.32
P2_CO_34	Opción 10	Opción 7	Opción 4	Opción 7	Opción 3	Opción 5	88.70	110.32
P2_CO_35	Opción 10	Opción 7	Opción 5	Opción 7	Opción 3	Opción 5	94.51	116.13
P2_CO_36	Opción 10	Opción 8	Opción 3	Opción 7	Opción 3	Opción 5	79.18	100.79

P2_CO_37	Opción 10	Opción 8	Opción 4	Opción 7	Opción 3	Opción 5	79.18	100.79
P2_CO_38	Opción 10	Opción 8	Opción 5	Opción 7	Opción 3	Opción 5	84.99	106.61

Tabla 33: Tabla de las Combinaciones para fabricar el Prototipo 2 del Collar Ovino

Prototipo 3 - Collar Ovino								
Combinaciones	Microcontrolador	LoRa	GPS	Alimentación	Actuadores	Sensores de Peligro	Precio sin recubrimiento	Precio con recubrimiento
P3_CO_1	Opción 7	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.02	127.64
P3_CO_2	Opción 7	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.02	127.64
P3_CO_3	Opción 7	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.83	133.45
P3_CO_4	Opción 7	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.02	127.64
P3_CO_5	Opción 7	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.02	127.64
P3_CO_6	Opción 7	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.83	133.45
P3_CO_7	Opción 8	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.79	133.41
P3_CO_8	Opción 8	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.79	133.41
P3_CO_9	Opción 8	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	117.60	139.22
P3_CO_10	Opción 8	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.79	133.41

P3_CO_11	Opción 8	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	111.79	133.41
P3_CO_12	Opción 8	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	117.60	139.22
P3_CO_13	Opción 9	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.92	128.54
P3_CO_14	Opción 9	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.92	128.54
P3_CO_15	Opción 9	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	112.74	134.35
P3_CO_16	Opción 9	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.92	128.54
P3_CO_17	Opción 9	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 2	Opción 5	106.92	128.54
P3_CO_18	Opción 9	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 2	Opción 5	112.74	134.35
P3_CO_19	Opción 10	Opción 9	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 5	103.86	125.48
P3_CO_20	Opción 10	Opción 9	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 5	103.86	125.48
P3_CO_21	Opción 10	Opción 9	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 5	109.67	131.29
P3_CO_22	Opción 10	Opción 9	Opción 3	Opción 7	Opción 2	Opción 5	103.86	125.48
P3_CO_23	Opción 10	Opción 9	Opción 4	Opción 7	Opción 2	Opción 5	103.86	125.48
P3_CO_24	Opción 10	Opción 9	Opción 5	Opción 7	Opción 2	Opción 5	109.67	131.29

Tabla 34: Tabla de las Combinaciones para fabricar el Prototipo 3 del Collar Ovino

Prototipo 4 - Collar Ovino								
Combinaciones	Microcontrolador	LoRa	GPS	Alimentación	Actuadores	Sensores de Peligro	Precio sin recubrimiento	Precio con recubrimiento
P4_CO_1	Opción 7	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	57.59	79.20
P4_CO_2	Opción 7	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	57.59	79.20
P4_CO_3	Opción 7	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.40	85.02
P4_CO_4	Opción 7	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	57.59	79.20
P4_CO_5	Opción 7	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	57.59	79.20
P4_CO_6	Opción 7	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.40	85.02
P4_CO_7	Opción 8	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.35	84.97
P4_CO_8	Opción 8	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.35	84.97
P4_CO_9	Opción 8	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	69.16	90.78
P4_CO_10	Opción 8	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.35	84.97
P4_CO_11	Opción 8	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	63.35	84.97
P4_CO_12	Opción 8	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	69.16	90.78
P4_CO_13	Opción 9	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	58.49	80.11

P4_CO_14	Opción 9	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	58.49	80.11
P4_CO_15	Opción 9	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	64.30	85.92
P4_CO_16	Opción 9	Opción 9	Opción 3	Opción 8	Opción 3	Opción 5	58.49	80.11
P4_CO_17	Opción 9	Opción 9	Opción 4	Opción 8	Opción 3	Opción 5	58.49	80.11
P4_CO_18	Opción 9	Opción 9	Opción 5	Opción 8	Opción 3	Opción 5	64.30	85.92
P4_CO_19	Opción 10	Opción 9	Opción 3	Opción 7	Opción 3	Opción 5	55.42	77.04
P4_CO_20	Opción 10	Opción 9	Opción 4	Opción 7	Opción 3	Opción 5	55.42	77.04
P4_CO_21	Opción 10	Opción 9	Opción 5	Opción 7	Opción 3	Opción 5	61.24	82.85
P4_CO_22	Opción 10	Opción 9	Opción 3	Opción 7	Opción 3	Opción 5	55.42	77.04
P4_CO_23	Opción 10	Opción 9	Opción 4	Opción 7	Opción 3	Opción 5	55.42	77.04
P4_CO_24	Opción 10	Opción 9	Opción 5	Opción 7	Opción 3	Opción 5	61.24	82.85

