



Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica

**“Implementación de un Prototipo de Alarma de Parto
Bovino Para la Finca Jaicar”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Josué Hidalgo Arias

San Carlos, 2018

Resumen

En este informe se presenta el diseño e implementación de un prototipo para detectar patrones típicos de movimiento en vacas próximas a parir y a partir de ello, generar una alarma a la persona encargada. Se presenta un algoritmo detector de contracciones, que utiliza los ángulos: cabeceo, alabeo y guiñada para realizar una estimación de parto.

Palabras clave: parto, alarma, I2Cdev, contracciones, microcontroladores, animales bovinos.

Abstract

This report presents the design and implementation of a prototype to detect typical patterns of movement in cows close to give birth and generate an alarm based on that data. A contraction detector algorithm is presented, which uses the angles: pitch, roll and yaw to make a delivery estimate.

Keywords: cow birth, alarm, I2Cdev, contractions, microcontrollers, bovine animals.

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción.....	7
1.1 Entorno del proyecto.	7
1.1.1 Movimiento general parto bovino.....	7
1.1.2 Seguimiento del movimiento.....	8
1.2 Definición del problema.....	9
1.2.1 Generalidades.....	9
1.2.2 Síntesis del problema.....	10
1.3 Enfoque de la solución.....	10
Capítulo 2: Meta y Objetivos.....	12
2.1 Meta	12
2.2 Objetivo general.....	12
2.3 Objetivos específicos.....	12
Capítulo 3: Marco Teórico.....	13
3.1 Etapas y procesos del parto natural en bovinos.....	13
3.1.2 Nivel hormonal.....	16
3.2 Sistema de alimentación eléctrico.....	17
3.3 Protocolo de comunicación.....	18
3.4 Sensores.....	19
3.5 Microcontrolador.....	20
3.6 SMS.....	20
3.7 Comunicación inalámbrica	21
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.....	22
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto.....	22
4.1.1 Investigación bibliográfica.....	22
4.1.2 Variables elegidas.....	22
4.1.3 Ubicación del dispositivo.....	25
4.1.4 Sistema de referencia.....	25
Capítulo 5: Descripción de la Solución.....	26
5.1 Descripción general del diseño implementado.....	26
5.1.1 Descripción a nivel de hardware.....	26
5.1.2 Descripción a nivel de software.....	28
5.1.3 Descripción del diseño del algoritmo.....	30

Capítulo 6: Resultados.....	32
6.1 Resultados experimentales.....	32
6.2 Análisis de resultados.....	41
Capítulo 7: Conclusiones.....	43
7.1 Conclusiones.....	43
7.2 Recomendaciones.....	44
Capítulo 8: Referencias.....	45
8.1 Referencias.....	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Movimiento típico preparto.....	7
Figura 1.2. Ejes de rotación de un avión.....	8
Figura 1.3. Diagrama general de la solución.....	11
Figura 3.1. Cambios hormonales en las vacas antes de parir.....	16
Figura 3.2. Batería Li-Po comercial.....	17
Figura 3.3. Diagrama de interconexión para el protocolo I2C.....	18
Figura 3.4. MPU-6050.....	19
Figura 4.1. Sistema de referencia.....	25
Figura 5.1. Esquemático del hardware en la solución planteada.....	26
Figura 5.3. Electron 3G.....	27
Figura 5.4. Diagrama de bloques del Electron.....	27
Figura 5.5. Diagrama de flujo general del algoritmo detector de movimiento.....	28
Figura 5.6. Diagrama de flujo del bloque 1.....	29
Figura 5.7. Diagrama de flujo del bloque 2.....	29
Figura 5.8. Contracción de una vaca.	30
Figura 5.9. Contracción en vaca.....	31
Figura 5.10. Vaca en fase de expulsión.....	31
Figura 6.1. Medición de ángulos de movimiento en una vaca tranquila.....	33
Figura 6.2. Medición de los ángulos de movimiento en una vaca parada.....	35
Figura 6.3. Vaca echada sobre su costado izquierdo.....	35
Figura 6.4. Vaca parada.	36
Figura 6.5. Vaca durante parto.....	36
Figura 6.6. Mensajes de texto enviados automáticamente.....	36
Figura 6.7. Prototipo implementado, vista superior.....	37
Figura 6.8. Electron vista lateral.....	37
Figura 6.9. Sistema completo.....	38
Figura 6.10. Vaca echada con dispositivo colocado.....	39
Figura 6.11. Vaca nelore con dispositivo colocado.....	39
Figura 6.12. Vaca holstein con dispositivo colocado.....	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Resumen de cambios físicos y hormonales.....	15
Tabla 4.1.	Comparación de microcontroladores.....	24
Tabla 6.1.	Resumen de los cambios en la vaca durante el proceso del parto.....	32
Tabla 6.2.	Contracción en vaca jersey.....	34
Tabla 6.3.	Resumen de partos alertados por el dispositivo.....	40

Capítulo 1: Introducción

1.1 Entorno del Proyecto.

El proyecto se desarrolló en la empresa Jaicar, la cual es una finca ganadera ubicada en la Angostura de San Ramón, Alajuela. Este proyecto pretende suplir una necesidad real de esta empresa: la pérdida de crías durante labor de parto.

El parto bovino es una etapa fundamental en producción animal, ya que en esta aumenta el número de animales en la finca [6], lo que a su vez representa una mayor productividad e ingresos.

Previo al nacimiento de un ternero o ternera, existen diferentes cambios fisiológicos en la vaca [6] que alteran su comportamiento durante el proceso del parto.

1.1.1 Movimiento general preparto bovino

A continuación, se muestra el comportamiento físico típico de una vaca que se encuentra próxima a parir.

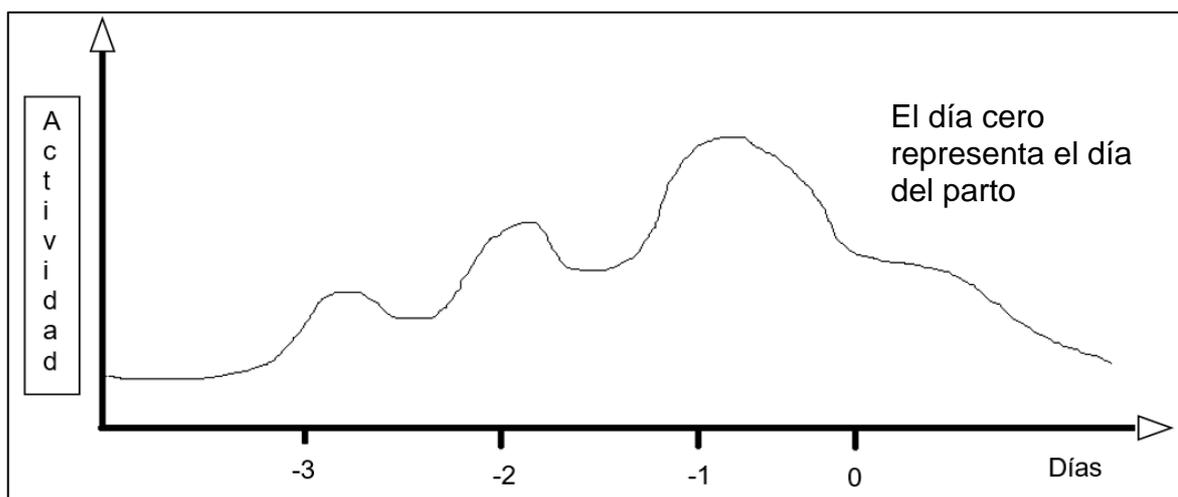


Figura 1.1 Movimiento típico preparto. Fuente: Entrevista a experto [4].

En la Figura 1.1 se puede observar el aumento de la intensidad de los movimientos de la vaca, horas antes del parto; sin embargo, otro comportamiento que incrementa de forma significativa pero que no se muestra en el gráfico es el movimiento de la cola.

1.1.2 Seguimiento del movimiento.

En la determinación y seguimiento del movimiento animal y en general de cualquier objeto, se utiliza el cálculo de ángulos de guiñada, cabeceo y balanceo, comúnmente asociado a los ejes de un avión [2]. Para lograr un seguimiento del movimiento de la cola del animal, se utilizan los ángulos descritos en la Figura 1.2.

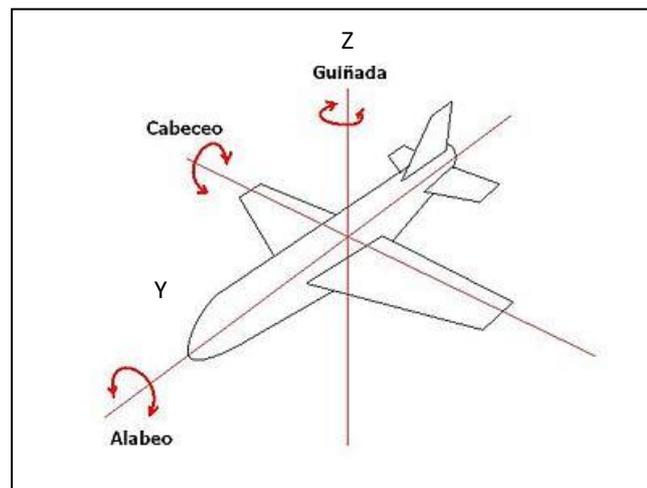


Figura 1.2. Ejes de rotación de un avión. Fuente: Wikipedia [2].

Los ángulos se pueden calcular con las siguientes formulas [12]:

$$\text{Ángulo de cabeceo} = \tan^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{y^2 + z^2}}\right)$$

$$\text{Ángulo de balanceo} = \tan^{-1}\left(\frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}}\right)$$

1.2 Definición del problema

1.2.1 Generalidades

En condiciones normales, el periodo de gestación de una vaca es de 283 días, es decir, aproximadamente 9 meses; no obstante, tres meses después de darse el parto, inicia nuevamente el ciclo de preñez, haciendo posible que el animal tenga una cría al año [13]. Precisamente, en un proyecto de explotación ganadera (ya sea de carne o de leche) es de interés que la cantidad de crías sea estable o que preferiblemente, aumente. Por lo anterior, se dice que el objetivo de todo ganadero es tener una cría por vaca al año. Sin embargo, este objetivo no siempre se alcanza. Algunas de las dos razones más importantes son: que los días abiertos, (periodo de tiempo desde el parto hasta el inicio de la gestación) sobrepasen los 3 meses y la otra que la cría muera antes, durante o después de la labor de parto [6].

En general, entre un 3.7 y 4% de las vacas pierden su cría durante labores de parto [14]. Esto representa un número importante cuando se toma como referencia la producción ganadera de una finca, región o país.

Cuando se tiene una novilla próxima a parir, al ser este su primer parto, no sabe a lo que se enfrenta y normalmente la labor de parto dura más tiempo, esto puede provocar la muerte por asfixia de la ternera o ternero e incluso, la muerte de la madre, debido al desgaste físico que realiza [6].

