



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA

**TEMA:**

**“DISPOSITIVO PARA LA PREDICCIÓN DE PARTOS EN  
BOVINOS”**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:** Desarrollo Agropecuario y forestal  
sostenible.

**AUTOR:** Sisa Lissbeth Panamá Mármol

**DIRECTOR:** MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

**ASESOR:** PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi

Ibarra-Ecuador

**2025**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004732127		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Panamá Mármol Sisa Lissbeth		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Jacinto Collahuazo 2 etapa		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:slpanamam@utn.edu.ec">slpanamam@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N/A	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0989926847

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“DISPOSITIVO PARA LA PREDICCIÓN DE PARTOS EN BOVINOS”
<b>AUTOR:</b>	Sisa Lissbeth Panamá Mármol
<b>FECHA:</b>	17/02/2025
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR:</b>	MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría
<b>ASESOR:</b>	PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi



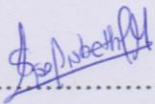
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

## **CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autoridades de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de febrero del 2025

### **EI AUTOR**

Firma: ..... 

Nombre: Sisa Lissbeth Panamá Mármol



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 17 de febrero del 2025

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría  
C.C.: 1002641288





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación "DISPOSITIVO PARA LA PREDICCIÓN DE PARTOS EN BOVINOS" elaborado por SISA LISSBETH PANAMÁ MÁRMOL, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f)  .....

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

C.C.: 1002641288



(f)  .....


PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi

C.C.: 1002515821

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, quien me ha brindado fuerza y fortaleza, llenándome de sabiduría, fe y perseverancia para superar en cada paso desafío durante este camino.

A mi querido abuelito Felipe , cuya memoria sigue viva en cada paso que doy. Este trabajo está inspirado en ti, en la esperanza de haber podido ayudarte de alguna manera. Siempre estaré agradecida por tu cariño y tus enseñanzas, aunque no estes físicamente, tu legado sigue siendo mi impulso para seguir adelante; este logro también es tuyo .

A mis fieles acompañantes de cuatro patas : Kesha, Kiara, Kenna y Kyo, quienes han sido mi fuente constante de motivación y consuelo con su amor incondicional, han sido mi soporte emocional en los momentos difíciles.

A mis queridos padres, Alberto Panamá, Marina Mármol, cuya historia de esfuerzo, trabajo arduo y sacrificio ha sido mi mayor inspiración para lograr este sueño. Cada sacrificio que han hecho, cada lección que me han impartido me ha dado la fuerza y motivación necesarias para llegar hasta aquí. Este logro es un reflejo de su amor incondicional, apoyo constante y de todo lo que me han enseñado a lo largo de los años.

A mi querida hermana Jessica, quien ha sido un gran apoyo, sus palabras de aliento han sido motivación y apoyo para levantarme una y otra vez. Tú presencia desde la infancia ha sido fundamental en cada paso que he dado.

A mi querido hermano Isaac, que has estado apoyándome, compartiendo risas, momentos difíciles, sin tu apoyo y complicidad, el camino no habría sido el mismo.

Con todo mi corazón les dedico este triunfo.

*Sisa Lissbeth Panamá Mármol*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi tutor, MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo. Su conocimiento y experiencia han sido fundamental para la culminación de este trabajo.

A mi asesor PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi, por sus consejos y constante disposición para guiarme en cada una de las etapas de este proyecto.

A todos mis amigos que conocí durante este largo camino, con quienes compartí grandes momentos y experiencias universitarias. Gracias por su apoyo incondicional y su energía positiva, este logro es parte de nuestra amistad y la amistad que compartimos.

A mi gran amigo Marco S. siempre aconsejándome en cada etapa de este proceso, tu apoyo incondicional en los momentos difíciles y siendo mi confidente.

A mi amigo Arley Ch, con quien compartí clases hasta el final de esta etapa, por tu apoyo y esa constante competencia sana que nos impulsó a aprender mutuamente y superarnos. Tu disposición para compartir conocimientos y ayudarme hasta el final.

A mi amigo Steven F. siempre motivándome, tu amistad y confianza ha sido clave durante este proceso.

A mi abuelita Rosa F. por siempre preocuparse por mí, y brindarme su cariño, los momentos compartidos han sido invaluable para seguir adelante en cada paso.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se describe el desarrollo de un dispositivo para predecir el parto en bovinos. Se realiza una investigación y análisis de los factores principales que determinan el inicio de trabajo de parto bovino y el comportamiento durante la etapa de Transición: Preparto, Parto y Postparto. Posterior a ello, se establece las variables características que se considera en el desarrollo del algoritmo de detección y definir la ubicación corporal idónea para la instalación del dispositivo, considerando que no sea invasivo. El dispositivo se diseña en base a los requerimientos dispuestos en la investigación, tomando en cuenta que las pruebas serán ejecutadas en un ambiente de pastoreo libre; la implementación de este está basado en un sensor que toma datos brutos y posteriormente con la integración de un microcontrolador monitoriza y analiza los movimientos de alabeo y cabeceo de la cola de la vaca, los cuales se intensifican en la etapa de preparto; captura los datos obtenidos y almacena en una memoria externa para su posterior análisis. La detección de movimientos inusuales en los diferentes parámetros elegidos activa una alerta SMS para que el ganadero pueda intervenir de forma inmediata. Se realizan dos tipos de pruebas, en vacas no preñadas y vacas en etapa de preparto para analizar los cambios de comportamiento en ambos tipos de sujetos de prueba, obteniendo así valores de alabeo mayores en vacas normales que en vacas preñadas; sin embargo, en movimientos de cabeceo se presenta valores elevados con alta frecuencia en la etapa de preparto, refiriéndose a las contracciones uterinas; en vacas normales los movimientos de cabeceo bruscos se presentan cuando presentan molestias por factores externos o cuando quieren defecar, aunque el valor es menor a comparación de las vacas preñadas durante el preparto y parto. Este enfoque permite a los pequeños y medianos productores gestionar el parto de sus vacas de forma eficiente, reduciendo el riesgo de pérdidas de la cría, la vaca o ambos.

**Palabras Clave:** Preparto, Parto, Postparto, Alabeo, Cabeceo, pastoreo libre.



## **ABSTRACT**

This paper describes the development of a device to predict calving in cattle. An investigation and analysis of the main factors that determine the onset of bovine labor and the behavior during the Transition stage: Prepartum, Calving and Post-calving is carried out. After that, the characteristic variables that are considered in the development of the detection algorithm are established and the ideal body location for the installation of the device is defined, considering that it should be non-invasive. The device is designed based on the requirements of the research, taking into account that the tests will be carried out in a free grazing environment; its implementation is based on a sensor that takes raw data and then with the integration of a microcontroller monitors and analyzes the cow's tail pitch and roll movements, which intensify during the prepartum stage; it captures the data obtained and stores it in an external memory for later analysis. The detection of unusual movements in the different chosen parameters activates an SMS alert so that the farmer can intervene immediately. Two types of tests are performed, on non-pregnant cows and cows in the prepartum stage to analyze behavioral changes in both types of test subjects, thus obtaining higher values of pitching in normal cows than in pregnant cows; However, in pitching movements, high values are presented with high frequency in the prepartum stage, referring to uterine contractions; in normal cows, abrupt pitching movements are presented when they present discomfort due to external factors or when they want to defecate, although the value is lower compared to pregnant cows during prepartum and calving. This approach allows small and medium producers to manage the calving of their cows more efficiently, reducing the risk of loss of the calf, the cow or both.

**Key words:** Prepartum, Calving, After calving, Haltering, Pitching, free grazing.

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos.....	3
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Alcance.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Marco teórico .....</b>	<b>6</b>

2.2.1	Aspectos anatómicos del ganado vacuno .....	6
2.2.2	Caracterización del crecimiento de bovinos.....	11
2.2.3	Etapas y procesos del parto natural en bovinos.....	13
2.2.4	Caracterización de sistema de pastoreo libre.....	18
2.2.5	Tecnología Emergente de Predicción de Partos.....	20
2.2.6	Protocolo de comunicación .....	23
<b>2.2</b>	<b>Antecedentes .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO III: MARCOMETODOLOGICO.....</b>		<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Enfoque y modelos de investigación .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Diseño de la Investigación.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Requerimientos del usuario .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Estructura funcional del dispositivo .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3</b>	<b>Evaluación de componentes.....</b>	<b>47</b>
4.3.1	Alternativas de Tecnologías de Monitoreo .....	47
4.3.2.	Alternativas de tecnologías de Comunicación.....	48
4.3.3.	Evaluación de Tecnologías de comunicación.....	51
4.3.4.	Evaluación de tecnologías de almacenamiento de datos.....	51
4.3.5.	Evaluación de tecnologías de notificación en tiempo real .....	52

4.3.6. Evaluación de tecnologías de alimentación del sistema.....	53
<b>4.4 Alternativas de soluciones .....</b>	<b>54</b>
4.4.1 Variantes .....	55
4.4.2 Elección de opciones .....	56
<b>4.5 Evaluación de cada criterio .....</b>	<b>56</b>
4.5.1 Evaluación de alternativas en base a los criterios.....	57
4.5.2 Elección de la mejor solución.....	62
4.5.3 Justificación de la Solución .....	62
<b>4.6 Diseño del sistema .....</b>	<b>62</b>
4.6.1 Etapas del diseño .....	63
4.6.2 Diseño del circuito y conexiones.....	64
<b>4.7 Diseño de la estructura.....</b>	<b>69</b>
4.7.1 Pieza 1 .....	69
4.7.2 Pieza 2 .....	70
4.7.3 Pieza 3 .....	71
4.7.4 Pieza 4 .....	71
4.7.5 Pieza 5 .....	72
4.7.6 Pieza 6 .....	72
4.7.7 Pieza 7 .....	73
4.7.8 Pieza 8 .....	73

4.7.9	Pieza 9 .....	74
4.7.10	Pieza 10 .....	74
4.7.11	Ensamblaje del Diseño CAD.....	75
<b>4.8</b>	<b>Pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>75</b>
4.8.1	Parámetros de impresión 3D.....	76
4.8.2	Implementación del circuito .....	76
4.8.3	Resultados de las Pruebas.....	78
4.8.4	Análisis de resultados .....	80
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>92</b>
<b>REFERENCIAS: .....</b>		<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>101</b>	

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1</b> Ciclo de vida de la vaca. ....	2
<b>Fig. 2</b> Esquema del Aparato Genital Femenino y de la Ubre[14]. ....	6
<b>Fig. 3</b> Ciclo Estral [14]. ....	9
<b>Fig. 4</b> Efecto de los cambios fisiológicos, metabólicos, inmunes y conductuales durante el período de transición en la vaca lechera [7]. ....	12
<b>Fig. 5</b> Etapas comprendidas en un ciclo productivo de una vaca lechera [20]... ..	15
<b>Fig. 6</b> Parto Bovino [20]. ....	15
<b>Fig. 7</b> Sistema de Pastoreo libre[20]. ....	19
<b>Fig. 8</b> Orejera electrónica [31]. ....	21
<b>Fig. 9</b> Microchip inyectable. ....	22
<b>Fig. 10</b> Bolo intrarruminal[31]. ....	22
<b>Fig. 11</b> Comunicación Inalámbrica[31]. ....	24
<b>Fig. 12</b> Esquema de funcionamiento de un wearable[33]. ....	25
<b>Fig. 13</b> Estructura del servicio SMS[30]. ....	27
<b>Fig. 14</b> Servicios básicos SM MO y SM MT [30], [33]. ....	28
<b>Fig. 15</b> Formas de uso del modelo de tiempo real de una aplicación[37]. ....	30
<b>Fig. 16</b> Desarrollo basado en componentes[36]. ....	30
<b>Fig. 17</b> Estructura funcional del dispositivo. ....	44
<b>Fig. 18</b> Subfunciones de la estructura funcional – Nivel 2. ....	45
<b>Fig. 19</b> Diagrama de soluciones ....	55