Tabla 35: Tabla de las Combinaciones para fabricar el Prototipo 4 del Collar Ovino

ANEXO 5 Comparación de Componentes

Consumo	Valor
Alto	> 10 mA
Medio	2 mA - 10 mA
Bajo	0.05 mA - 2 mA
Muy Bajo	< 0.05 mA

Tabla 36: Tabla de Puntaje de Consumo

Puntaje	Descripción corta	Definición detallada
5.00	Plug & Play	Existen librerías de Arduino listas, tutoriales en YouTube y se conecta fácil (pines estándar). Copiar y pegar código.
4.00	Muy Alta	Tiene librerías pero requiere soldar pines o ajustar configuraciones básicas en el código.
3.00	Media	Documentación aceptable, pero hay que leer el datasheet o la soldadura es SMD pequeña (requiere lupa).
2.00	Baja	No hay librerías claras, requiere drivers complejos o la soldadura es muy difícil para un principiante.
1.00	Experto	Requiere escribir el driver desde cero, soldadura industrial (BGA) o herramientas de depuración avanzadas.

Tabla 37: Tabla de Puntaje de Facilidad de Uso

Puntaje	Descripción corta	Definición detallada
5.00	Industrial	Viene encapsulado, es impermeable, no tiene partes móviles y no requiere calibración constante. (Ej: Reed Switch encapsulado).
4.00	Alta	Placa PCB sólida, componentes bien soldados, soporta vibraciones, pero requiere una caja impresa en 3D para protegerlo.
3.00	Prototipo	Funciona bien en mesa, pero en el animal podría fallar por cables sueltos, luz solar o suciedad (Ej: MPU6050 genérico).
2.00	Delicada	Muy sensible a interferencias (luz/ruido), requiere contacto perfecto o materiales extra (gel). Falla si el animal se mueve mucho.
1.00	Laboratorio	Solo funciona con el sujeto quieto y controlado. Imposible de usar en campo abierto (Ej: Sensor ECG con parches).

Tabla 38: Tabla de Puntaje de Robustez

Componente	Precio	Disponibilidad (Ar)	Voltaje	Consumo Sleep	Facilidad	Robustez	Veredicto
MPU6050	Bajo	Alta	3.3V - 5V	Medio (~4.0 mA)	5	3	
BMI160	Caro	Normal	3.3V	Muy Bajo (~0.005 mA)	3	3	
MPU6500	Medio	Normal	3.3V	Bajo (~0.1 mA)	4	3	

Tabla 39: Tabla Comparativa de Giroscopios

Componente	Precio	Disponibilidad (Arg)	Voltaje	Consumo (Activo)	Facilidad (1-5)	Calidad	Veredicto
MAX9814	Medio	Alta	3.3V - 5V	Medio (~3.0 mA)	5 (Auto)	4 (Se adapta)	Funcionamiento
MAX4466	Medio	Muy Alta	3.3V - 5V	Muy Bajo (~0.02 mA)	3 (Manual)	2 (Se satura)	Batería

Tabla 40: Tabla Comparativa de Sensor de Sonido

Componente	Precio	Disponibilidad (Arg)	Voltaje	Consumo Sleep (mA)*	Facilidad (1-5)	Robustez (1-5)	Veredicto
Adafruit ST25DV16K	Medio Bajo	Alta (Importadores)	3.3V - 5V	Nulo (0 mA)	5 (Plug&Play)	4	
ANT7-T-25DV64KC	Medio	Baja/Media (Mouser)	N/A (Pasivo)	Nulo (0 mA)	3 (Pines raros)	3 (Expuesto)	
Módulo NTAG I2C	Medio	Media (Genérico)	3.3V	Nulo (0 mA)	3 (Docs confusas)	3	
MIKROE-4635	Muy Caro	Baja (Difícil)	3.3V	Nulo (0 mA)	4	4	

Tabla 41: Tabla Comparativa de NFC