En ocasiones, la cría no se desarrolla en la posición correcta, lo que obliga a la persona encargada a realizar un reacomodo del ternero con anticipación. Situaciones como la anterior, hacen que sea aún más importante estar presente antes que inicie la labor de parto en caso de que la vaca requiera de ayuda, sin embargo, el estar vigilando a la vaca demanda tiempo que puede ser invertido en otras actividades [14]. Aproximadamente el 13.1 y 28.2% de las vacas y novillas requieren asistencia durante el parto. En muchas ocasiones hay partos nocturnos, en horarios donde el personal está comprometido con otras actividades, rodeo numeroso o rutinas de observación no adecuadas. En consecuencia, muchos partos se desarrollan sin supervisión, con los riesgos que esto implica.

1.2.2 Síntesis del problema

Pérdida de crías por una falta de asistencia durante el parto bovino.

1.3 Enfoque de la solución

El presente trabajo está centrado en la investigación, diseño e implementación de un prototipo de alarma de parto bovino, el cual avisa al encargado del animal con anticipación de un parto inminente.

Para detectar el parto se hace un seguimiento del movimiento de la cola de la vaca. Para analizar el movimiento del animal resulta necesario la implementación de varios sensores como giroscopio, magnetómetro y acelerómetros.

Con ayuda de los sensores se calcula periódicamente el ángulo de la cola con respecto al suelo. Además, se analiza el cálculo de balanceo, ya que es un indicador de si la vaca se encuentra de pie o de lo contrario echada. Si en un periodo se para y echa muchas veces es posible que se acerca la hora del nacimiento.

Se realiza un promedio de los parámetros y este se compara con un valor establecido en memoria. Si supera el promedio se da la alerta vía SMS (short message service) al teléfono celular del encargado.

Para el desarrollo del proyecto se requiere varios módulos como fuente de alimentación eléctrica, comunicación inalámbrica, microcontrolador, sensores.

Este prototipo detector debe estar inmerso dentro de una carcasa bien sujeta y sellada.

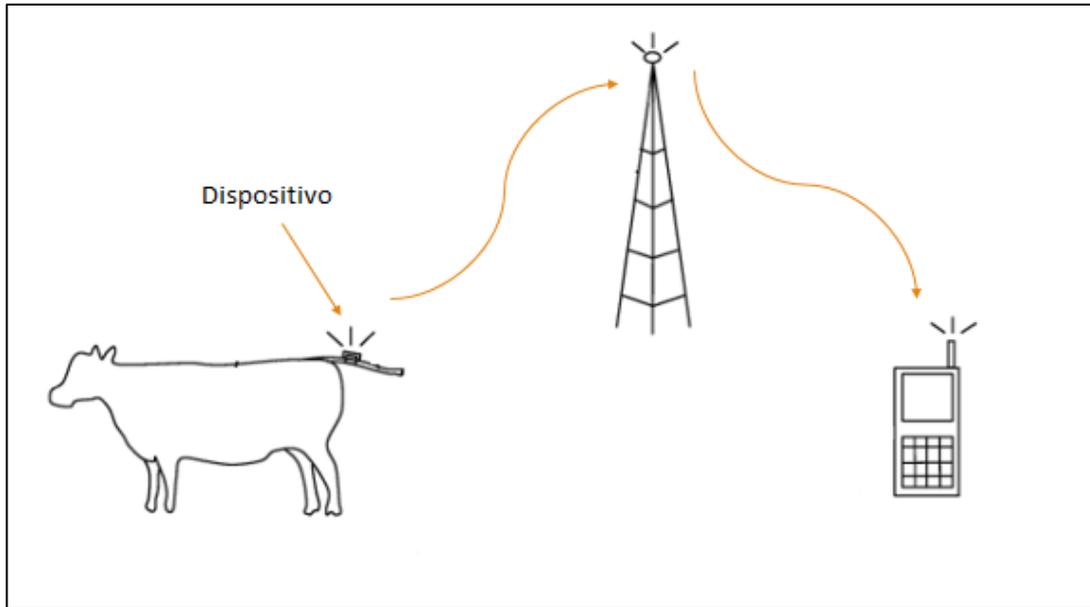


Figura 1.3. Diagrama general de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Reducir el número de crías que mueren durante labor de parto bovino.

2.2 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema que detecte patrones típicos de movimiento de una vaca a punto de parir para generar una alarma de manera inalámbrica al encargado.

2.3 Objetivos específicos

Investigar los factores determinantes que dan indicio de un parto bovino.

-Indicador: Tabla resumen con los principales factores preparto.

Diseñar y desarrollar un algoritmo de detección de parto bovino.

-Indicador: Diagrama de flujo e implementación del algoritmo.

Diseñar e implementar el prototipo propuesto para generar la alarma.

-Indicador: Dispositivo en físico integrado que cumpla la función de generar la alarma.

Verificar la funcionalidad del dispositivo según el algoritmo para generar la alarma al encargado.

-Indicador: Resultados y datos positivos al generar la alarma.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Etapas y procesos del parto natural en bovinos

El parto bovino es el nacimiento del feto que durante nueve meses se ha desarrollado y está preparado para ser expulsado [4]. El parto incluye el nacimiento de un ternero y la salida de la placenta. Es desencadenado por factores hormonales principalmente. De manera natural el feto descansa en su abdomen con las patas anteriores dirigidas hacia la abertura uterina (el cervix) y su cabeza descansando entre sus patas delanteras [6].

Los cambios en el feto inician todo el proceso del parto, pero es la madre la que determina el momento preciso en que ocurra. Entre estos factores están: peso del feto, envejecimiento de la placenta y detritos residuales en el líquido amniótico y alantoideo estimulan al eje hipotálamo-hipófisis adrenal del ternero [6].

Los cambios que se presentan en la madre son: aumento de la ubre, los músculos y ligamentos de la pelvis y la cola se suavizan y relajan, inflamación y edematización de la región vulvar, dos días previos al parto hay un descenso de hasta un grado centígrado en la temperatura rectal, de 38.5° a 37.5° [6]. Además, 24 horas antes del parto aparecen cambios en el pulso, el ritmo cardiaco se acelera hasta 80-90 latidos por minuto. El día del parto, la barriga de la vaca pareciera como si fuese a desaparecer, ya que el ternero se desplaza al canal del nacimiento [4].

El parto natural puede dividirse en tres etapas [15]:

- Etapa Preliminar (Dilatación).
- Etapa de Expulsión.
- Etapa Final.

A) Etapa de dilatación:

Se caracteriza por el bloqueo de la progesterona, incremento en las secreciones a nivel del cuello uterino, relajamiento del cuello producto de la prostaglandina, estrógenos y relaxina [6]. Comienzan las contracciones activas del útero y dilatación del cervix. Durante esta fase las contracciones son involuntarias y ocurren cada 10 a 15 minutos con una duración de 20 segundos [6], aumentando en frecuencia, intensidad y amplitud a medida que progresa el parto.

El animal presenta signos de inquietud, mueve la cola constantemente y de vez en cuando trata de patear su vientre. Este periodo dura de 2 a 4 horas normalmente. Rumia irregular. El dolor de las contracciones hace que la vaca permanezca arqueada por varios minutos hasta que incluso debe echarse [15].

B) Etapa de Expulsión:

En esta etapa la cría por nacer es forzada y expulsada a través del canal del parto. Este proceso puede durar de 0.5 a 4 horas. Inicia con el rompimiento del alantocorion o primera bolsa de aguas. La temperatura de la vaca puede elevarse a 39° y el pulso incrementarse a 100 p.p.m. Las contracciones se hacen ahora cada 2 o 3 minutos con una duración de 60 a 90 segundos cada una [6]. Para las contracciones participa la oxitocina.

Habitualmente la vaca pare echada, aunque a veces lo puede hacer de pie según sea el entorno. Cuando la cabeza del ternero pasa por la vulva, la vaca se echa y normalmente hace una pausa [6]. El cordón umbilical se rompe inmediatamente a la salida y aquí termina la fase expulsiva. El ternero comienza su vida independiente.

C) Etapa final:

Es la expulsión de las membranas que rodean al feto, las cuales contienen la placenta de la vaca. Las contracciones ayudan a separar la placenta fetal de la membrana materna [6]. Normalmente ocurre de 2 a 12 horas después del nacimiento. Si pasa de entre 12 y 24 horas es una retención.

Tabla 3.1. Resumen de cambios físicos y hormonales. Fuente: Elaboración propia

Cambios	24 horas antes	Fase de dilatación	Fase de expulsión	Fase final
Físicos	Caída en los músculos de la pelvis (“quebrada”)	Se echa y se levanta repetidamente	Mayor parte del tiempo echada	Normalmente vaca levantada
	Barriga disminuida	Incómoda	Aumento del ritmo cardiaco	
	Rumia irregular	Rumia irregular	Mayor número de contracciones	Contracciones débiles
	Cambio en el pulso	Cola levantada en contracciones		
	Descenso en la temperatura rectal	Presión interna-salida alantoides y amniótica	Aumento en la temperatura rectal	
Apertura del cuello uterino				
Hormonales	Progesterona baja	Nivel alto de estrógenos	Nivel alto de estrógenos	
		Progesterona muy baja	Progesterona muy baja	
	Oxitocina alta	Oxitocina muy alta	Mayor cantidad de oxitocina	
	Nivel medio de PGF2a	Nivel alto de PGF2a	Nivel muy alto de PGF2a	
		Relaxina alta	Relaxina alta	

1.1.2 Nivel hormonal

Como se puede observar en la Tabla 3.1 hay cambios a nivel físico y hormonal cuando una vaca se aproxima al parto.