<b>Fig. 20</b> Diseño del Sistema.....	63
<b>Fig. 21</b> Etapas del diseño del Dispositivo .....	63
<b>Fig. 22</b> Baterías recargables 18650 .....	66
<b>Fig. 23</b> Esquema del circuito en Easy EDA. ....	67
<b>Fig. 24</b> Diagrama del circuito electrónico en el software KiCad. ....	67
Fig. 25 Diagrama de flujo del programa.....	68
Fig. 26 Diagrama de flujo de transmisión de datos. ....	69
<b>Fig. 27</b> Pieza 1.....	70
<b>Fig. 28</b> Base del dispositivo. ....	70
<b>Fig. 29</b> Caja de componentes. ....	71
<b>Fig. 30</b> Tapa de las baterías. ....	71
<b>Fig. 31</b> Pieza 4.....	72
<b>Fig. 32</b> Pieza 6.....	72
<b>Fig. 33</b> Tapa de la microSDCard y chip 2G. ....	73
<b>Fig. 34</b> Pieza 8.....	73
<b>Fig. 35</b> Pieza 9.....	74
<b>Fig. 36</b> Pieza 10.....	74
<b>Fig. 37</b> Ensamblaje de la estructura de la carcasa. ....	75
Fig. 38 Carcasa Piloto.....	75
<b>Fig. 39</b> Carcasa piloto colocada en la cola de la vaca .....	76
<b>Fig. 40</b> Vulva distendida-Inicio de etapa Pre-parto .....	77

<b>Fig. 41</b> Inicio de contracciones.....	77
<b>Fig. 42</b> Colocación del dispositivo .....	78
<b>Fig. 43</b> Vaca en etapa de parto con el dispositivo colocado. ....	79
<b>Fig. 44</b> Mensajería de Alarma del dispositivo.....	80
<b>Fig. 45</b> Medición experimental de vacas en pastoreo libre .....	82
<b>Fig. 46</b> Medición experimental de los ángulos de movimiento en una vaca con síntomas de parto. ....	83
<b>Fig. 47</b> Comportamiento de las tres fases: Parto, Parto, Postparto. ....	84
<b>Fig. 48</b> Comportamiento de parto- Sujeto III.....	84
<b>Fig. 49</b> Comportamiento Parto en sujeto de prueba 2. ....	85
<b>Fig. 50</b> Comparación de Vaca Normal y en Parto. ....	87
<b>Fig. 51</b> Comparación de parto en vaca normal y parto III .....	88
<b>Fig. 52</b> Comparación de partos en Alabeo. ....	89
<b>Fig. 53</b> Comparación de partos en Cabeceo. ....	89
<b>Fig. 54</b> Vaca en fase de expulsión de la placenta con su cría. ....	90
<b>Fig. 55</b> Vaca con su cría - Etapa de Postparto .....	90

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características de las fases I y II de un parto normal en la vaca. ....	17
<b>Tabla 2:</b> Requerimientos del usuario .....	42
<b>Tabla 3:</b> Requerimientos técnicos .....	43
<b>Tabla 4:</b> Requerimientos del Dispositivo.....	43
<b>Tabla 5:</b> Nivel 1- Estructura funcional del Dispositivo .....	44
<b>Tabla 6:</b> Nivel 2- Subfunciones de la estructura funcional.....	46
<b>Tabla 7:</b> MPU6050.....	47
<b>Tabla 8:</b> MPU9250.....	48
<b>Tabla 9:</b> Arduino UNO .....	48
<b>Tabla 10:</b> Arduino NANO.....	49
<b>Tabla 11:</b> Raspberry .....	49
<b>Tabla 12:</b> ESP32 .....	49
<b>Tabla 13:</b> ESP8266 .....	50
<b>Tabla 14:</b> STM32 .....	50
<b>Tabla 15:</b> LORA.....	50
<b>Tabla 16:</b> Plataforma Arduino.....	51
<b>Tabla 17:</b> Módulo lector SD .....	51
<b>Tabla 18:</b> Módulo lector Micro SD.....	52
<b>Tabla 19:</b> Módulo GSM SIM 8001.....	52
<b>Tabla 20:</b> Módulo GSM SIM900 .....	53

<b>Tabla 21:</b> Baterías Recargables de Litio .....	53
<b>Tabla 22:</b> Alternativas de soluciones. ....	54
<b>Tabla 23:</b> Evaluación de cada criterio.....	56
<b>Tabla 24:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor dimensiones. ....	57
<b>Tabla 25:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Peso.	58
<b>Tabla 26:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Precio. .....	59
<b>Tabla 27:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Alimentación. ....	59
<b>Tabla 28:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Almacenamiento.....	60
<b>Tabla 29:</b> Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Alarma. .....	61
<b>Tabla 30:</b> Determinación de la mejor solución .....	61
<b>Tabla 31:</b> Componentes usados en el sistema del dispositivo .....	64
<b>Tabla 32:</b> Cálculo de consumo de Amperaje .....	65
<b>Tabla 33:</b> Resumen de colocación del dispositivo en vacas sin parto .....	78
<b>Tabla 34:</b> Resumen de ensayos con vacas en partos.....	79
<b>Tabla 35:</b> Resumen de contracciones.....	86

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del problema

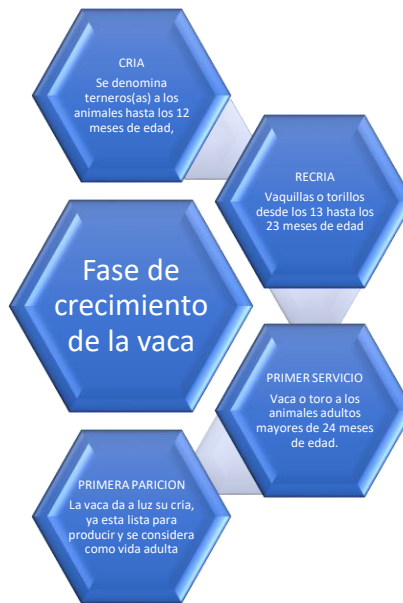
La ganadería en Ecuador constituye una importante fuente de empleo e ingresos económicos sostenibles del sector de la cría de animales caracterizado por sistemas productivos de tipo extensivo y de baja productividad que se concentran en pequeños y medianos productores [2].

Parte del desarrollo económico de la Zona 1 del país está representada por la actividad ganadera. El 87% de los ganaderos son pequeños, mientras que el 67% corresponde a la categoría comercial y el 20% de segmento marginal de granjas con 3 a 30 vacas. En la provincia de Imbabura los ganaderos se encuentran distribuidos principalmente en dos zonas agro-productivas: Alto Andina y zona de llanura marginal donde se encuentran ganaderos que se dedican a la producción de leche, pero también crían ganado para la producción de carne. Estos productores no tienen una relación directa con profesionales, menos del 10% de los productores pecuarios han recibido capacitación en mejoramiento y manejo de procesamiento pecuario [3].

Cabe mencionar que la producción dentro de la cadena de valor de la ganadería tiene un papel crucial en los procesos productivos de la provincia.

Bajo condiciones normales, la vaca tiene un período de gestación de 275 a 290 días, alrededor de 9 meses[4].

La cría de los bovinos presenta las siguientes etapas como se muestra en la **Fig. 1**



**Fig. 1** Ciclo de vida de la vaca.

Los exámenes ginecológicos en las vacas no son una práctica habitual para detectar la preñez o posibles problemas reproductivos, causando pérdida en la producción lechera y aumento de costos en tratamientos sanitarios; debido a que no aplican calendarios sanitarios adecuados, generando un impacto negativo en los ingresos económicos para el productor y su familia.

El desarrollo de la ganadería y la producción animal en pequeña escala se ha visto afectada por diversos factores: climáticos, económicos, sanitarios, manejo y práctica de crianza. En el contexto de manejo se destacan los traumatismos que ocurren en el parto en bovinos, partos durante la noche o momentos en los que el personal está ocupado con otras funciones, conllevando así a la pérdida de vacas adultas o sus crías, causando un efecto negativo en la economía de los pequeños productores ganaderos por pérdida del becerro y/o litros de leche.



Dado lo anterior, se pretende desarrollar un dispositivo para la detección del inicio de parto en los bovinos que permitirá al ganadero tomar las acciones necesarias para que el nacimiento del becerro sea exitoso.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 General**

Desarrollar un prototipo para la detección del inicio del trabajo de parto en los bovinos.

### **1.2.2 Específicos**

- Identificar los parámetros que determinan el indicio de un parto bovino.
- Diseñar un prototipo funcional que cumpla con los criterios determinados.
- Construir el dispositivo empleando técnicas de fabricación de acuerdo con el diseño previamente establecido.
- Validar el funcionamiento realizando pruebas.

## **1.3. Justificación**

La reproducción eficiente de bovinos es un aspecto crucial en la industria pecuaria, ya que influye directamente en la eficiencia económica de los pequeños productores. Uno de los momentos más críticos en el ciclo reproductivo de una vaca es el parto, ya que este evento conlleva riesgos tanto para la madre como para el ternero. En este contexto, la implementación de un dispositivo de predicción de partos en bovinos se presenta como una necesidad que requiere atención y desarrollo. La creación de este dispositivo ayudará en múltiples factores que convergen para mejorar la gestión y la salud de los bovinos, así como la eficiencia en la producción ganadera:

Reducción de pérdidas económicas: Los partos no supervisados y sin asistencia médica llevan a una alta tasa de mortalidad de terneros y vacas, lo que implica pérdidas económicas significativas para los ganaderos. La predicción de partos permitirá una intervención oportuna y un mejor cuidado de la vaca y su cría, disminuyendo las pérdidas financieras.

Mejora en la salud del ganado: La detección del inicio de trabajo de parto en bovinos puede reducir el sufrimiento animal y mejorar el bienestar del ganado, previniendo complicaciones y lesiones.

Optimización de recursos y mano de obra eficiente: Para evitar una vigilancia constante, los ganaderos pueden ocuparse de otras tareas, lo que conlleva a una mejora en la gestión ganadera.

Eficiencia reproductiva: Con la capacidad de prever los partos, los ganaderos pueden programar la reproducción de sus bovinos de manera más precisa, lo que tiene un impacto directo en la producción de terneros.

La implementación de un dispositivo de predicción de partos en bovinos es esencial para mejorar la rentabilidad, la salud del ganado, eficiencia productiva y la sostenibilidad de la industria ganadera, contribuyendo así en el bienestar animal y mejorando la situación económica de los pequeños productores y sus familias.

#### **1.4. Alcance**

Durante el desarrollo de este proyecto se llevará a cabo la identificación de las principales variables que determinan el indicio de un parto en bovinos. A continuación, se establecerán las restricciones del diseño en conjunto con las variables determinadas por el usuario final. Posteriormente, se seleccionarán e integrarán sensores y componentes electrónicos adecuados y disponibles en el mercado para capturar datos relevantes al

sistema central de procesamiento y monitoreo, el cual, se encargará de recopilar, analizar y presentar los datos de manera accesible. El dispositivo contará con una carcasa que protegerá los componentes internos frente a las condiciones climáticas y el comportamiento de los bovinos, utilizando software de diseño y tecnologías de manufactura.

Posteriormente se ensamblará y se verificará el funcionamiento en un sistema de pastoreo libre en el cuál operará el dispositivo.

## CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

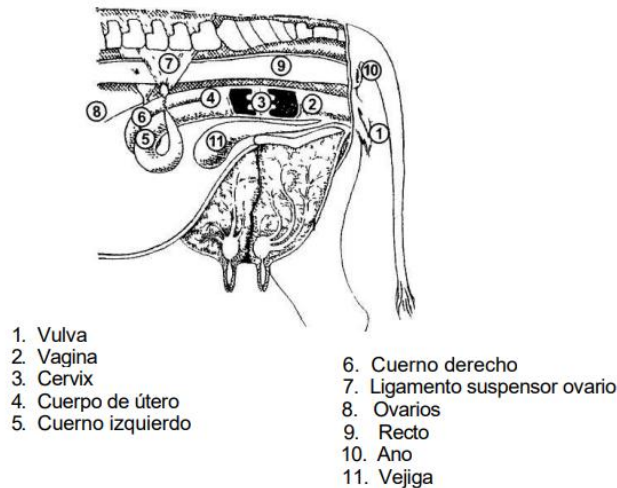
### 2.1 Marco teórico

#### 2.2.1 Aspectos anatómicos del ganado vacuno

##### 2.2.1.1 Anatomía Reproductiva y nivel hormonal

La anatomía reproductiva bovina presenta una estructura compleja, el óvulo o célula sexual femenina es el responsable de la producción, Además, sustenta el proceso de crecimiento y nutrición del feto en desarrollo, finalizando en la expulsión del feto completamente formado durante el proceso de parto [5].