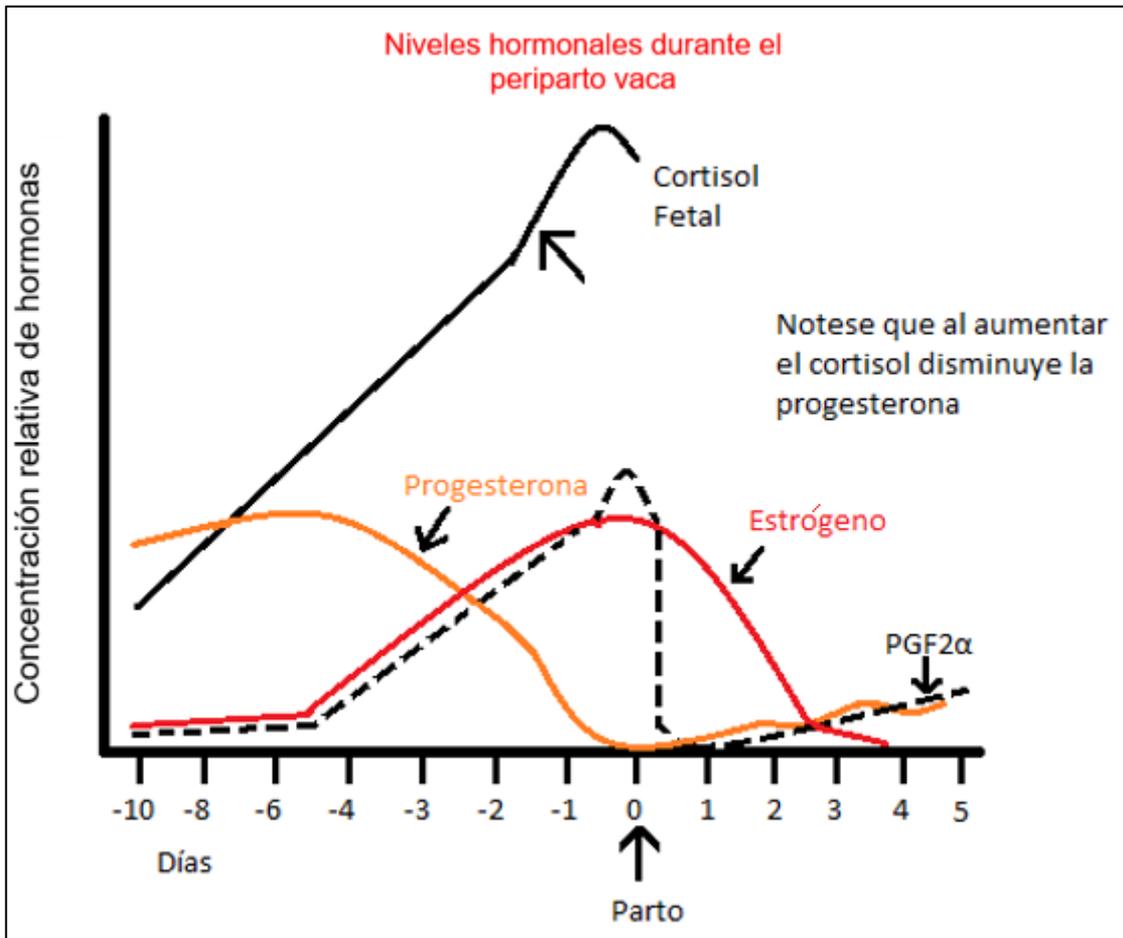


Figura 3.1. Cambios hormonales en las vacas antes de parir. Fuente: Tomado de [3].

Si se pudiera interpretar las hormonas como señales eléctricas resultaría sencillo dar la alarma de un parto inminente, sin embargo, aún no se tiene un método y facilidad para medirlas. Generalmente se requieren muestras de sangre y una persona especialista en el área.

3.2 Sistema de alimentación eléctrico

Las baterías de polímero de litio son muy utilizadas en la actualidad en todo tipo de dispositivos, es el cuarto tipo de fuente de alimentación presente en los vehículos eléctricos, y el primer tipo en cuanto a vehículos aéreos no tripulados [9].

Estas baterías suelen considerarse de estado sólido debido a que su electrolito es sólido. El electrolito más común es el óxido de polietileno, con su respectiva sal. Con el fin de contrarrestar la baja conductividad de los polímeros empleados, las baterías suelen ser construidas en capas delgadas. Esto genera seguridad al sistema, ya que en caso de que el encapsulamiento se rasgue, los electrolitos no podrán fluir con facilidad [9].

En la Figura 3.2 se muestra la estructura de una batería de polímero de litio comercial.

Dentro de las características relevantes de las baterías Li-Po se pueden mencionar las siguientes:

- Tensión nominal bajo carga de 3 a 4.2 V.
- Auto descarga menor a un 10% por mes.
- Se conforman desde 1 celda hasta 12 celdas.
- Necesidad de un cargador balanceado.



Figura 3.2. Batería Li-Po comercial. Fuente: Adafruit [10].

3.3 Protocolo de comunicación

I²C (Inter-Integrated Circuit):

Se considera un protocolo más simple en cuanto a la cantidad de líneas implementadas, pero resulta que su configuración es más compleja, ya que cuenta solo con 2 SCL (Serial Clock) y SDA (Serial Data) [7].

Entre las características principales de este protocolo se encuentra que se permite la conexión de múltiples maestros y esclavos, donde cada esclavo tiene una dirección específica a la cual el maestro envía la información. Los paquetes que se transmiten están formados por un byte de dirección y luego un byte de datos [7]. En la Figura 2.11 se observa la interconexión en el protocolo I²C.

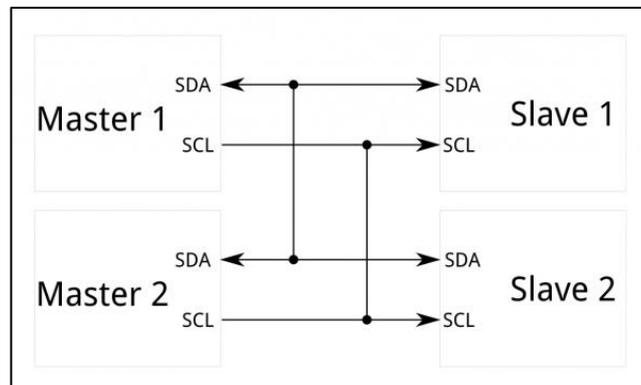


Figura 3.3 Diagrama de interconexión para el protocolo I²C. Fuente: Sparkfun [7].

3.4 Sensores

Para el proyecto es necesario un sensor de movimiento, en el mercado existen varias opciones: GY-89, MPU-6050, MMA8451, UTH 6050, 9 DOF IMU. Sin embargo, por la documentación disponible y cumple con al menos tres ejes de movimiento, se eligió el MPU-6050.

El MPU-6050 posee un acelerómetro y un giroscopio en los ejes x,y,z con una alta precisión. Posee convertidores analógicos a digital de 16 bit y este se comunica por I2C desde cualquier microcontrolador [18], por ejemplo, Arduino o Particle Electron.

Algunas características:

- Salidas del giroscopio y acelerómetro programables.
- Rendimiento de ruido mejorado.
- Filtro paso bajo programable.
- Interrupciones programables.
- Los ADC integrados permiten muestreos simultáneos.

A continuación, se muestra el sensor de movimiento utilizado.

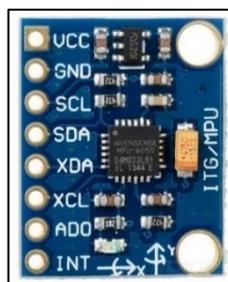


Figura 3.4. MPU-6050. Fuente: Makerlab [17].

3.5 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que puede ser programado desde un ordenador para realizar diversas tareas. Posee en su interior tres unidades funcionales de una computadora: CPU, memoria y unidad de entrada/salidas [19].

Algunas de las principales características [19]:

- Memoria RAM para contener los datos.
- Bajo costo económico.
- Memoria: Flash, ROM, EPROM.
- Múltiples entradas y salidas.
- Módulos de Conversores Analógico/Digital (CAD) y Conversores Digital/analógico (CDA).

3.6 SMS

SMS (Short Message Service) son mensajes breves de texto de hasta 160 caracteres que pueden ser enviados o recibidos desde un teléfono móvil. Está disponible en redes digitales GSM (Global System for mobile communication). Si el teléfono móvil se encuentra fuera de cobertura puede guardar el mensaje hasta que esté operativo de nuevo [20].

Tiene diversas aplicaciones: comunicación entre personas, máquina-persona y entre máquinas. Algunos de los usos más frecuentes son: enviar alarmas, dar avisos, control de estaciones remotas, enviar confirmaciones de compras [20].

3.7 Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica es aquella en donde las partes (emisor/receptor) no se encuentran unidas por un medio físico, el intercambio de información se realiza a través del espectro electromagnético [22]. Los dispositivos físicos solo se encuentran en los emisores y receptores, por ejemplo, teléfonos móviles, antenas, computadoras.

Un ejemplo de comunicación inalámbrica es la telefonía celular. El funcionamiento del sistema celular es muy complejo, implican una serie de tareas: modulación, codificación, acceso múltiple, monitoreo y tarificación. Este sistema está compuesto por elementos como [21]:

- Unidades móviles (teléfonos celulares).
- Celdas (provee la interfaz entre el MTSO y unidades móviles).
- Conmutador central móvil (MTSO) que controla el procesamiento y tarificación.
- Conexiones o enlaces que conectan los tres subsistemas anteriores.

Una de las características de este sistema es que permite que muchos usuarios puedan acceder a la vez, esto gracias a las técnicas de acceso múltiple. Esto se logra compartiendo el canal de Radio Frecuencia (RF) [21], a través de:

- FDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencias).
- TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo).
- CDMA (Acceso Múltiple por División de Código).

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

4.1 Etapas de Desarrollo del Proyecto

4.1.1 Investigación bibliográfica

En esta primera etapa, a fin de entender completamente el problema, se procedió con la lectura de reseñas bibliográficas relacionadas con parto bovino, así como investigaciones y publicaciones sobre dispositivos detectores de parto. Como complemento, se tomaron los conocimientos del curso de diseño de algoritmos, impartido en el Tecnológico de Costa Rica, a fin de contar con una base sobre la cual fundamentar correctamente la solución.

Un aspecto que se tomó en cuenta para la solución del problema fue recopilar información sobre los partos bovinos, a través de videos y, sobre todo, atender varios nacimientos de crías. Esto con el fin de tener una base más real sobre el comportamiento animal.

4.1.2 Variables elegidas

La segunda etapa consistió en elegir las variables adecuadas. Esta etapa es importante ya que determina el tipo de sensor a utilizar. Los sensores elegidos deben ser precisos, económicos y simples, esto como balance general.

Los cambios hormonales resultan bastante precisos, pero no hay un método simple ni económico. La medición de temperatura rectal es invasivo e indeseable. Los sensores de ritmo cardiaco no tienen la precisión requerida y generalmente requieren exactitud al colocar el sensor.

Los cambios en el movimiento general de la vaca son producto de los cambios hormonales. Por tanto, es mejor medir de forma indirecta los cambios hormonales a través del movimiento de la vaca. Se puede realizar el seguimiento de la cola del animal, ya que es la zona cercana al canal de parto (vía por donde va a ser expulsada la cría).

El seguimiento de un objeto, en este caso la cola de un animal, resulta barato, simple y preciso, aunque se requiere de un algoritmo más complejo para lograr el objetivo de dar la alarma cuando se acerca la hora del parto bovino.

Se requiere un controlador capaz de leer adecuadamente el sensor de movimiento. Se tienen varias opciones: Arduino nano - UNO, raspberry pi zero.

Los anteriores microcontroladores funcionan, pero no cuentan con módulo de comunicación inalámbrica. Hay microcontroladores enfocados en el internet de las cosas, es decir, cuentan con módulo de comunicación inalámbrica: FONA 808, FONA 3G, Electron-Celular, Photon-wifi, ITEAD Arduino 3G, 3G UMTS SHIELD, Konekt Line.

A continuación, se presenta una tabla resumen de algunos microcontroladores más importantes del mercado IoT (Internet of Things). El precio se consultó de las páginas oficiales el 15 de julio del 2017.

Tabla 4.1. Comparación de microcontroladores.

Microcontrolador	Precio	Lenguaje de programación	Tipo de conexión	Tamaño
FONA 808	\$ 49,95	Arduino(C)	2G	Pequeño
FONA 3G	\$ 80	Arduino(C)	2-3G celular	Mediano
Electron-Celular	\$ 69	Arduino(C)	2-3G celular	Pequeño
Photon-Wi-Fi	\$ 19	Arduino(C)	Wi-Fi	Pequeño
IDEAD Arduino 3G	\$ 113,3	Arduino(C), Python	2-3G celular	Grande
3G UMTS SHIELD	\$ 80	Arduino(C), Python	2-3G celular	Pequeño
Konekt's Dash Pro	\$ 76,2	Arduino(C)	2-3G celular	Pequeño

Como normalmente la producción agropecuaria se desarrolla en zonas alejadas a la ciudad, con menor accesibilidad a red eléctrica, telefónica e internet, un microcontrolador que se comunique a través de Wi-Fi es poco provechoso, es necesario conectividad celular 2G o 3G. Según la Tabla 4.1, se elige el Electron-Celular de Particle por su precio, tamaño, fácil programación y sobre todo documentación.

4.1.3. Ubicación del dispositivo

Se elige la cola de la vaca como un buen lugar para colocar el dispositivo y seguir de forma general la posición de la vaca. Dado la forma de la cola (cónica) se debe diseñar el dispositivo de forma que no se desprenda del rabo de la vaca. Una correa que no lastime al animal y que no se deslice es necesaria para el proyecto.

Se debe colocar el dispositivo a la altura de la vulva de la vaca, esto para evitar el exceso de movimiento y así, evitar la caída del mismo.

4.1.4. Sistema de referencia

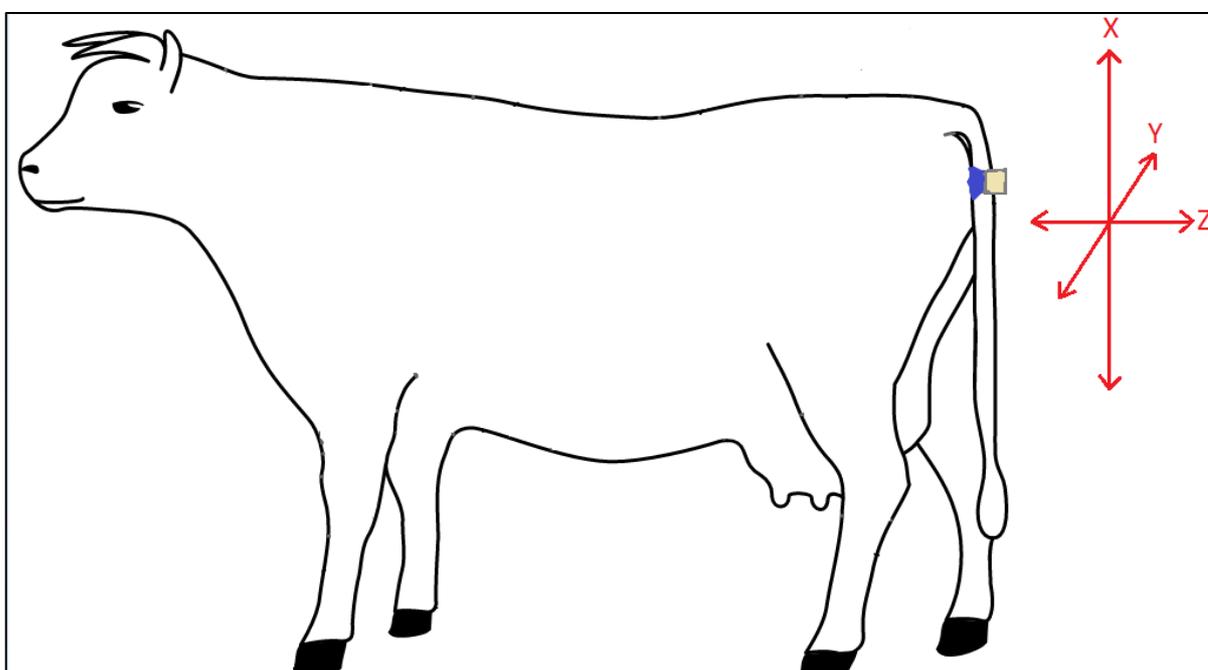


Figura 4.2. Sistema de referencia utilizado. Fuente: Elaboración propia utilizando imagen Taurus [16].

El sistema de referencia se eligió de acuerdo con las características del sensor y la fácil interpretación de los ángulos. Además, este tipo de orientación es muy utilizado en dispositivos móviles. Se tiene como referencia el dispositivo de alarma, en donde el eje x se encuentra alineado con el dispositivo, el eje y de forma lateral y el eje z perpendicular al dispositivo, tal como se muestra en la Figura 4.2.

Capítulo 5: Descripción de la Solución

5.1 Descripción general del diseño implementado

5.1.1 Descripción a nivel de hardware

En términos generales, la solución planteada representa un sistema que detecta patrones típicos preparto en animales bovinos.

La comunicación entre el IMU 6050 se realiza a través el protocolo I2C. El Electron cuenta con una tarjeta SIM que junto con el módulo U-Blox SARA-U260 logra la conexión a internet.

El sistema es alimentado por una batería tipo Li-Po de 2000 mAh, con una tensión 3.7 V.

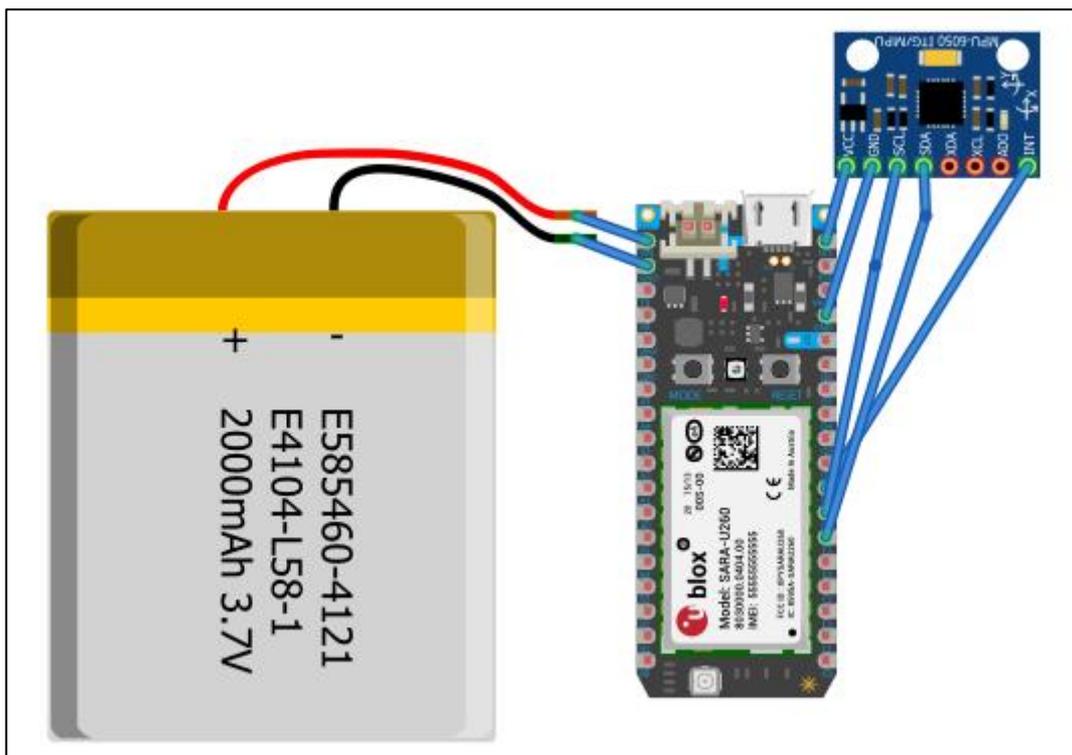


Figura 5.1. Esquemático del hardware en la solución planteada.

Fuente: Elaboración propia utilizando Fritzing.

Electron 3G.

A continuación, se muestra el electron 3G de Particle.



Figura 5.3. Electron 3G. Fuente: Particle [11].

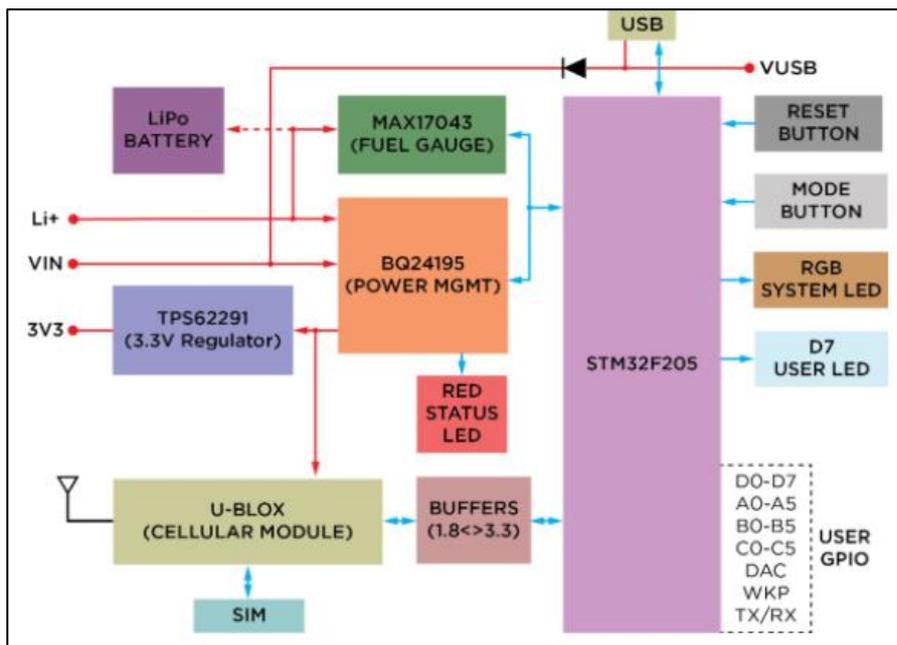


Figura 5.4. Diagrama de bloques del Electron. Fuente: Particle [11].

5.1.2 Descripción a nivel de software

Desde el punto de vista de software, la estrategia utilizada se basó primeramente en la búsqueda de las estructuras de programación y manejo de datos que se adecuaron al problema propuesto. El algoritmo debe ser preciso, definido y finito.

Para el desarrollo del algoritmo detector de parto bovino, se eligió la plataforma Arduino. En esta plataforma se diseñó la detección de los movimientos típicos preparto, así como generar la alarma.