Los principales órganos internos que componen el sistema reproductivo de la vaca incluyen los ovarios, las trompas de Falopio, el útero y el cuello uterino (cerviz), como se muestra en la **Fig. 2** [5], [6].



**Fig. 2** Esquema del Aparato Genital Femenino y de la Ubre [5].

Los ovarios bovinos son órganos pares, ovalados y ligeramente aplanados, localizados en la cavidad abdominal, próximos a la columna vertebral. En su interior, se encuentran los folículos ováricos, con un diámetro de aproximadamente 20 mm [6].

El folículo dominante, el de mayor tamaño, es el que experimenta ovulación durante el ciclo estral, cuando la vaca entra en celo [6].

A lo largo del ciclo estral, uno de los folículos ováricos experimenta un continuo desarrollo hasta llegar a la madurez, momento en el cual libera el óvulo en el proceso de ovulación, cada ovario alberga miles de folículos, que permanecen inactivos hasta el inicio de la pubertad [7].

Adicionalmente los ovarios secretan diversas hormonas que regulan el ciclo reproductivo de la vaca; la vagina actúa como el órgano receptor del semen, ya sea de manera artificial o por monta natural; la vulva constituye el órgano genital externo [5].

a. Oviductos o trompas de Falopio

Se trata de dos estructuras tubulares que se conectan desde los ovarios hasta el útero. Cada trompa de Falopio está compuesta por tres capas: una capa interna formada por células secretoras, una capa media de músculo liso y una capa externa de tejido conectivo [8].

En el transcurso de la ovulación, el óvulo maduro es liberado, su función principal es permitir el desplazamiento de los óvulos y espermatozoides en direcciones opuestas, estas estructuras participan en la maduración del óvulo y en la secreción de sustancias nutritivas esenciales para los espermatozoides como el embrión en desarrollo [5].

b. Útero o matriz de la vaca

En el transcurso del ciclo estral, el útero experimenta modificaciones en su estructura con el propósito de acondicionarse para recibir la posible llegada del embrión; el útero de la vaca también es responsable de la producción y secreción de hormonas importantes para la reproducción, como la progesterona y el estrógeno [8].

El útero es un órgano muscular hueco en forma de pera invertida ubicada en la cavidad abdominal cuyas funciones principales incluyen: el transporte del espermatozoide desde el lugar de eyaculación hasta el sitio de fecundación en el oviducto, la regulación de la función del cuerpo lúteo, el inicio de la implantación del embrión, mantenimiento de la gestación e inducción del proceso de parto; Allí se desarrolla el feto [9].

c. Cuello o cérvix

El cérvix es una estructura tubular de paredes gruesas y consistencia cartilaginosa, contiene 3 o 4 anillos en su interior. Su forma y tamaño varían según la cantidad de partos y la raza de la vaca [5].

Una de las principales funciones es aislar al útero de la vagina para prevenir infecciones e impedir el paso de agentes extraños durante el estado de gestación bovina, tiene una dimensión de 8 a 10 cm de largo y 2 a 5 cm de ancho [7].

d. Vagina de la vaca

Es el órgano copulatorio, se extiende por detrás del cuello uterino hasta la vulva, es suave y flácida, mide aproximadamente de 15 a 25 cm, cuya medida dependerá de si son vaquillas o vacas adultas y de la edad [9].

e. Vulva

La vulva constituye el orificio genital externo, donde se evidencian los signos del estro (celo), como la inflamación y la secreción de moco transparente [9].

Es el lugar donde se refleja la proximidad del parto; exteriormente, está conformada por dos pliegues: los labios vulvares mayores y menores. En el piso vulvar se localiza el clítoris, que es un vestigio del pene y cumple un rol en el canal del parto [7][9].



## 2.2.1.2 Fisiología reproductiva de la vaca

### a. Ciclo Estral

La reproducción bovina está regulada por un ciclo estral, el cual se encuentra influenciado por variaciones hormonales. Estas fluctuaciones hormonales son encargadas de inducir modificaciones morfológicas y funcionales durante el ciclo estral [4], [5].

La duración del ciclo estral es de 18 a 21 días y comprende el período entre un estro (celo) y otro como indica la **Fig. 3**. El "Ciclo Estral" está dividido en cuatro etapas que se denominan: proestro, estro (celo o alboroto), metaestro y diestro [15].



**Fig. 3** Ciclo Estral [4].

### a. Características del celo:

Antes del celo, la vaca exhibe varios síntomas, como nerviosismo, excitación y comportamiento agresivo frente a otras vacas. A partir del inicio del celo la vaca mostrará mugidos y permitirá ser montada por otros animales o intentará montar a otros animales [6].

### b. Pubertad

La pubertad es el periodo o la edad en que la hembra muestra signos de celo, que se asocian a ovulaciones, es decir, implica el desarrollo de uno miles de folículos del ovario [4].

Este periodo indica el inicio de la vida reproductiva de la hembra, generalmente aproximadamente entre los 7 y 11 meses de edad y un peso de 200 a 300 Kg [4].

### **2.2.1.3 Hormonas de la reproducción bovina**

Las principales hormonas secretadas por esas estructuras son la hormona liberadora de las gonadotropinas (GnRH), la hormona folículo estimulante (FSH), la hormona luteinizante (LH), el estradiol (E2), la progesterona (P4) y la prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) [6].

El útero constituye la principal fuente de la prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) en el ganado, la cual está vinculada con la regresión del cuerpo lúteo (CL) y con la recuperación uterina en el posparto [10][6].

### **2.2.1.4 Gestación**

El período comprendido entre la fertilización y el parto, o que es interrumpido por un aborto, se conoce como gestación. La duración promedio de este proceso es de 283 días [4].

### **2.2.1.5 Parto**

Es la etapa en la que el ternero, abandona el útero y se desplaza hacia el exterior, en el cual debe desarrollarse en un entorno limpio y tranquilo [4].

Idealmente, las vaquillas de primer parto deben hacerlo a los 24 meses de edad y las vacas, luego de 60 días de haber dejado de producir leche; esto asegura un ternero al año [4].

## **2.2.2 Caracterización del crecimiento de bovinos**

### **2.2.2.1 Comportamiento preparto**

El Periodo de Transición (PT) se refiere al intervalo que abarca entre las 3 semanas previas al parto y 3 semanas en el posparto, durante el cual la vaca gestante se adapta a las condiciones necesarias para la producción de leche [6][11].

Durante el preparto, se observa un aumento de peso y en la condición corporal de la vaca. La frecuencia respiratoria promedio es de 60 respiraciones por minuto (rpm), lo que indica un nivel de estrés medio-alto. La conducta predominante es la de permanecer de pie bajo la sombra [12].

La conducta alimentaria se mantiene dentro de los rangos considerados normales, con una duración promedio de 92 minutos. La producción lechera oscila entre 30 y 35 litros por día, lo cual es habitual en el establecimiento. El índice de temperatura y humedad se mantiene por encima de 72 [12].

La condición corporal de la vaca debe situarse en un nivel de 3,5 en la escala de 1 a 5, donde 1 indica una vaca demasiado delgada y 5 una vaca excesivamente obesa. Una vaca con sobrepeso (obesa) presenta una alta probabilidad de desarrollar enfermedades metabólicas y reproductivas durante el parto. Regularmente, estas vacas tienen dificultades para parir, y son intervenidas (distocias) [4].

### **2.2.2.2 Cambios fisiológicos**

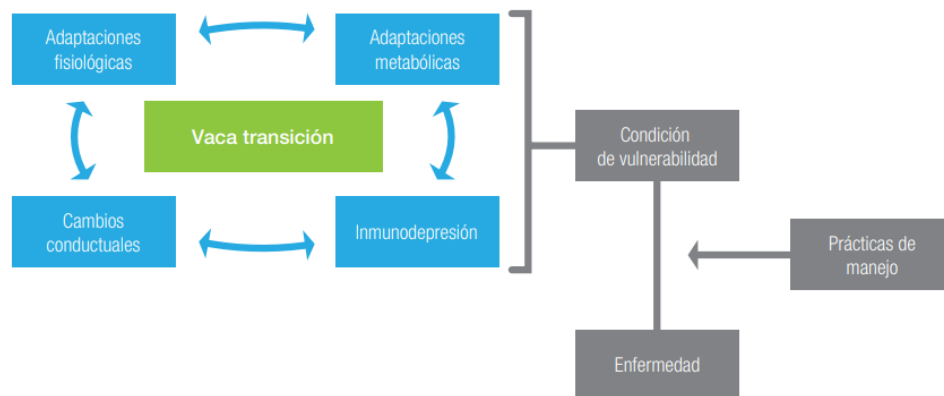
El Preparto representa la fase de mayor relevancia para la salud y bienestar de la vaca. Durante el Periodo de Transición PT mostrado en la **Fig. 4** indican cambios fisiológicos, metabólicos y hormonales asociados a una inmunodepresión propensos a desarrollar trastornos metabólicos e infecciosos [6], [11].

En esta fase, el sistema digestivo, especialmente el rumen, presenta modificaciones adaptativas que disminuyen su capacidad, por el volumen ocupado por el útero grávido, alterando la población de microorganismos presentes en el contenido ruminal [11].

Una semana antes del parto el consumo se reduce un 30%. El consumo voluntario de materia seca en vacas durante el PT que se asocia a factores anatómicos y hormonales [3].

### 2.2.2.3 Cambios hormonales y metabólicos

Como resultado de los cambios mencionados anteriormente, durante el período preparto se observa una disminución en el apetito, el consumo de alimentos y la capacidad de absorción de nutrientes [6][11].



**Fig. 4** Efecto de los cambios fisiológicos, metabólicos, inmunes y conductuales durante el período de transición en la vaca lechera [11].

### 2.2.2.4 Modificaciones ruminales

Los cambios en la dieta modifican la microflora ruminal que pasa de ser predominantemente amilolítica a celulítica, cambiando la producción de ácidos grasos, disminuyendo la proporción de propionato y butirato y aumentando la de acetato [11].

Esta condición provoca una reducción en el crecimiento y desarrollo de las papilas ruminales. El tiempo necesario para que las papilas logren su tamaño máximo posterior a un cambio en la dieta oscila entre 4 y 6 semanas [11].

#### **2.2.2.5 Inmunodepresión**

La depresión del sistema inmune se presenta como consecuencia de la reducción de las defensas, que causa durante la fase de preparto, alcanzando su punto máximo durante el posparto [11].

#### **2.2.2.6 Cambios conductuales**

Asociado al aumento en las contracciones sanguíneas, las vacas disminuyen el consumo de alimento días cercanos al parto. El bajo consumo de alimento y el descanso prolongado [11].

Alteración del comportamiento social en la manada, causando mayor competencia por recursos como alimento, áreas de descanso, estrés y agresividad [11].

### **2.2.3 Etapas y procesos del parto natural en bovinos**

El parto es un proceso natural que se define como el nacimiento del feto seguido de la expulsión de la placenta [13].

Dicho suceso inicia con la intranquilidad de las vacas; Por seguridad busca lugares apartados, donde se presenta contracciones que pueden durar durante varias horas, las primeras contracciones ejercen presión sobre el cuello uterino, estimulando su dilatación; una vez dilatado el cuello del útero y la vagina, comienza a salir hacia la vagina una sección de la bolsa amniótica, la cual se rompe cuando la dilatación es completa [4].

Posterior a ello, el ternero debe estar correctamente encajado en la pelvis y en posición adecuada para ser expulsado. La vaca ya presenta fuertes contracciones con

pujos y luego de una hora de la ruptura de la bolsa amniótica, el ternero debería estar expulsado [4].

Por ningún motivo, intervenir en el parto antes de la ruptura del saco amniótico, tampoco se debe romper, ya que esto detiene la dilatación del cuello del útero, impidiendo la normal salida del ternero y obligando a la tracción de éste [4].

### **2.2.3.1 Etapas del Parto**

- Dilatación del cérvix

Este proceso tiene una duración de 2 a 3 horas en vacas adultas y de 4 a 6 horas en vaconas o vaquillonas. La dilatación del cuello es causada por la acción de la hormona oxitocina, y por la presión de la “bolsa de agua” [13].

- Nacimiento del ternero

Luego, el ternero prosigue por el canal de parto facilitado por las contracciones uterinas. En esta etapa puede demorar de 2 a 10 horas [13].