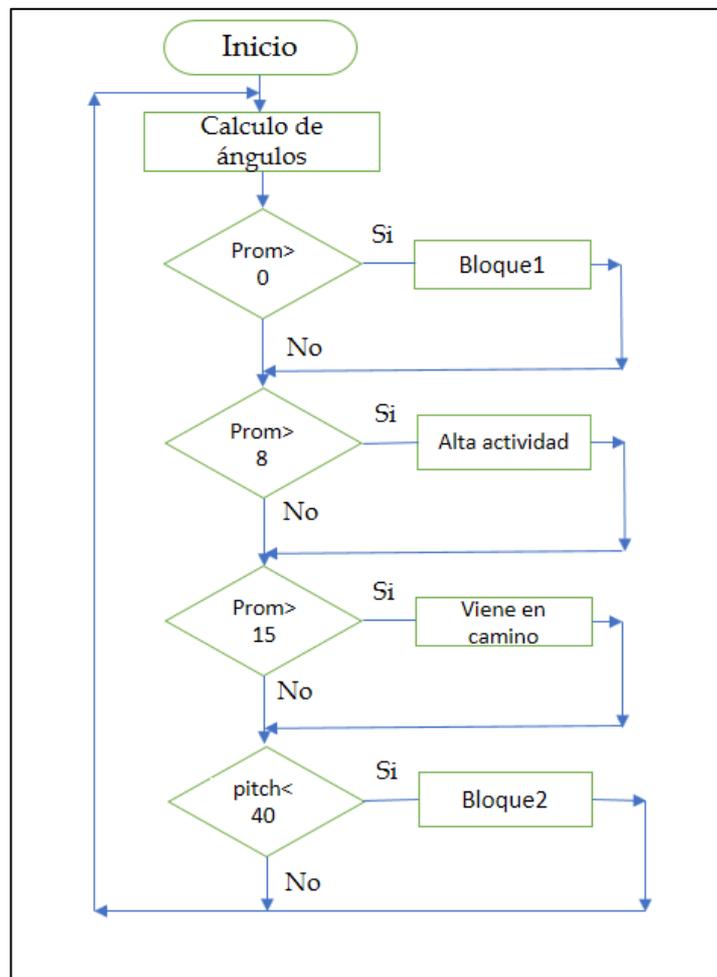


Figura 5.5. Diagrama de flujo general del algoritmo detector de movimiento preparto.

Fuente: Elaboración propia.

Bloque 1

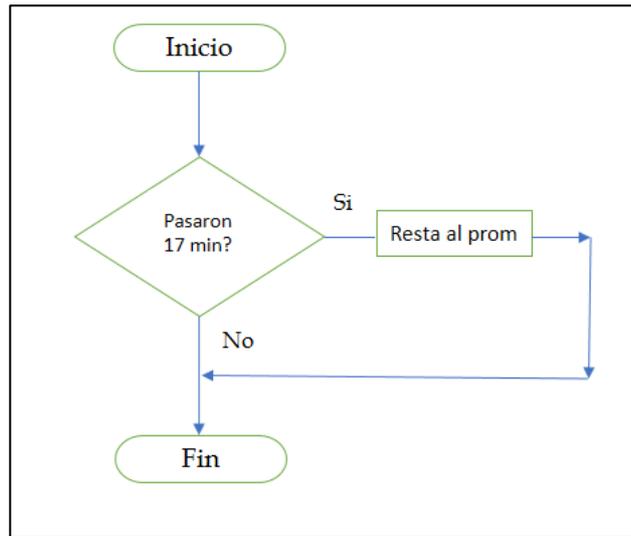


Figura 5.6. Diagrama de flujo del Bloque 1. Fuente: Elaboración propia.

Bloque 2

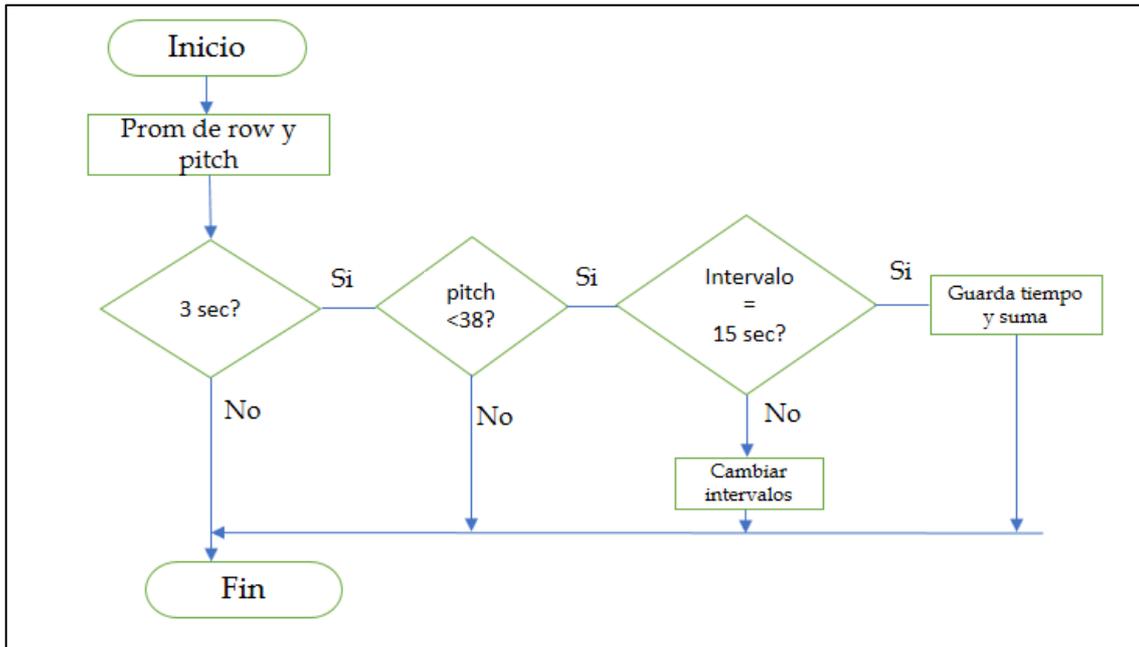


Figura 5.7. Diagrama de flujo del Bloque 2. Fuente: Elaboración propia

En general el algoritmo determina si se presentan movimientos típicos preparto y de ser así, suma al valor general. Una vez que se dan varias sumas de movimiento atípico y alcanzan un cierto nivel, durante un cierto tiempo, se da la alarma a la persona.

Si se detecta un valor atípico se suma al valor general, pero si pasa el tiempo de ventana y no se alcanza el valor para dar la alerta, se resta el valor de esa suma, es decir, se descarta ese movimiento.

El algoritmo analiza el nivel general durante una ventana de tiempo de aproximadamente 17 minutos.

5.1.3 Descripción del diseño del algoritmo

Como se mostró en la sección anterior el algoritmo se basa en la detección de movimientos propios del parto, específicamente durante la etapa de dilatación y expulsión. Son tres los aspectos más relevantes: tiempo de levantamiento de la cola, número de elevaciones de la cola, vaca acostada con cola recta.

Tiempo de levantamiento de la cola: Debido a los movimientos del útero y del feto la vaca permanece arqueada durante las contracciones, esto es, una elevación de la cola durante un tiempo determinado, generalmente cerca de un minuto o más, según la Tabla 6.2 (tiempo de levantamiento de la cola, jersey).



Figura 5.8. Contracción de una vaca. Fuente: Sancan [6].

Número de elevaciones de la cola: como se muestra en la Tabla 6.2 las contracciones van en aumento conforme se acerca la hora del parto. En cada contracción la vaca levanta la cola por un tiempo determinado, este proceso se realiza muchas veces antes de la etapa de expulsión.

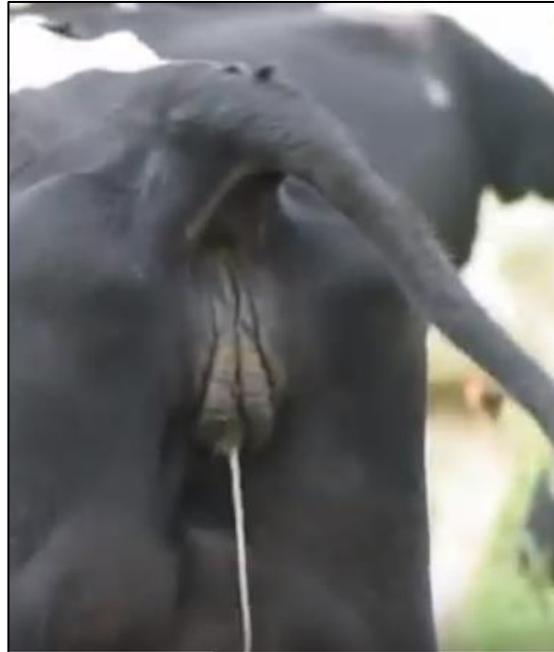


Figura 5.9. Contracción en vaca. Fuente: Sancan [6].

Vaca acostada con cola “recta”: durante la fase de expulsión o durante contracciones fuertes la vaca generalmente se acuesta con la cola “recta”, este periodo normalmente es de varios minutos, tal como se muestra en la Figura 5.10.

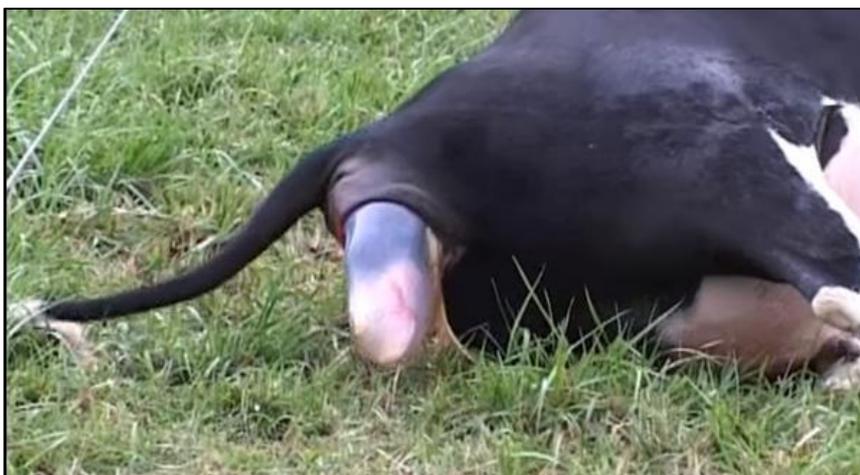


Figura 5.10. Vaca en fase de expulsión. Fuente: Sancan [6].

Capítulo 6: Resultados

6.1 Resultados

Uno de los primeros resultados, producto de la investigación es una tabla con la identificación de los principales cambios a nivel físico y hormonal durante el proceso del parto.

Tabla 6.1. Resumen de los cambios en la vaca durante el proceso de parto.

Cambios	24 horas antes	Fase de dilatación	Fase de expulsión	Fase final
Físicos	Caída en los músculos de la pelvis (“quebrada”)	Se echa y se levanta repetidamente	Mayor parte del tiempo echada	Normalmente vaca levantada
	Barriga disminuida	Incómoda	Aumento del ritmo cardiaco	
	Rumia irregular	Rumia irregular	Mayor número de contracciones	Contracciones débiles
	Cambio en el pulso	Cola levantada en contracciones		
	Descenso en la temperatura rectal	Presión interna-salida alantoides y amniótica	Aumento en la temperatura rectal	
Apertura del cuello uterino				
Hormonales	Progesterona baja	Nivel alto de estrógenos	Nivel alto de estrógenos	
		Progesterona muy baja	Progesterona muy baja	
	Oxitocina alta	Oxitocina muy alta	Mayor cantidad de oxitocina	
	Nivel medio de PGF2a	Nivel alto de PGF2a	Nivel muy alto de PGF2a	
		Relaxina alta	Relaxina alta	

A partir de la Tabla 6.1 se eligen las variables a estudiar e interpretar. En esta solución se eligió el movimiento general de la vaca, específicamente el movimiento de la cola del animal.

El dispositivo cuenta con el sensor de movimiento, batería y microcontrolador, todo inmerso dentro en un cobertor de plástico que lo protege del medio exterior. Además, este cobertor esta adherido a una banda antideslizante tipo correa para evitar la caída del dispositivo.

El microcontrolador analiza los datos que recibe del sensor de movimiento durante una ventana de tiempo. Si durante esta ventana de tiempo se detectan alta actividad se dará la alarma a la persona.

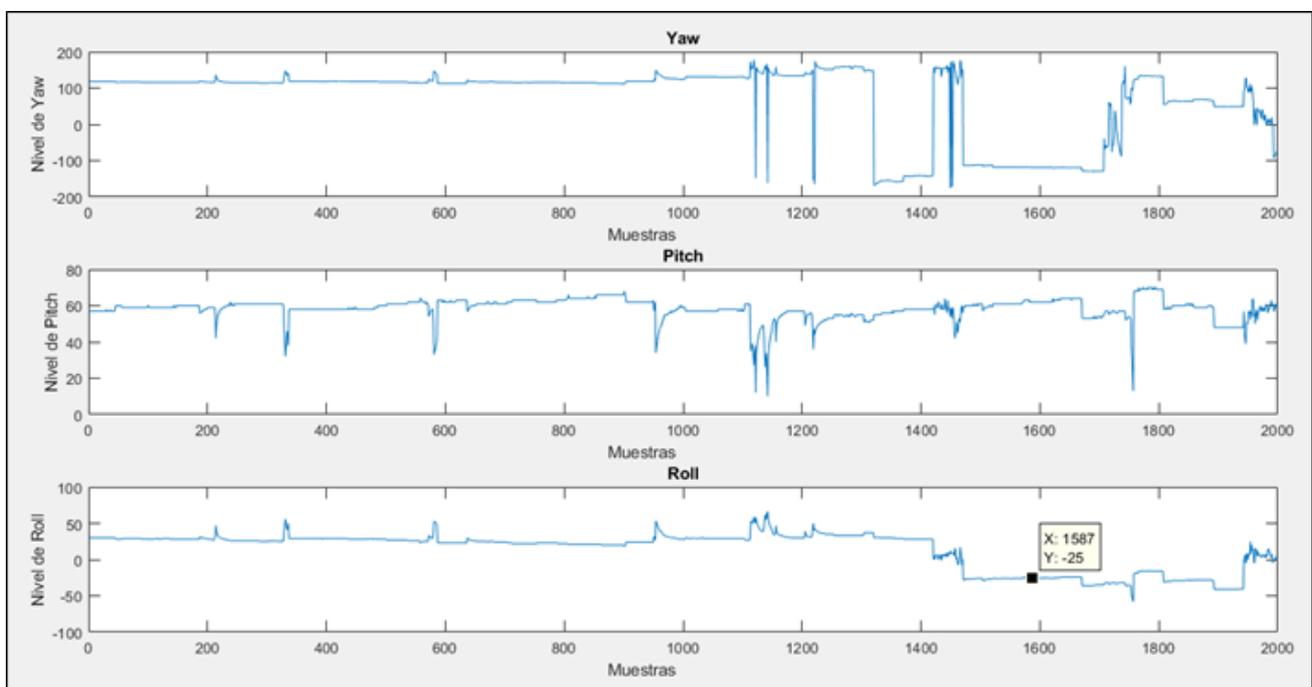


Figura 6.1. Medición experimental de los ángulos de movimiento en una vaca tranquila.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la adquisición de datos, (Figuras 6.1- 6.4), se toman 8 muestras por segundo de los valores de yaw, pitch, roll (guiñada, cabeceo, alabeo) fueron publicados en Particle, luego los datos son almacenados en un documento Excel y por último con ayuda de Matlab se gráfica cada ángulo.

En la Figura 6.1, se observan datos experimentales de una vaca pronta, en condición estable (más de 24 horas antes del parto).

El valor de guiñada no se utilizó en el algoritmo detector, los ángulos más importantes con respecto al sistema de referencia elegido son cabeceo y alabeo.

En la Tabla 6.2 se muestra el registro de contracciones y los tiempos de duración en una vaca jersey.

Tabla 6.2. Contracciones en vaca jersey.

Hora (am)	Tiempo (minutos)	Evento
9:36	0:25	Levantamiento del rabo
9:42	0:37	Levantamiento del rabo
9:45	1:30	Levantamiento del rabo
9:48	0:50	Levantamiento del rabo
9:54	1:10	Levantamiento del rabo
9:58	0:20	Levantamiento del rabo
10:01	1:41	Levantamiento del rabo
10:03	1:04	Giro y rabo levantado
10:07	0:44	Incómoda y rabo levantado
10:11	1:17	Contracción (rabo levantado)
10:13	0:40	Levantamiento del rabo
10:16	0:40	Levantamiento del rabo
10:19	0:10	Levantamiento del rabo
10:23	0:40	Incómoda y levantamiento del rabo
10:30		Vaca echada, rabo estirado (suelo)
10:37	1:36	Rabo estirado (suelo)
10:44		Inicia etapa de expulsión
10:45	1:33	Levantamiento del rabo
10:47	2:00	Levantamiento del rabo
10:50	1:00	Vaca echada, rabo estirado (suelo)
10:53		Vaca parió

En la Tabla 6.2 se muestran los tiempos de contracciones en una vaca, se observa que hay bastantes contracciones antes del parto y además el tiempo entre contracciones disminuye conforme se acerca la hora del parto. Aunque no se representa en la tabla, cuando la vaca se echa durante labor de parto las contracciones son constantes y fuertes, esto es porque la vaca hace esfuerzo en expulsar la cría. Además, durante el periodo de tiempo en el cual la vaca se encuentra echada mantiene el rabo “estirado”, tal como se muestra en la Figura 5.10. Esto es medible y no ocurre en una vaca que no está próxima a parir (vaca estable).

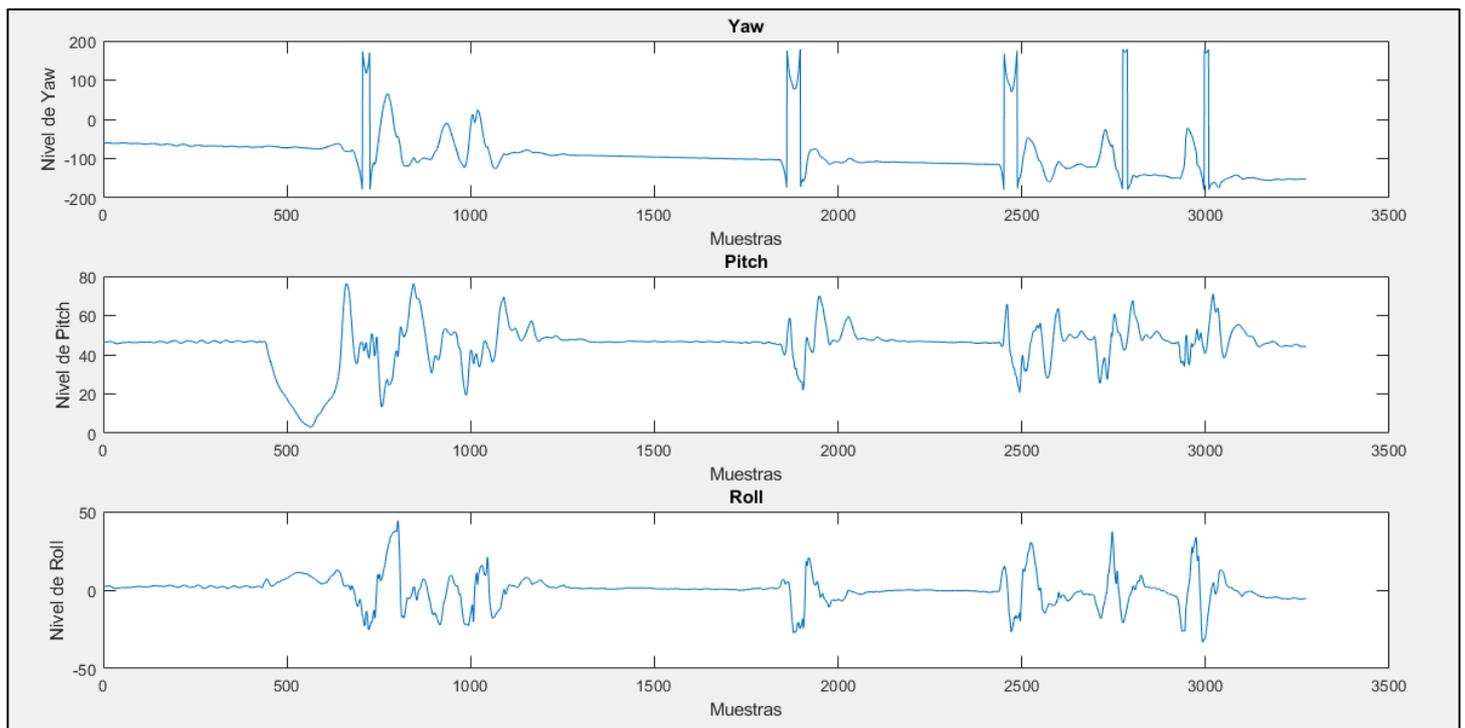


Figura 6.2. Medición experimental de los ángulos de movimiento en una vaca parada.

Fuente: Elaboración propia.