- Expulsión de la placenta

Tras el parto del ternero, las contracciones uterinas siguen facilitando la ruptura de los cotiledones, provocando la separación de la placenta de las carúnculas uterinas, que son los puntos de conexión entre el tejido materno y fetal y que desempeñan un papel clave en la nutrición del feto [13].

La placenta debe ser expulsada entre 12 y 24 horas después del parto. La retención de placenta es más frecuente en casos de partos prematuros, difíciles o cuando existen infecciones [13].

### **2.2.3.2 Señales de Parto**

La **Fig. 5** muestra las etapas comprendidas en el ciclo reproductivo de la vaca.



**Fig. 5** Etapas comprendidas en un ciclo productivo de una vaca lechera [11].

### 2.2.3.3 Síntomas de Parto

En el vientre, especialmente en el flanco derecho, ha aumentado de tamaño [14].

La ubre está llena y los pezones rígidos [11][13].

La vulva esta enrojecida e inflamada con un líquido mucoso y sanguinolento [13].

La vaca esta inquieta [14].

En la vulva aparece una bolsa de agua [14].



**Fig. 6** Parto Bovino [11].

La fase I inicia de manera progresiva, la clave de esta fase es la regularización de las contracciones uterinas, que ocurren a intervalos de 15 a 20 minutos, con una duración de 15 a 20 segundos cada una [3][11].

El cuello uterino se dilata de forma gradual, alcanzando un diámetro de entre 5 y 10 cm aproximadamente en un lapso de 6 horas. El ternero, desde su posición inicial, es empujado hacia el interior de la pelvis, comenzando con la salida de las patas delanteras y luego del hocico [11].

En la fase II, la vaca interrumpe con frecuencia las contracciones abdominales para descansar. Debido a la mayor presión interna causada por los líquidos, se produce la expulsión y ruptura del amnio, lo que da lugar a la salida de las extremidades del ternero a través de la vulva [3] [11].

En casos de partos distócicos, un alto porcentaje de vacas se levanta antes de que esta fase finalice. Es ideal que la vaca sea trasladada a la maternidad antes de que comience la fase I, aproximadamente 12 horas antes del parto, es decir, cuando se observan signos como el levantamiento de la cola, el llenado de la ubre, los pezones rígidos o el relajamiento de los ligamentos pélvicos [11].

Cuando las vacas se encuentran en términos de la fase I, alrededor de 4 horas antes del parto, mostrando signos como secreción mucosa sanguinolenta y el inicio de contracciones abdominales, las vacas tienen mayor riesgo de presentar distocia debido a que el parto se retrasa, es importante que las vacas en preparto sean monitoreadas las 24 horas al día [11].

En la fase III abarca desde la expulsión del feto hasta la expulsión de la placenta, en ese lapso, la hembra empieza a lamer a las crías como se indica en la **Fig. 6**. En este contexto, el comportamiento de la cría nacido refleja el grado de dificultad del parto ya que después de un parto complicado, los terneros tardan demoran en levantarse y comenzar a mamar en comparación con aquellos que nacen de un parto normal [3][11].



**Tabla 1:** Características de las fases I y II de un parto normal en la vaca.

	<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>
<b>Descripción</b>	Desde el inicio de la dilatación del cuello uterino hasta la liberación del líquido amniótico	Inicia con la expulsión del líquido amniótico hasta el desprendimiento del feto
<b>Duración Aproximada</b>	Aproximadamente 4 horas	Durante 60-100 minutos
<b>Comportamientos normales</b>	Reducción del consumo de alimento y de la rumia  Intranquilidad, tensión  Aumento de la conducta exploratoria  Cambios frecuentes de postura  La vaca mira sus propios flancos, da patadas, escarba el suelo y levanta y arquea la cola	La vaca permanece acostada posición decúbito lateral o en postura de descanso
<b>Contracciones</b>	Uterinas  Abdominales: inicialmente irregulares; al final ocurre cada 15 minutos con una duración de 20 segundos cada una	Abdominales: regulares cada 3 minutos durante 30 minutos cada una

Nota [11].

#### **2.2.3.4 Problemas asociados con los partos en bovinos**

Los problemas al parto y postparto siguen siendo uno de los desafíos más frecuentes de la práctica diaria. Los factores que pueden desencadenar un parto distócico pueden ser tanto de la madre como del ternero [15].

#### **2.2.3.5 Partos Difíciles**

En [3] menciona que el incremento de frecuencia de ciertos comportamientos como cambiar de postura, dar patadas, rascarse contra la pared son indicadores de distocia. Una disminución significativa en el consumo de alimento es un indicador de

distocia y de posibles complicaciones postparto, como la retención de placenta, metritis o cetosis. Si hay dificultades puede suceder que:

Solamente aparezca la cabeza del ternero [14].

Solamente haya salido la cabeza y una pata [14].

Que salgan las patas anteriores y no la cabeza [14].

Presentación anormal del ternero [3], [13].

#### **2.2.4 Caracterización de sistema de pastoreo libre**

Un sistema de pastoreo consiste en diferentes alternativas de utilización de las pasturas por parte de los animales, permitiendo su acceso y aprovechamiento para maximizar la producción durante el mayor período de tiempo [16].

##### **2.2.4.1 Pastoreo extensivo**

Se refiere a un sistema de pastoreo en el que el animal permanece durante un período extendido en el mismo potrero, sin rotar a otras parcelas de pastura [16].

La alimentación a campo abierto se refiere principalmente al proceso de pastoreo. Es la forma más económica de nutrición. Las vacas son más selectivas con su alimento, en ese caso puede existir sobre pastoreo [16].

##### **2.2.4.2 Características del Pastoreo Extensivo**

Generalmente se ocupa gran extensión de tierra, requiere de baja inversión, la vaca selecciona su alimento, sin embargo, puede generar deterioro del potrero. En sistemas de producción extensiva, los animales se crían exclusivamente a base de pastos y henos. La comercialización en estos sistemas de pastoreo se lleva a cabo después de un período de 4 a 6 años [3][16].



**Fig. 7** Sistema de Pastoreo libre [11].

#### **2.2.4.3 Comportamiento Natural del Ganado**

La **Fig. 7** indica que el tiempo diario dedicado al pastoreo, descanso y desplazamiento es diferente en base a períodos de disponibilidad-calidad forrajera. En períodos de menor disponibilidad-calidad forrajera los animales muestran patrones de exploración más extensos [17].

#### **2.2.4.4 Sistemas de Monitoreo y Gestión en Pastoreo Libre**

El seguimiento individual del ganado se ha vuelto fundamental en el avance de la ganadería de precisión, ya que proporciona información rápida y precisa, mediante el uso de técnicas de instrumentación electrónica y tecnología de comunicación inalámbrica para recolectar datos fisiológicos y monitorizar rebaños de bovinos [18], [19].

El desarrollo de dispositivos con GPS ha sido utilizado para monitorear el movimiento del ganado [20].

#### **2.2.4.5 Tecnología GPS-GPRS**

La aplicación de esta tecnología en la monitorización de bovinos en sistemas extensivos permite obtener datos relevantes en tiempo real, ofreciendo información sobre desplazamientos, distancias recorridas, áreas pastoreadas, zonas más frecuentadas y patrones de comportamiento [21].

## **2.2.5 Tecnología Emergente de Predicción de Partos**

### **2.2.5.1 Sensores Biométricos y Fisiológicos**

El uso de la tecnología de las redes de sensores inalámbricos, técnicas de instrumentación electrónica y comunicación por radiofrecuencia, permite controlar y monitorizar varios ambientes y sistemas biológicos aumentando la precisión de datos adquiridos para monitorizar el comportamiento fisiológico de bovinos [19], [21].

### **2.2.5.2 Sensores inalámbricos**

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red formada por pequeños nodos computacionales equipados con sensores y dispositivos de transmisión telemétrica, debidamente integrados para el monitoreo y la recolección de datos [19].

Nodos sensores colocados en los animales, están constituidos por cuatro partes:

**Acondicionamiento de señales:** Las señales generadas por los transductores eléctricos se amplifican mediante amplificadores operacionales, y se procesan utilizando filtros activos y pasivo [19].

**Conversión analógico-digital:** Las señales analógicas previamente acondicionadas se transforman en datos digitales mediante el uso de un convertidor A/D de 12 bits [19].

**Transmisión de datos digitales:** Transmite y recibe datos a través de radiofrecuencia acoplado directamente al microcontrolador [19].

**Bus I2C:** Es un protocolo síncrono desarrollado por Philips, que permite el direccionamiento de dispositivos y utiliza un bus bidireccional de dos líneas [19].

En una red de sensores inalámbricos híbrida (H-WSN), coexisten nodos estáticos y móviles, con una topología de comunicaciones en malla diseñada para facilitar la

integración de ambos tipos de nodos en aplicaciones como las de búsqueda y rescate [19], [22].

### **2.2.5.3 Sensor de Temperatura LM35**

Es un sensor de temperatura con una precisión de  $1^{\circ}\text{C}$  y un rango de medición comprendida desde  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $+150^{\circ}\text{C}$ . Este sensor es un transistor típico de tres terminales: dos para su alimentación y el tercero para entregar un voltaje que es proporcional a la temperatura medida [22].

### **2.2.5.4 Dispositivos de Medición**

En el sector de la ganadería bovina, actualmente se ha adoptado el uso de orejeras visuales para la identificación de los animales, las cuales resultan viables debido a su bajo costo. Además, existen otros productos en el mercado que emplean tecnología RFID para este propósito [30].



**Fig. 8** Orejera electronica [23].



**Fig. 9** Microchip inyectable [24].



**Fig. 10** Bolo intrarruminal [25].

Los dispositivos presentados en la **Fig. 8**, **Fig. 9** y **Fig. 10**, son dispositivos pasivos que operan con tecnología RFID, cuya función consiste en almacenar información sobre el animal a identificar. Estos productos se activan mediante un lector de radiofrecuencia, lo que permite grabar y borrar la información de los distintos dispositivos [18].

Un sistema de Medición Automática de la Temperatura de Superficie del Ganado (AMSCST) está compuesto por sensores de registro automatizado que permiten medir la temperatura superficial del animal en el metatarso del miembro trasero [18].

Los resultados indican que la tecnología automatizada tiene potencial significativo para predecir con precisión la temperatura corporal del ganado [18].

### **2.2.5.5 Monitoreo Remoto**

Floating Base Sensor Network (FBSN) es un protocolo de comunicación de redes inalámbricas, constituye nodos móviles para convertirse en una estación radio base temporaria (ERBT) [19].

### **2.2.5.6 Radio frecuencia**

Este sistema permite la comunicación entre dos equipos mediante dispositivos de transmisión y recepción de datos. Los circuitos integrados asignan un código de transmisión de datos, que debe coincidir tanto en el receptor como en el transmisor para que el sistema funcione correctamente operando con 4 bits cada uno [26].

### **2.2.5.7 Modulo transmisor**

Este dispositivo tiene una potencia de salida de hasta 8 mW a una frecuencia de 433.92 MHz, permitiendo alcanzar distancias de aproximadamente 140 metros en espacios abiertos en línea de vista y 60 metros en espacios cerrados con obstáculos como paredes o separadores. Acepta señales tanto lineales como digitales de entrada y opera con un voltaje de corriente continua (CC) que va de 1.5V a 12V [26].

### **2.2.5.8 Modulo receptor**

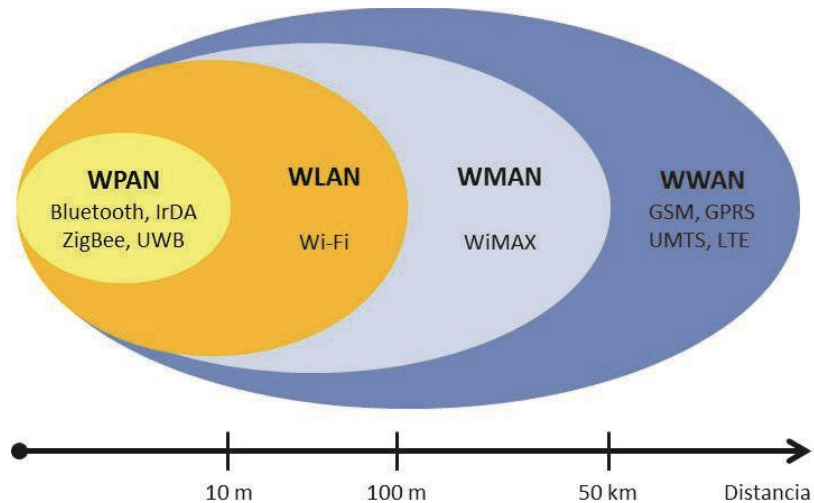
El módulo opera a una frecuencia de 433.92 MHz, con una sensibilidad de 3  $\mu$ V. Funciona con un voltaje de alimentación de 4.5V a 5.5V CC y cuenta con salidas en formato lineal y digital [26].