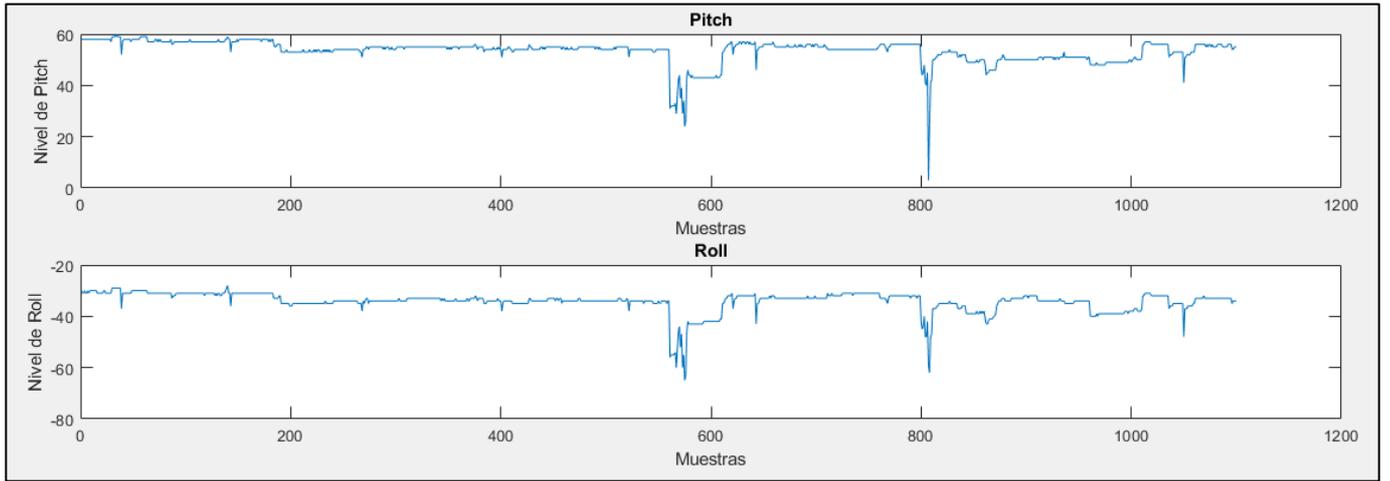


Figura 6.3. Vaca echada sobre su costado izquierdo. Fuente: Elaboración propia.

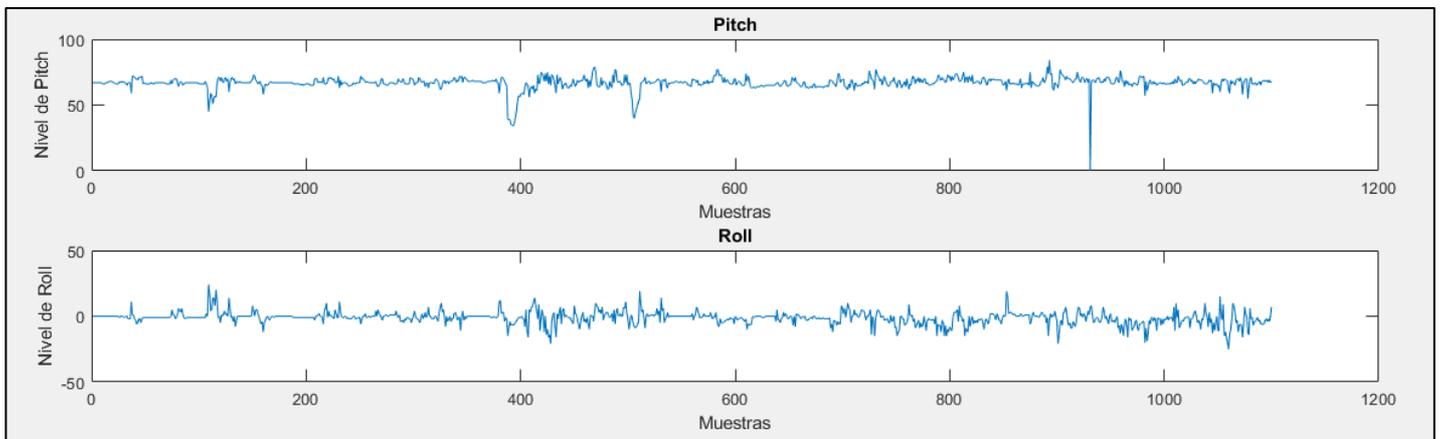


Figura 6.4. Vaca parada. Fuente: Elaboración propia.

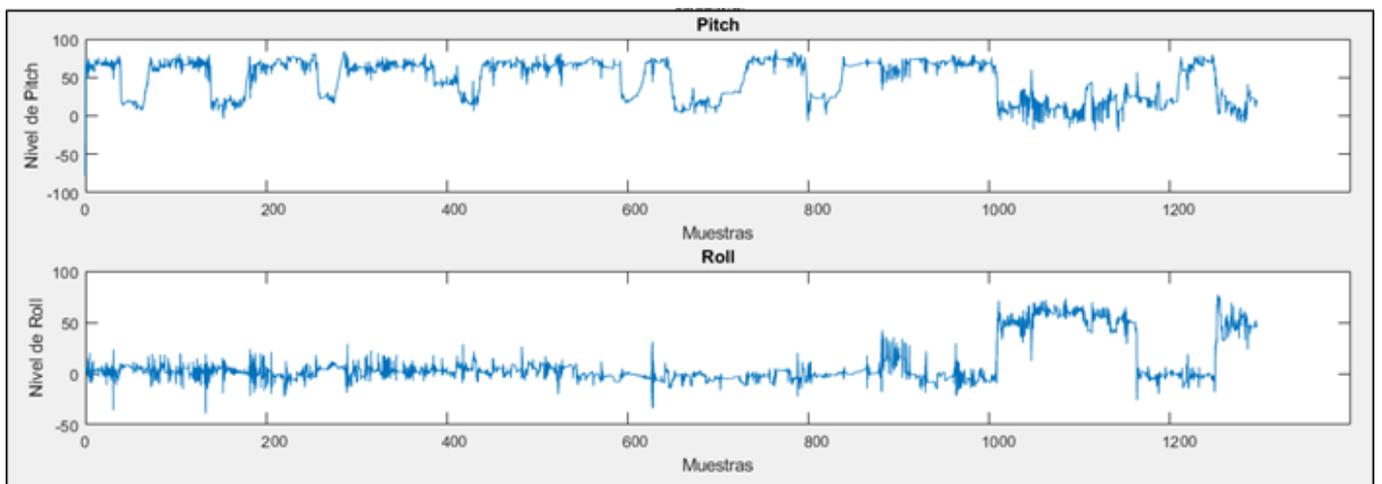


Figura 6.5. Vaca durante parto. Fuente: Elaboración propia.

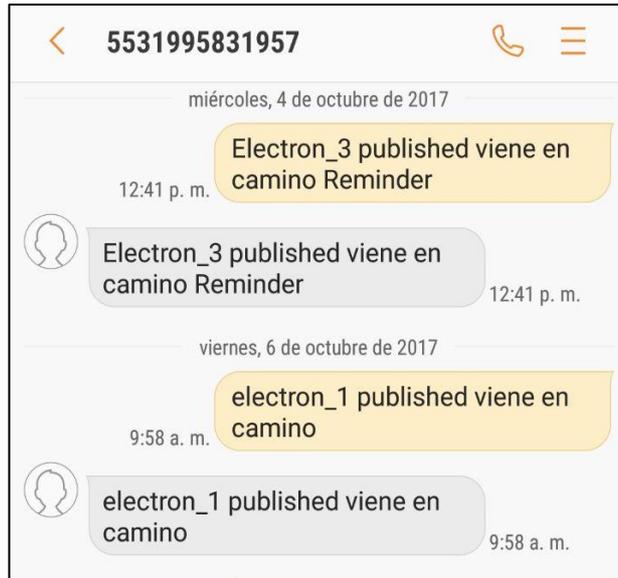


Figura 6.6. Mensajes de texto enviados automáticamente. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran partes del dispositivo implementado. Se puede observar el case que se utilizó, el cual es plástico, resistente a caídas, humedad, polvo, etc. Además, se utilizó velcro para sujetar y evitar la caída del dispositivo.



Figura 6.7. Prototipo implementado, vista superior. Fuente: Elaboración propia.

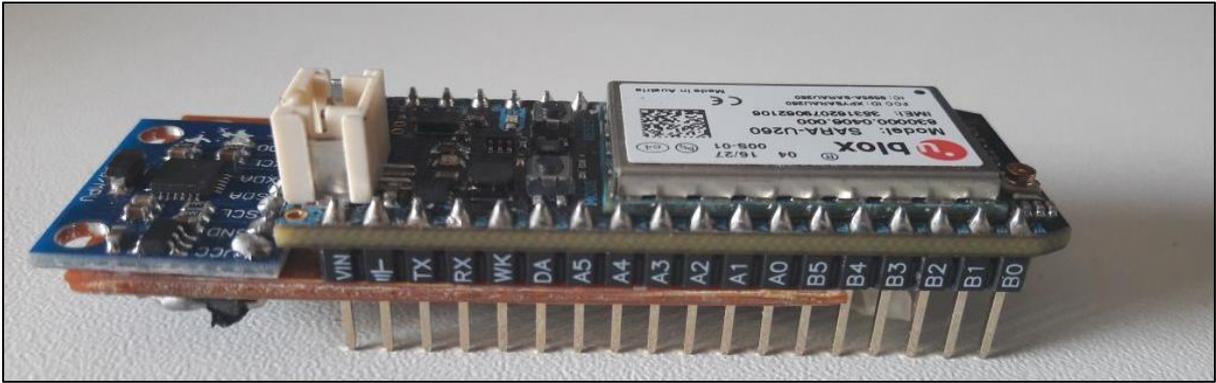


Figura 6.8. Electron vista lateral. Fuente: Elaboración propia.