## **2.2.6 Protocolo de comunicación**

### **2.2.6.1 Comunicación inalámbrica**

En [27] explica que las redes inalámbricas se clasifican en cuatro grupos específicos según el área de aplicación y el alcance de la señal como indica la **Fig. 11:**

- Redes inalámbricas de área personal (WPAN) [27].
- Redes inalámbricas de área local (WLAN) [27].
- Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) [27].
- Redes inalámbricas de área amplia (WWAN) [27].



**Fig. 11** Comunicación Inalámbrica [27].

### 2.2.6.2 WMAN-WiMAX

WiMAX es una tecnología de comunicación punto a multipunto diseñada para ofrecer alta velocidad de transmisión de datos en redes inalámbricas metropolitanas. Permite interconectar redes LAN pequeñas mediante WiMAX, formando una gran WMAN, lo que facilita la creación de redes entre ciudades sin necesidad de costosos cables [27].

Las Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN) cubren distancias superiores a los 50 kilómetros. Este tipo de redes puede abarcar grandes áreas, como ciudades o países, utilizando sistemas satelitales o antenas gestionadas por un proveedor de servicios de Internet, sus principales tecnologías disponibles son la telefonía móvil y los satélites [27]

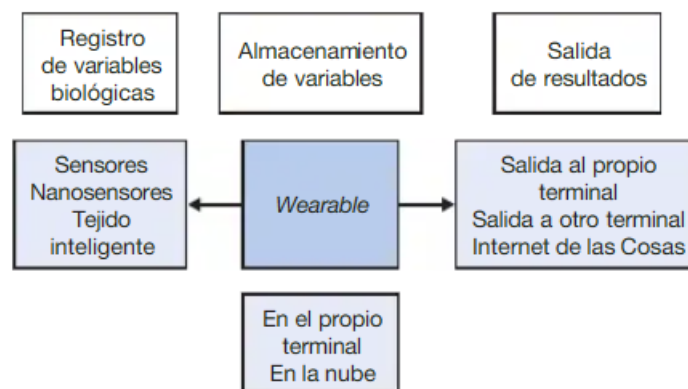


### 2.2.6.3 Tecnologías Wearable

La palabra “wearable” es un término anglosajón cuyo significado es “que se puede llevar puesto”. De esta manera, las tecnologías wearables, o tecnología vestible es aquella diseñada para ser integrada en la ropa, ya sea como complemento o como parte de los materiales que conforman la prenda [28].

La tecnología wearable (WT) cumple muchas de las funciones de los ordenadores y dispositivos móviles, pero es más avanzada, ya que incluye sensores que permiten interactuar tanto con el cuerpo como con el entorno [28].

Una característica principal de WT y la tecnología wearable devices (WD) es la conectividad inalámbrica que permite acceder a información en tiempo real, con capacidad para introducir y almacenar datos en el dispositivo como lo indica la **Fig. 12** [28], [29].



**Fig. 12** Esquema de funcionamiento de un wearable [29].

### 2.2.6.4 Microcontroladores

Los microcontroladores son chips que integran un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para programas, una memoria para almacenar

datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores en PCs los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas [30].

#### **2.2.6.5 Características de los microcontroladores**

La Unidad de Procesamiento Central (CPU) comúnmente de 8 bits, aunque también existen de 4, 32 y 64 bits. Puede tener una arquitectura Harvard, con memoria y bus de datos separados de la memoria y bus de instrucciones, o una arquitectura Von Neumann, donde los buses de datos y de programa son compartidos [30].

Memoria de Programa: Es un tipo de memoria ROM (Read-Only Memory), EPROM (ROM Programable Eléctricamente), EEPROM (ROM Programable/Borrable Eléctricamente) o Flash, que guarda el código del programa, con un tamaño que puede variar desde 1 kilobyte hasta varios megabytes [30].

Memoria de Datos: Es una memoria RAM (Memoria de Acceso Aleatorio) que generalmente tiene capacidades de 1, 2, 4, 8, 16 o 32 kilobytes [30].

Generador del Reloj: Generalmente, un cristal de cuarzo genera una señal oscilatoria con frecuencias entre 1 y 40 MHz, o también resonadores o circuitos RC [30].

Interfaz de Entrada/Salida: Puertos paralelos, seriales (UART, Receptor/Transmisor Asíncrono Universal), I2C (Circuito Integrado Interconectado), SPI (Interfaces Periféricas Seriales), CAN (Red de Área de Controladores), USB (Bus Universal en Serie) [30].

#### **2.2.6.6 SMS**

El servicio SMS esquematizado en la **Fig. 13**, permite el intercambio de mensajes de texto entre una estación móvil (MS) y otra entidad (SME) a través de un centro de servicio (SC). El servicio final ofrece comunicación extrema a extremo entre la estación móvil (MS) y el SME. En el caso de un mensaje entre dos móviles, ambas partes son

estaciones móviles. Cuando se envía un mensaje para solicitar un servicio adicional, un extremo es una estación móvil y el otro es un servidor que gestiona las solicitudes [20].

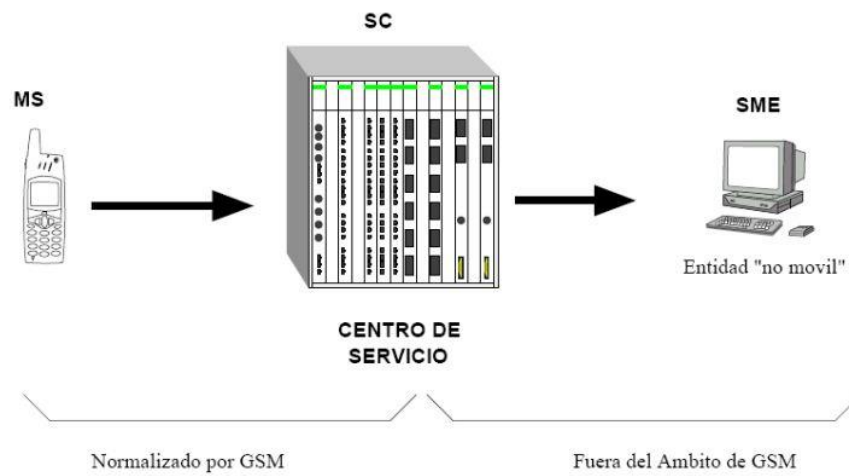


Fig. 13 Estructura del servicio SMS [20]

El servicio SMS se divide en dos servicios básicos detallados en la Fig. 14

**Short Message Mobile Terminated Point to Point (SM MT):** El servicio de entrega de un mensaje desde el centro de servicio (SC) hasta una estación móvil (MS) incluye la obtención de un informe sobre el estado de la entrega, proporcionando detalles de lo sucedido durante el proceso [20]

**Short Message Mobile Originated Point to Point (SM MO):** El servicio de envío de un mensaje desde una estación móvil (MS) hasta un centro de servicio (SC) incluye la generación de un informe que detalla el estado del proceso de envío [20]

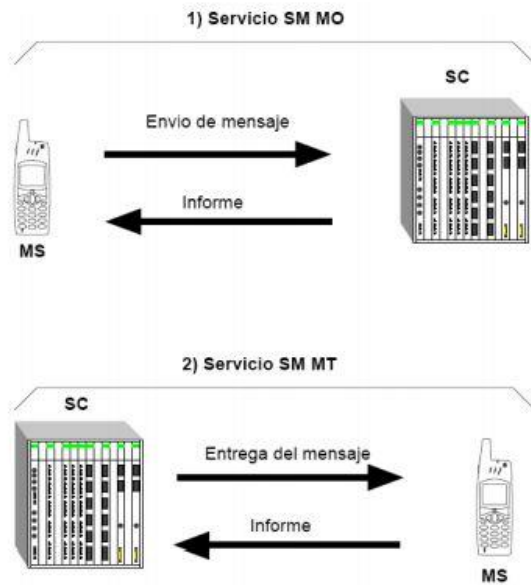


Fig. 14 Servicios básicos SM MO y SM MT [20]

### 2.2.6.7 Manejo de datos

En estos principios, el término “Tratamiento de Datos” se refiere a cualquier operación ejecutada con Datos Personales, como la recopilación, acceso, organización, adaptación, indexación, aprovechamiento, registro, almacenamiento, alteración, recuperación, divulgación o transferencia [31].

La instrumentación se refiere al conjunto de dispositivos utilizados para observar, medir o controlar, así como a su aplicación, transmisión de señales, conversión, procesamiento o almacenamiento de datos. El principal objetivo de los sistemas de medida es obtener información sobre un proceso físico y presentarla de manera adecuada para su integración en un sistema de control [32].

### 2.2.6.8 Recopilación de datos

Adquisición de datos: Consiste en obtener información sobre las variables a medir y convertirla en una señal eléctrica [32].

Sensor: Transforma la variable a medir en señal eléctrica [32].

Acondicionamiento: Ajusta la señal de salida del sensor para que pueda ser procesada en la siguiente etapa. Esta acción se logra a través de estas actividades:

Amplificación: Incrementar el nivel de la señal [32].

Filtrado: Eliminar componentes de la señal no deseadas [32].

Linealización: Obtener una señal de salida que varíe linealmente con la variable a medir [32].

Modulación: Altera la forma de la señal de salida [32].

Conversión A/D: Los sensores suelen generar una señal analógica que es convertida para su posterior procesamiento [32].

#### **2.2.6.9 Sistemas de datos en tiempo real**

Los sistemas de tiempo real son sistemas informáticos que interactúan constantemente con un entorno externo que cambia en tiempo real. Son sistemas reactivos que deben responder a eventos del entorno dentro de un plazo específico, y también pueden generar eventos y acciones hacia el entorno en momentos determinados [33].

#### **2.2.6.10 Modelo de tiempo real de un sistema**

Se trata de una representación del sistema que incluye toda la información necesaria para predecir y evaluar su comportamiento en el tiempo, permitiendo predecir los momentos en que ocurren sus respuestas. En la **Fig. 15** muestra los diferentes agentes involucrados en el proceso de desarrollo de una aplicación [33].

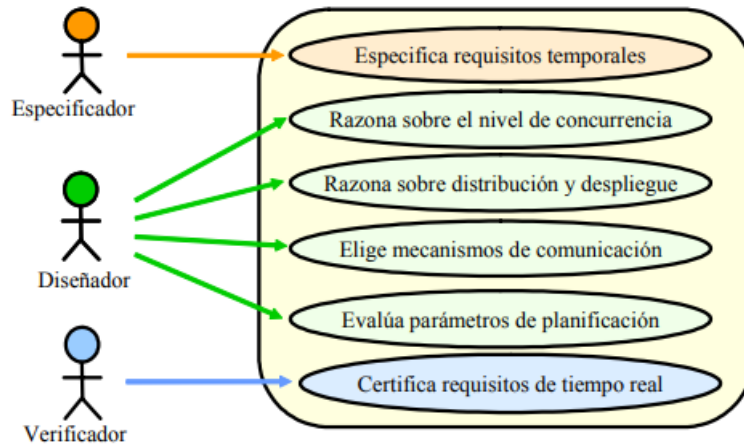


Fig. 15 Formas de uso del modelo de tiempo real de una aplicación[33].

### 2.2.6.11 Desarrollo de software basado en componentes

Consiste en crear sistemas mediante la integración de módulos de software reutilizables (componentes), que han sido desarrollados previamente por terceros, sin importar la aplicación específica en la que se vayan a utilizar. Como lo indica la Fig. 16 [33].

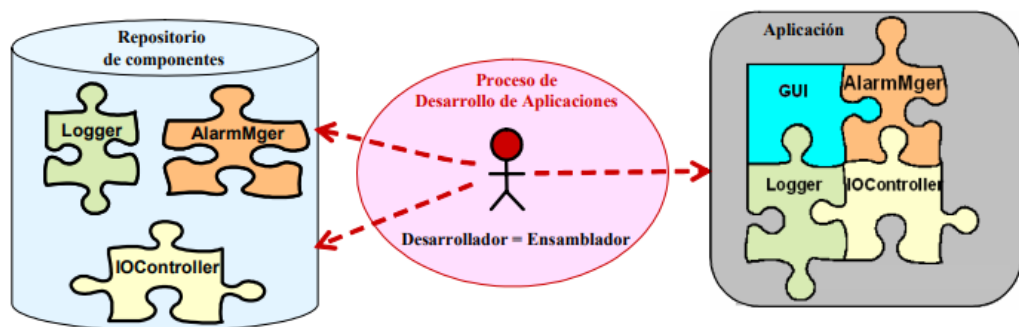


Fig. 16 Desarrollo basado en componentes [33].

## 2.2 Antecedentes

A continuación, se realiza un análisis preliminar de los avances existentes en el área, que servirán como referencia clave en el desarrollo de este proyecto.

Moocall es el dispositivo que permite cuantificar las contracciones y calcular automáticamente el momento más probable del parto. Cuando el sensor estima que falta aproximadamente una hora, envía mensajes de texto, correos electrónicos y notificaciones a hasta dos teléfonos móviles para agilizar el proceso [34].

Constituye un sensor de anticipación de partos que, al detectar el inicio del parto en la vaca, envía mensajes de texto a los números conectados al sensor Moocall, un correo electrónico y una notificación mediante la aplicación Moocall Breedmanager. Este sensor se coloca en el rabo de la vaca que está a punto de dar a luz, justo frente a la vulva, y cuenta con un revestimiento de goma y una correa ajustable. La batería recargable tiene una duración de 30 días por carga [34].

Otro dispositivo desarrollado propone un algoritmo para identificar contracciones, el cual utiliza los ángulos de cabeceo, alabeo y guiñada para estimar el momento del parto, dispone de un sensor de movimiento, una batería y un microcontrolador, cuenta con un revestimiento de plástico conectado a una correa antideslizante para prevenir caídas. El microcontrolador se encarga de analizar los datos del sensor de movimiento en un intervalo de tiempo concreto. Si se detecta una alta actividad durante este intervalo, se activa una alarma para notificar a la persona correspondiente [35].

Los factores más cruciales para generar una alerta indicando que la vaca está a punto de dar a luz son los valores de roll y pitch, es decir, alabeo y cabeceo. Un valor positivo o negativo de roll  $>15$  o  $<-15$  sostenido durante al menos 3 minutos, junto con un valor alto de pitch  $>40$ , indica que la vaca se encuentra acostada sobre su costado derecho o

izquierdo. El nivel de alarma promedio aumenta gradualmente a medida que se detecta un mayor número de contracciones o movimientos inusuales, hasta que finalmente se emite una alarma al encargado a través de un mensaje de texto (SMS)[35].

SmartVel se presenta como un sistema innovador para la identificación de partos, fundamentado en la actividad tridimensional de las vacas. Este sistema pionero en detección no invasiva considera las secuencias de comportamientos específicos asociados al proceso de alumbramiento. Está conformado por un acelerómetro situado en la base de la cola de la vaca, desde donde se emite una señal de ultra alta frecuencia [36].

En un estudio realizado, desarrollaron un algoritmo de aprendizaje automático para la predicción del parto en vacas lecheras. Demostraron que la información del índice de actividad y temperatura recuperada de un sensor de bolo retículo ruminal comercial puede predecir con precisión el parto con 1 a 5 días de anticipación. La mejor solución de predicción utilizó datos de 82 vacas lecheras, logrando así hasta un 87,81 % en precisión, un 92,99 % en especificidad, un 75,84 % en sensibilidad, un 82,99 % en valor predictivo positivo (VPP) y un 90,02 % en valor predictivo negativo (NPV) en el conjunto de datos de prueba con información de 2 días de anticipación y todos los subconjuntos de características (temperatura y actividad) [37].

Sin embargo, un artículo publicado utilizó una metodología que consistió en, fijar una etiqueta auricular, que contenía un acelerómetro triaxial, en la oreja derecha de la madre, cuatro semanas antes del día esperado del parto. En total, se utilizaron seis variables de entrada basadas en datos del acelerómetro para desarrollar un algoritmo para la predicción del parto: tiempo de rumia, actividad y tiempo de reposo de los animales individuales y en relación con el resto de los animales del grupo [38].

Para predecir el parto inminente sobre la base de estas variables de entrada, se utilizaron modelos de función de transferencia. El rendimiento del algoritmo que predice



el parto se determinó en los períodos de tiempo de 72, 48, 24, 12, 6, 3 y 1 h antes de la expulsión del ternero. La precisión equilibrada más alta se logró a 1 h, con un 74%. La sensibilidad más alta se alcanzó a 1 h (54%), mientras que la más baja fue a 72 h (19%) [38].

Estos hallazgos indicaron que es posible predecir el parto en vacas lecheras basándose en variables de entrada a partir de datos de aceleración. La mayor actividad se encontró el último día antes del parto, así como el menor tiempo de reposo [38].

Además, la hipótesis de otro estudio se basó en que el inicio del parto es detectable mediante análisis del patrón de movimiento de la cola de la madre, registrado por un acelerómetro triaxial fijado en la parte superior de la cola de la vaca. El comportamiento animal se grabó en vídeo (24 h/día) y se evaluó codificando los eventos "frecuencia y duración de la elevación de la cola 5 h antes del parto", "ruptura del saco amniótico" y "expulsión de la cría" [39].

Paralelamente, se analizaron los datos del acelerómetro recopilados desde dos días antes del parto. Desarrollaron un algoritmo para detectar el levantamiento de la cola y crearon una función de decisión basada en la frecuencia y duración del levantamiento de la cola. Superar el umbral provocó una alarma de nacimiento. En cada uno de los partos evaluados, la alarma se activó poco tiempo antes de la expulsión de los terneros, a los 33, 32, 121, 6 y 71 min, respectivamente [39].

Estos resultados preliminares indican que un acelerómetro es útil para detectar los movimientos de la cola y predecir el parto. En el período de 5 h antes del parto, en total se definieron 52, 27, 31, 19 y 30 eventos de elevación de cola en los videos durante los períodos de pie de las vacas [39].

En este estudio, se equiparon con sensores 400 vacas de una granja lechera holandesa. El sensor era un único dispositivo en una etiqueta auricular, que sintetizaba la actividad acumulada, la actividad de rumia, la actividad de alimentación y la temperatura cada hora. El momento en que comenzó el parto se definió como la primera instantánea de la cámara con evidencia visible de que la vaca estaba teniendo contracciones o había iniciado el parto [40].

Se desarrollaron dos modelos: un modelo con la fecha esperada de parto como variable independiente y un modelo con variables independientes adicionales basadas en datos de sensores. El modelo con fecha de parto esperada solo tuvo una sensibilidad del 9,1%, mientras que el modelo con datos de sensores adicionales tiene una sensibilidad del 36,4%, ambos con una tasa fija de falsos positivos del 1% [40].

Los resultados indican que la inclusión de datos de sensores mejora la predicción del inicio del parto en comparación con una predicción basada en la fecha esperada del parto; por lo tanto, los datos del sensor tienen valor para la predicción del momento del parto [40].

En un estudio posterior llevado a cabo en una granja, describe que una vigilancia eficiente del parto es esencial para evitar la muerte fetal debido a distocia desatendida. El objetivo de ese estudio fue evaluar un sensor inclinómetro montado en la cola (Moocall Ltd., Dublín, Irlanda) y monitorear la integridad de la piel después de colocar el sensor [41].

Se inscribieron 157 vacas y 23 novillas a los 275 días después de la inseminación, y se conectó un sensor a la cola de cada vaca. Los investigadores buscaron signos que indicaran el inicio de la etapa II del parto, verificaron la posición del sensor y evaluaron la integridad de la piel de la cola por encima y por debajo del sensor cada hora durante 24 h/d [41].

Utilizaron 5 intervalos diferentes 1, 2, 4, 12 y 24 h hasta el parto para calcular la sensibilidad. Los sensores se volvieron a colocar hasta que ocurrió un evento de parto. En 31 animales se retiró el sensor porque la cola estaba hinchada o dolorosa. Dependiendo del intervalo anterior al inicio del parto, la sensibilidad varió del 19 al 75% y la especificidad del 63 al 96% [41].

Cuando se mostraron signos que indicaran el inicio de la etapa II del parto, es decir, saco amniótico o patas del ternero que aparecían fuera de la vulva, el animal era trasladado a un corral de maternidad contiguo hasta el parto [41].

De manera similar, realizaron un análisis que se basó en el uso de las herramientas de ganadería de precisión (PLF) destinadas a la detección automática del parto que pueden ser útiles para los ganaderos, por lo tanto, dado que la mayoría de las herramientas comerciales de PLF para pastizales se basan en la tecnología del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) [11].

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar varios indicadores construidos a partir de datos recopilados con collares GNSS para así caracterizar su potencial en la detección de partos en pastizales. Para ello, se calcularon varios indicadores utilizando dos estrategias diferentes [11].

El primer enfoque consistió en tener indicadores que pudieran calcularse utilizando los datos de un único collar GNSS (indicadores para vacas). La segunda estrategia implicó el uso de datos de varios animales (indicadores de rebaño), lo que requiere monitorear más animales, pero puede permitir la caracterización del comportamiento social [11].

Varios indicadores, como la longitud de la trayectoria diaria o la sinuosidad del recorrido de la vaca, mostraron diferencias significativas entre los períodos pre y posparto, pero no diferencias claras entre el día del parto y los días anteriores [11].

Los indicadores del rebaño, como la distancia al centroide del rebaño o al par más cercano, fueron superiores en términos de detección del día del parto, ya que las vacas mostraron un comportamiento de aislamiento desde 24 horas antes del parto. Por ejemplo, según el indicador relativo del cambio en la trayectoria diaria, las vacas preñadas tuvieron un comportamiento exploratorio diferencial hasta 14 días antes del parto [11].

En conclusión, los datos de los collares GNSS comerciales resultaron útiles para el cálculo de varios indicadores relacionados con la aparición de partos en los pastizales. Algunos de esos indicadores mostraron cambios con respecto a los valores iniciales el día antes del parto, lo que podría servir para predecir el inicio del parto [11].

Los recientes avances tecnológicos en microelectrónica y comunicaciones, por ejemplo, redes de área amplia de baja potencia (LPWA), GSM con capacidades 4G o 5G, satélites de órbita terrestre baja, etc., han llevado a la aparición de soluciones PLF diseñadas específicamente para condiciones extensivas [11].

El sistema de seguimiento incluía los siguientes componentes: unidad GNSS, paquete de baterías de litio con duración de hasta dos años, carcasa IP67 resistente al agua y al polvo y módulo de comunicaciones LPWA basado en SigFox, que permitía la transmisión de ubicaciones fijas desde los collares al servidor en zonas cercanas en tiempo real [11].

Los dispositivos GNSS se configuraron para recopilar una localización de cada animal cada 30 minutos, mientras la cobertura de SigFox estaba disponible. Estas redes permiten la transmisión de datos con un intervalo de tiempo mínimo de 11 minutos, pero eligieron un rango de 30 minutos porque es la configuración predeterminada de los dispositivos comerciales utilizados en tal estudio, ya que se prioriza la duración de la batería para adaptarse al típico ganado vacuno [11].

Utilizando una metodología distinta, los investigadores buscaron parámetros como: determinar si la temperatura de la superficie de la base de la cola ST ventral podría usarse para predecir el tiempo de parto en vacas lecheras. Se inscribieron vacas Holstein preñadas durante la estación cálida con una temperatura promedio diaria del aire de 10 a 20 °C; n = 13; y la estación fría con temperatura promedio diaria del aire < 10 °C; n = 22, y se utilizó un dispositivo inalámbrico portátil [12].

El sensor ST se adjuntó a la superficie de la base ventral de la cola de cada vaca entre 9 y 12 días previos de la fecha supuesta del parto. La ST de la base ventral de la cola se midió cada 2 min hasta 24 h después del parto. En el análisis utilizaron los valores máximos horarios de ST de la base de la cola ventral y los cambios en el ST de la base de la cola ventral se expresaron como temperaturas residuales (RT) para excluir cualquier efecto [12].