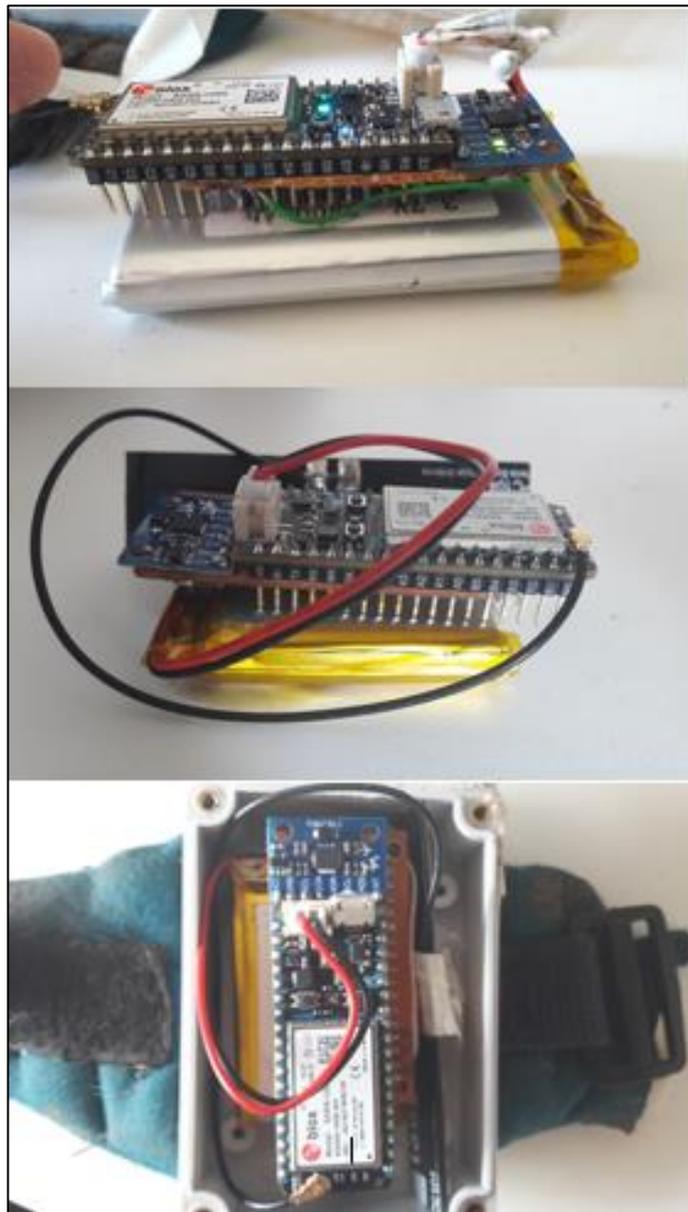


Figura 6.9. Sistema completo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.10. Vaca echada con dispositivo colocado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.11. Vaca nelore con dispositivo colocado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.12. Vaca holstein con dispositivo colocado. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra un resumen de los partos en los cuales se logró dar la alarma. Es importante mencionar que el dispositivo fue colocado en 15 vacas, sin embargo, no fue posible dar la alarma en todos los casos debido a ciertos inconvenientes: en el inicio del proyecto se ajustaron valores de tiempos y promedios (5 vacas de prueba), el dispositivo se desprendió del rabo de la vaca en 1 ocasión, el dispositivo debe ser retirado del animal periódicamente para recargarlo y una vaca puede permanecer pronta por varios días, incluso después de la fecha de parto (debido al tiempo de espera no fue posible dejar el dispositivo colocado durante el parto en tres ocasiones).

Tabla 6.3. Resumen de partos alertados por el dispositivo.

Vaca	Hora de alarma	Hora de nacimiento	Fecha
Holstein 4300	12:40 pm	12:50 pm	20/08/17
Holstein 5017	8:27 am	9:02 am	17/10/17
Holstein 3821	3:44 pm	4:30 pm	17/08/17
Parda 4041	8:26 am	8:45 am	28/10/17
Nelore 39	9:58 am	10:34 am	6/10/17
Nelore 3106	9:12 am	9:35 am	30/09/17

6.2 Análisis de resultados

Como parte de la verificación del sistema y los objetivos planteados en el proyecto se analizan los resultados obtenidos, presentados en la subsección anterior.

En la Tabla 6.1 se muestran las variables identificadas, producto de la investigación en el proceso del parto bovino.

La Figura 6.1 muestra ángulos del sensor de una vaca en condición estable. Los aspectos más importantes son el valor de row y pitch (alabeo y cabeceo). Un valor positivo o negativo de row (>15 y <-15) durante un tiempo de 3 o más minutos y si el valor de pitch permanece alto (> 40) indica que la vaca se encuentra acostada sobre su costado derecho o sobre su costado izquierdo, respectivamente. Como se muestra en la Figura 6.1, cuando se presenta que el valor de row es bajo ($10<$) o hay cruces constantes por cero y el valor de pitch permanece alto (>40) indica que la vaca está parada y tranquila. Lo anterior se ve como un método sencillo y preciso para determinar la posición de la vaca en tiempo real.

En la Figura 6.2 se muestra el comportamiento de una vaca parada, al igual que en la Figura 6.4 hay múltiples cruces por cero del nivel de row. Lo más destacado de la Figura 6.2 es que aproximadamente en la muestra 500 se aprecia un movimiento característico de una vaca orinando o defecando. El valor de yaw permanece constante, el valor de pitch disminuye (<40) y es mantenido por varios segundos y a la vez, el valor de row se mantiene bajo. Este tipo de movimiento repetidas veces indica que la vaca está próxima a parir, es un reflejo de contracciones, tal como se muestra en la Tabla 6.2.

En la Figura 6.5 se observan los movimientos del rabo de la vaca durante el proceso del parto. Se pueden observar múltiples elevaciones de la cola de la vaca y además se observa la vaca echada con el rabo estirado. El nivel promedio de alarma va creciendo poco a poco conforme se detectan mayor número de contracciones o movimientos atípicos, así hasta dar la alarma al encargado vía SMS.

Una vez que se detecta alta actividad en el movimiento del animal, se envía un correo a la persona encargada. Si el nivel de alerta alcanza el valor “viene en camino” se envía un mensaje de texto a la persona encargada. Estos mensajes de alerta se realizan a través de webhooks e IFTTT, utilizando de esta manera el celular como servidor.

En la Figura 6.6 se observa donde se envía automáticamente un mensaje de texto a la persona encargada a través del celular.

La Tabla 6.3 resume los partos en los que se produjo la alerta vía SMS a través del dispositivo. Se observa que en todos los casos se logra dar la alerta de forma anticipada. La vaca holstein 3821 presentó problemas al parir, varios minutos después se logró avisar al personal encargado y oportunamente se extrajo la cría, una ternera.

Capítulo 7: Conclusiones

7.1 Conclusiones

- Mediante el desarrollo del proyecto se lograron identificar los factores determinantes que dan inicio al parto bovino.
- Con la interpretación de los ángulos de cabeceo y alabeo se logró detectar a través del dispositivo movimientos típicos de parto animal.
- El sensor y microcontrolador seleccionado para el dispositivo de alarma de parto bovino es capaz de satisfacer las necesidades del proyecto.
- Una vez que se detectó que la vaca se encuentra en labores de parto se logró dar la alarma al encargado.
- Se implementó un dispositivo de alarma de parto bovino para la finca Jaicar.
- El dispositivo electrónico previene la muerte de terneros por asfixia, contribuyendo al bienestar animal en los momentos más difíciles, tanto para la madre como la cría durante el parto bovino.
- Debido a que el dispositivo permite dar seguimiento a los movimientos básicos en una vaca, este se puede utilizar para realizar estudios de comportamiento animal.

7.2 Recomendaciones

Luego del trabajo realizado se citan a continuación algunas recomendaciones que son importantes considerar para futuras mejoras del dispositivo.

- Se puede mejorar la correa con que el dispositivo se une al rabo de la vaca. Una correa con mayor capacidad antideslizante es necesaria como futura mejora.
- Para evitar el efecto de la corrosión en los componentes se recomienda un empaque de silicón para evitar el ingreso de humedad.
- Un botón de inicio es necesario para eliminar movimiento erróneo, y así, falsas alarmas. Sin embargo, para fines del presente proyecto no es estrictamente necesario, ya que esos movimientos son filtrados.
- Un nuevo diseño del encapsulado para esta aplicación, alarma de parto, le daría una mejor distribución del peso y espacio del dispositivo.
- Agregar una etapa de potencia, que permita controlar la energía entregada por la batería. Esto implicaría ya sea poner en modo hibernación el dispositivo por un tiempo moderado (que no afecte las mediciones) o bien, aplicar control (PID por ejemplo) a un transistor para manejo eficiente de la energía en la batería. Esto usualmente incrementa hasta en dos o tres veces el rendimiento de una carga de la batería.

Capítulo 8: Bibliografía

- [1]. Matlab. (2015). New License for MATLAB Student R2015b. MathWorks Store
- [2]. "Ejes del avión". In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Accesado 6-6-2017.
- [3]. Rivera Gaona, Miguel German. "PARTO PUERPERIO". Reproduccionbovina-mgrg.blogspot.com. N.p., 2017. Web. 6 June 2017.
- [4]. Martin G. Maquivar Clinical Assistant Professor of Washington State University.
- [5]. Salesganasal.com. (2011). Etapas y Procesos del Parto Natural en Bovinos. Web. 3 nov. 2017.
- [6]. Sancan, G. (2017). Parto en vaca. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=Ou_mykILxnk [Accessed 14 Sep. 2017].
- [7]. Sparkfun, abril 2016 Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>
- [8]. J.Osio, L.Antonini, "Descripción General de un Microcontrolador (Módulos de Comunicación)", Universidad Nacional de la Plata, 2011.
- [9]. S. Dhameja, "Electric vehicle battery systems". Boston: 2002
- [10]. Industries, A. (2011). Lithium Ion Battery - 3.7v 2000mAh ID: Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. Adafruit.com. Available at: <https://www.adafruit.com/product/2011> [14 Oct. 2017].
- [11]. Docs.particle.io. (2015). Particle. [https://docs.particle.io/datasheets/electron-\(cellular\)/electron-datasheet/](https://docs.particle.io/datasheets/electron-(cellular)/electron-datasheet/) [15 Aug. 2017].

[12]. Pedley, M. (2013). Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer. [ebook] Available at: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN3461.pdf> [Accessed 21 Aug. 2017].

[13]. Valenciano, J. and Frasinelli, C. (2014). Cría y recría de bovinos. INTA San Luis. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/177-TextoCriaRecria.pdf.

[14]. Ruata, R., Taverna, M. and Galarza, R. (2015). Alarmas de partos en vacas. Un desarrollo nacional. Argentina: INTA. Available at: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_alarma-de-partos_en_vacas.pdf [Accessed 24 Jul. 2017].

[15]. Redondo, P. and Gonzalo, R. (2001). El parto en la vaca. Lan.inea.org. Available at: http://lan.inea.org:8010/web/zootecnia/Zootecnia/Parto_vaca.htm [Accessed 5 Aug. 2017].

[16]. Es.wikipedia.org. (2012). Bos primigenius taurus. Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Bos_primigenius_taurus [Accessed 23 Sep. 2017].

[17]. Makerlab-electronics.com. (2017). Accelerometer and Gyro Breakout MPU6050 Philippines. Available at: <https://www.makerlab-electronics.com/product/triple-axis-accelerometer-gyro-breakout-mpu6050/> [Accessed 12 Aug. 2017].

[18]. Patagonia Tecnology. (2011). Acelerometro – Giroscopio MPU6050 [.online] Available at: <http://saber.patagoniatec.com/acelerometro-giroscopio-mpu-6050-giroscopio-giro-gyro-mpu-rover-sensor-acelerometro-smart-car-ptec/> [Accessed 13 Nov. 2017].

[19]. EcuRed, «Microcontrolador,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Microcontrolador>. [Último acceso: 20 Marzo 2017].

[20]. EcuRed, «SMS,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/GSM>
. [Último acceso: 20 diciembre 2017].

[21]. Evelio (2002). Tecnologías de Comunicación Inalámbrica. [online] Available
at: <http://www.eveliux.com/mx/Tecnologias-de-Comunicacion-Inalambrica.html>
[Accessed 16 Jan. 2018].

[22]. Prieto Blázquez, J. (2016). Introducción a los sistemas de comunicación
inalámbricos. Barcelona. Available at:
[https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_e
n_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Mo
dulo_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf) [Accessed 5 Feb. 2018].