En ambas temporadas, hubo una disminución continua en el RT de la base de la cola ventral desde alrededor de 24 h previo al parto en comparación con el RT de la base de la cola ventral de control de 120 a 97 h antes del parto. Las áreas bajo las curvas de del receptor (ROC-AUC) para la RT de la base ventral de la cola como predictor del parto fueron de 0,88 a 0,95 [12].

Los ROC-AUC como predictor de parto dentro de las 24 h aumentaron en la estación cálida a comparación con la estación fría. Estos hallazgos demostraron que el tiempo de parto en las vacas lecheras se puede predecir monitoreando el ST de la base ventral de la cola con un sensor inalámbrico portátil, pero la variabilidad estacional afecta la precisión de la predicción del tiempo de parto [12].

En el análisis se utilizaron los valores máximos horarios de ST de la base de la cola ventral y los cambios en ST se expresaron como temperaturas residuales (RT) utilizando la fórmula:  $RT = ST \text{ real} - ST \text{ media}$  para la misma hora en los 3 días anteriores[12].

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO**

### **3.1 Enfoque y modelos de investigación**

En el presente trabajo se emplea una investigación ingenieril, debido a que se desarrolla una solución al problema planteado, el cual consiste en el diseño de un dispositivo de predicción de partos en bovinos que se desarrollan en un sistema de pastoreo libre.

La investigación también es de tipo documental ya que inicialmente se procedió con la recopilación de información en documentos, libros, revistas y artículos relacionados con un parto bovino, así como investigaciones y publicaciones previas sobre dispositivos detectores de parto. La lectura de la documentación permitió tener una base más real sobre el comportamiento animal conjunto con las variables principales que determinan el indicio de un parto bovino y seleccionar las adecuadas, para posteriormente determinar el tipo de componentes a utilizar. También, esta investigación cualitativa conlleva la ejecución de entrevistas, evaluación de experiencias e interacción con otras personas para la comparación de datos bibliográficos y experimentales. Los cambios en el movimiento de la vaca son producto de los cambios hormonales. Cuando se determine la variable a escoger en el desarrollo del dispositivo que determine el inicio de labor parto se pretende lograr como objetivo arrojar una alarma o aviso que inició la labor de un parto bovino mediante el uso de microcontrolador y tecnología inalámbrica [16].

Adicionalmente, el trabajo es de tipo descriptiva debido a que se manifiesta los conceptos de tecnologías inalámbricas y variables determinantes al indicio del parto bovino. A través de los resultados, se describirá el funcionamiento del dispositivo y la recopilación de datos obtenidos durante el inicio de contracciones de la vaca conjunto con la alerta a un dispositivo electrónico. Para lograr este fin, se aplica una investigación

experimental cuya actividad intencional es verificar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas de funcionamiento en los bovinos dentro de un sistema de pastoreo libre o extensivo [17].

### **3.2 Diseño de la Investigación**

Para el desarrollo de este trabajo es necesario ejecutar diferentes actividades individuales con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados y de esta manera llevar en un orden conciso el proceso para llevar a cabo la construcción del dispositivo de predicción de partos en bovinos.

#### **1.1.1. Fase 1: Identificación de los parámetros que determinan el indicio de un parto bovino.**

*Actividad 1: Búsqueda de información acerca de parámetros que definen el proceso de parto en bovinos;* se realiza una investigación exhaustiva de información sobre los diferentes parámetros que influyen y definen el inicio de un parto en bovinos.

*Actividad 2: Recopilación de datos a especialista;* la interacción con un profesional permite recopilar datos directamente de un especialista en reproducción bovina que brindará información valiosa para complementar con la investigación teórica.

*Actividad 3: Análisis teórico para la identificación de los componentes y tecnologías para dispositivos de predicción;* se procede a revisar literatura técnica y teórica para identificar los componentes esenciales y las tecnologías clave utilizadas en los dispositivos de predicción.

*Actividad 4: Evaluación de dispositivos de predicción de partos existentes en el mercado;* Se comparan diferentes dispositivos de predicción y un análisis de sus especificaciones técnicas.

**1.1.2. Fase 2: Diseño de un prototipo funcional que cumpla con los criterios determinados.**

*Actividad 5: Determinación de requerimientos del dispositivo;* se identifican los requerimientos y/o elementos críticos que deben ser considerados en el diseño.

*Actividad 6: Planteamiento de alternativas de solución;* una vez determinados los requerimientos del dispositivo se procede a plantear alternativas de posibles soluciones.

*Actividad 7: Selección de la mejor solución;* Después de un análisis de cada una de las posibles soluciones, se opta por la mejor.

*Actividad 8: Modelado de la estructura del dispositivo;* tomando en cuenta el diseño electrónico, se realiza el modelado de la estructura mediante un software CAD.

*Actividad 9: Selección de materiales y componentes;* considerando el método de fabricación del dispositivo, se seleccionan los materiales y componentes existentes en el mercado para obtener el dispositivo funcional.

*Actividad 10: Pruebas de funcionamiento;* A través de la investigación experimental se realizan pruebas de funcionamiento de los circuitos.

**1.1.3. Fase 3: Construcción del dispositivo empleando técnicas de fabricación de acuerdo con el diseño previamente establecido.**

*Actividad 11: Construcción de la estructura;* mediante técnicas de manufactura aditiva se busca ejecutar el archivo 3D digital a un modelo físico.

*Actividad 12: Integración del diagrama electrónico en el diseño de la carcasa;* una vez obtenida la estructura del dispositivo, se integran los diferentes componentes electrónicos.



*Actividad 13: Desarrollo del sistema de transmisión de datos;* se procede al diseño y desarrollo del sistema de transmisión de datos y el controlador que otorgará las funciones del dispositivo, implementando tecnología de comunicación.

*Actividad 14: Pruebas de verificación del funcionamiento electrónico conjunto con la transmisión de datos;* se llevan a cabo pruebas de funcionamiento, asegurando coherencia entre el hardware y software y la integración de la transmisión de datos.

#### **1.1.4. Fase 4: Validación del funcionamiento mediante pruebas.**

*Actividad 15: Implementación del dispositivo en el bovino;* Se realiza la instalación del dispositivo en el bovino para validar su funcionamiento.

*Actividad 16: Ajustes y Correcciones;* Se realizan los ajustes funcionales para garantizar el desempeño óptimo del dispositivo.

*Actividad 17: Presentación del documento final escrito;* En la última fase, se realiza la redacción del documento final.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En base a la revisión bibliográfica y la entrevista realizada a los especialistas, se identificaron dos variables claves para detectar el inicio de trabajo de parto de un bovino: el tipo de movimiento del alza de la cola y su frecuencia. Para desarrollar un dispositivo funcional que cumpla con el objetivo planteado, es necesario satisfacer diversos requerimientos para obtener la mejor solución, lo que implica la búsqueda y selección de los componentes adecuados:

### 4.1 Requerimientos del usuario

A continuación, se detalla en la Tabla 2 los diferentes requerimientos del usuario que detallan las necesidades y expectativas del cliente.

**Tabla 2:** Requerimientos del usuario

<b>Especificaciones</b>	<b>Descripción</b>
<b>Dimensiones del Dispositivo</b>	El dispositivo debe ser pequeño para que no sea notorio.
<b>Peso</b>	El dispositivo completo debe ser liviano, para que no sea incomodo y resistente a cambios climáticos.
<b>Electrónico</b>	Debe funcionar varias horas.
<b>Posición</b>	Se debe colocar en las partes externas.
<b>Almacenamiento</b>	En el dispositivo debe mostrar los valores.
<b>Fácil colocación</b>	Por motivos de seguridad y facilidad, el dispositivo debe ser colocado por máximo 2 personas.
<b>Precios</b>	No debe ser muy costoso
<b>Alarma</b>	El aviso debe ser una aplicación.

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los requerimientos técnicos que especifican los aspectos tecnológicos necesarios para cumplir con los objetivos. Posteriormente se detalla en la Tabla 4 los requerimientos del dispositivo que definen las características y especificaciones para el correcto funcionamiento del dispositivo.

**Tabla 3:** Requerimientos técnicos

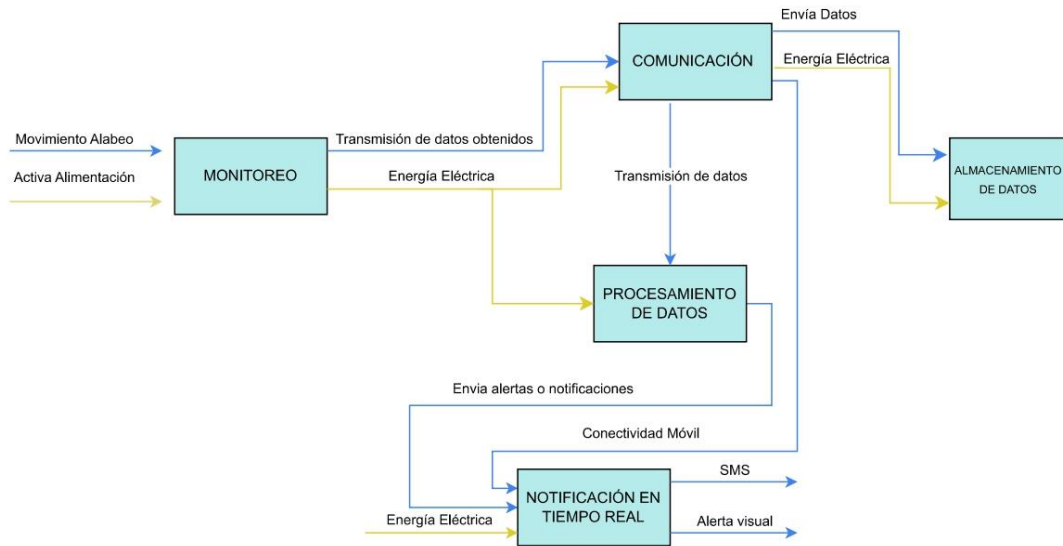
<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Electrónico</b>	Baterías recargables.
<b>Peso</b>	Materiales resistentes y ligeros.
<b>Dimensiones</b>	Adaptables al lugar de colocación
<b>Posición</b>	Dispositivo no Invasivo.
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento de Datos
<b>Alarma</b>	Comunicación Remota

**Tabla 4:** Requerimientos del Dispositivo

<b>Concepto</b>	<b>Requerimiento/Deseo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Dimensiones</b>	Requerimiento	Su carcaza debe ser adaptable a la parte en la que se va a colocar.
<b>Peso</b>	Requerimiento	Su peso debe ser bajo.
<b>Electrónico</b>	Requerimiento	Uso de baterías recargables
<b>Posición</b>	Requerimiento	Dispositivo no invasivo.
<b>Almacenamiento</b>	Requerimiento	Análisis de datos.
<b>Fácil colocación</b>	Deseo	Fácil colocación.
<b>Alarma</b>	Requerimiento	Mensajería SMS

## 4.2 Estructura funcional del dispositivo

En base a los requerimientos definidos por el dispositivo, se describe las unidades operativas del sistema y su función específica descrita en la Tabla 5, los cuales permitirán la monitorización continua, análisis y predicción del parto representado en la **Fig. 17**.



**Fig. 17** Estructura funcional del dispositivo.

**Tabla 5:** Nivel 1- Estructura funcional del Dispositivo

Función	Descripción
<b>Monitoreo</b>	En este sistema se integra sensores adecuados que se colocan en la vaca para recopilar datos críticos.
<b>Comunicación</b>	Utilización de tecnologías para la transmisión de datos inalámbricos para enviar los datos obtenidos por los sensores o la inclusión de conectividad móvil para áreas sin cobertura de redes locales.
<b>Procesamiento de datos</b>	Análisis y procesamiento de datos obtenidos por los sensores en tiempo real.
<b>Almacenamiento de datos</b>	Se almacena los datos de los sensores de forma temporal.
<b>Notificación en tiempo real</b>	Enviar alertas por SMS o alertas visuales para notificar un inicio de parto.
<b>Alimentación</b>	Sistema de baterías recargables para asegurar la operatividad de cada uno de los sistemas,

A continuación, se representa las subfunciones de la estructura representada en la Fig. 18 descritas detalladamente su función y subfunción mostrada en la Tabla 6.

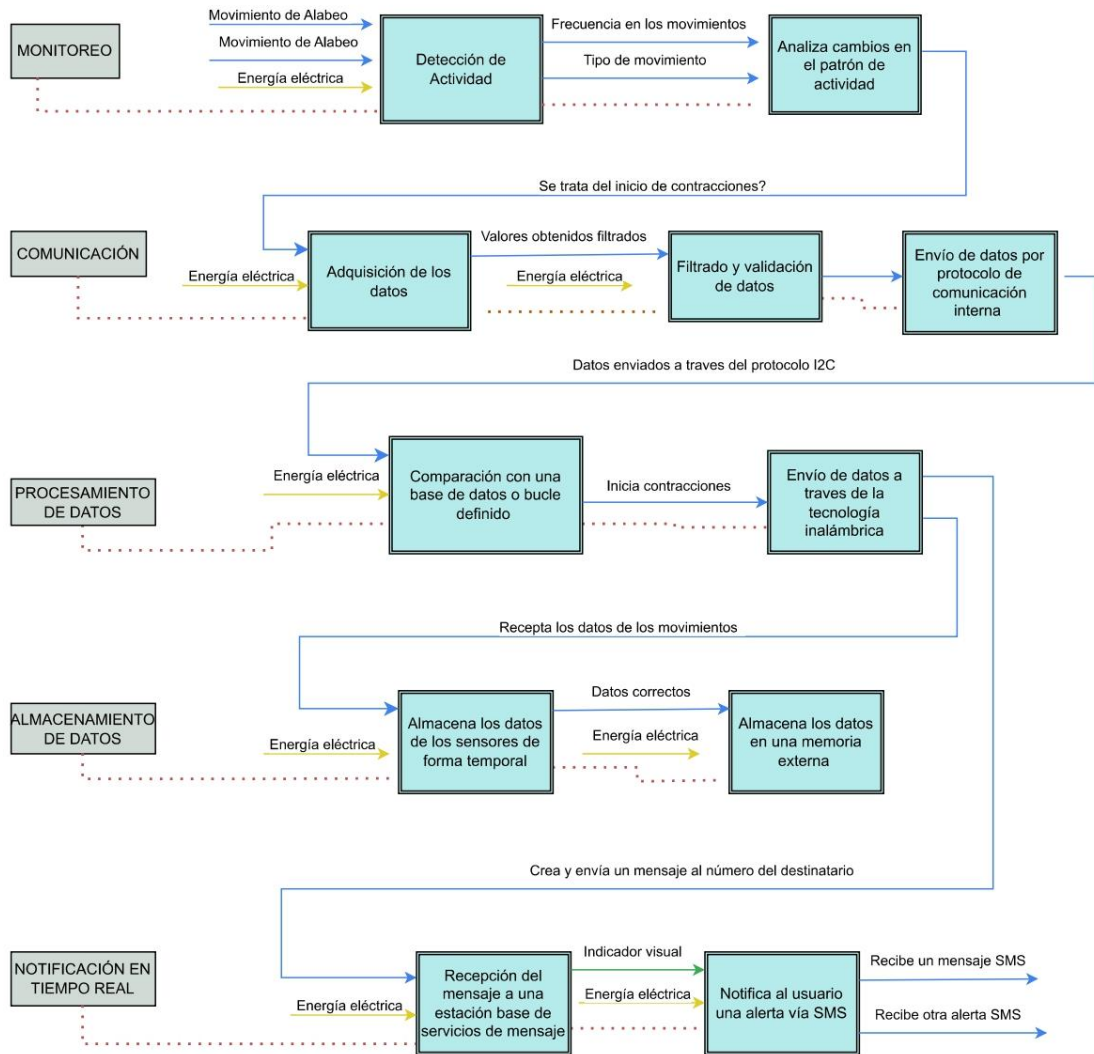


Fig. 18 Subfunciones de la estructura funcional – Nivel 2.

**Tabla 6:** Nivel 2- Subfunciones de la estructura funcional

<b>Función</b>	<b>Subfunción</b>	<b>Descripción</b>
<b>Monitoreo</b>	<p>Detección de la actividad o contracciones.</p> <p>Analiza cambios en el patrón de actividad (frecuencia y duración de contracciones).</p>	<p>Detectará la frecuencia y tipo de movimiento de la cola de la vaca.</p>
<b>Comunicación</b>	<p>Adquisición de los datos.</p> <p>Filtrado y validación de datos.</p> <p>Envío de datos mediante los protocolos de comunicación interna.</p>	<p>Los valores obtenidos serán filtrados y enviados a través del protocolo I2C o UART.</p>
<b>Procesamiento de datos</b>	<p>Comparación con una base de datos o bucle definido.</p> <p>Envío de `datos a través de la tecnología inalámbrica.</p>	<p>Comunicación con el microcontrolador para determinar si se trata del inicio de contracciones.</p>
<b>Almacenamiento de datos</b>	<p>Almacena los datos de los sensores en forma temporal</p> <p>Almacena los datos en memoria externa.</p>	<p>Los datos de la actividad detectada se almacenarán en una memoria externa.</p>
<b>Notificación en tiempo real</b>	<p>Recepción del mensaje a una estación base de servicios de mensajería.</p> <p>Notifica al usuario una alerta vía SMS.</p> <p>Ejecuta una alarma a través de un indicador visual.</p>	<p>Se envía un mensaje SMS de alerta al número del usuario del inicio de trabajo de parto.</p>
<b>Alimentación</b>	<p>Generación de energía a través de una batería recargable.</p> <p>Gestiona la energía constante y adecuada a cada uno de los módulos.</p> <p>Monitorea el nivel de carga de la batería.</p> <p>Optimización modos de bajo consumo de energía.</p> <p>Implementación de mecanismos de protección del sistema.</p>	<p>El sistema de alimentación se encarga de garantizar un suministro de energía constante y confiable para que el dispositivo pueda operar de manera continua y efectiva.</p>

### 4.3 Evaluación de componentes

En esta sección se centra en la evaluación de los componentes electrónicos disponibles en el mercado, analizando el rendimiento y fiabilidad.

#### 4.3.1 Alternativas de Tecnologías de Monitoreo

A continuación, se exploran diversas alternativas de tecnologías de monitoreo, evaluando su eficacia en la recolección de datos en tiempo real.

#### Modulo Inerciales IMU

IMU es la Unidad de Medición Inercial basados en sensores, giroscopios y acelerómetros encargados de medir la posición angular y desplazamiento de un cuerpo en un espacio tridimensional.

Tabla 7: MPU6050

Alternativa 1: Descripción	Ventajas	Desventajas
MPU6050	Bajo consumo de energía	Precisión limitada.
Módulo o IMU (Inertial Measurment Units) de 6 grados de libertad (DoF). Combina un acelerómetro de 3 ejes y giroscopio de 3 ejes.	Tamaño compacto. Uso en variedad de aplicaciones. La comunicación del módulo es por I2C. Permite trabajar con la mayoría de los microcontroladores. El módulo tiene un regulador de voltaje en placa de 3.3V, el cual se puede alimentar con los 5V del Arduino.	Sensibilidad al ruido. Limitaciones de interfaz de comunicación. Requiere calibración

Nota [44].

**Tabla 8:** MPU9250

<b>Alternativa 2:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
MPU9250 Modulo IMU para rastreo de movimiento de 9 ejes (DoF).	Mayor precisión Compatible con I2C y SPI Bajo consumo de energía. Incluye magnetómetro.	El costo es mayor a comparación con el MPU6050. Sensible al ruido.

Nota [47]

### 4.3.2. Alternativas de tecnologías de Comunicación

#### Placas basadas en microcontroladores

En el mercado local existen varias opciones de placas que integran un microcontrolador y varios componentes adicionales con distintas características, para su elección se tomara en cuenta diferentes parámetros en base a los requerimientos previamente establecidos. A continuación, en la Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se describen los diferentes microcontroladores existentes disponibles en el mercado local con sus ventajas y desventajas.

**Tabla 9:** Arduino UNO

<b>Alternativa 1:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Arduino UNO Placa de desarrollo equipada con el ATmega328P y el procesador ATmega16U2.	Costos accesibles Flexibilidad de comunicación con otros sensores y actuadores Facilidad de uso por su entorno de desarrollo IDE	Memoria Limitada Potencia de procesamiento limitada. Cantidad limitada de entradas y salidas. Operación de voltaje limitado

Nota [48].



**Tabla 10:** Arduino NANO

<b>Alternativa 2:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Arduino NANO Es una placa pequeña, completa y compatible con el ATmeda328.	Admite la comunicación I2C mediante la biblioteca WIRE. Tamaño Compacto Bajo Costo Compatibilidad con el IDE	Menos pines de entradas y salidas E/S. Menor potencia de procesamiento

Nota [49].

**Tabla 11:** Raspberry

<b>Alternativa 3:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Raspberry Raspberry Pi es un ordenador de bajo coste, de tamaño reducido y gran capacidad de procesamiento.	Su versatilidad y conectividad. Diseñada para ejecutar el sistema operativo GNU/Linux que es de código abierto. Arduino IDE está disponible para Raspberry Pi.	Mayor tamaño a comparación de las otras placas. Costo Mayor Limitaciones de memoria

Nota [50].

**Tabla 12:** ESP32

<b>Alternativa 4:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
ESP32 Microcontrolador que combina un procesador de doble núcleo de 32 bits.	Bajo Costo Bajo consumo de energía. Posee conectividad WiFi y Bluetooth integrada. Amplia variedad de interfaces.	Alto consumo de energía en pleno funcionamiento. Problemas de conectividad a largas distancias. Compatibilidad limitada con algunos entornos de desarrollo.

Nota[51].

**Tabla 13:** ESP8266

<b>Alternativa 5:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
ESP8266 Microcontrolador que está diseñado con tecnologías avanzadas de administración de energía.	Consumo de energía extra bajo. Costos accesibles. Integra controlador de memoria. Frecuencia de procesamiento alta	Capacidad limitada de procesamiento y memoria. Conectividad Limitada Menor número de periféricos integrados. Dependiendo de su aplicación, alto consumo de energía.

Nota [52].

**Tabla 14:** STM32

<b>Alternativa 6:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
STM32 Microcontrolador que está basado en la arquitectura ARM-Cortex-M	Bajo consumo de energía. Capacidad en tiempo real. Procesamiento de señales Digitales	Costo es mayor comparando con el resto de las placas. Depende del modelo, puede tener alto consumo de energía. La compatibilidad y migración.

Nota[53]

**Tabla 15:** LORA

<b>Alternativa 7:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
LORA Es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance en aplicaciones de IoT.	Amplio rango de comunicación. Poco consumo de energía.	Baja velocidad de transmisión de datos. Su infraestructura es más compleja y costos más elevados.

Nota[54].

### 4.3.3. Evaluación de Tecnologías de comunicación

#### Software de Comunicación entre módulos

Tabla 16: Plataforma Arduino

Alternativa 1:	Ventajas	Desventajas
<b>Descripción</b>		
Arduino	Facilidad de uso.	Procesamiento limitado.
Es una interfaz de desarrollo de software y hardware libre.	Plataforma de código abierto. Compatibilidad con módulos, sensores y otras plataformas.	Capacidad de memoria limitada. Interfaz de desarrollo simplificado. No es ideal para aplicaciones industriales.

Nota[49].

### 4.3.4. Evaluación de tecnologías de almacenamiento de datos

#### Módulo Lector SD Card

Las memorias SD pueden recopilar una gran cantidad de datos, como las lecturas de datos de sensores leídos periódicamente, por lo que se desea almacenar permanentemente, a continuación, en la Tabla 17 y Tabla 18 se presenta sus principales características.

Tabla 17: Módulo lector SD

Alternativa 1:	Ventajas	Desventajas
<b>Descripción</b>		
Lector SD	Almacenamiento de gran cantidad de datos y pequeño tamaño.	Supone una importante carga de trabajo para Arduino.
Es un dispositivo que permite emplear como almacenamiento una tarjeta SD.	Bajo Coste	El uso del procesador también es exigente.

Nota[56]

**Tabla 18:** Módulo lector Micro SD

<b>Alternativa 1:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Lector Micro SD Es una tarjeta de interfaz para acceder a la memoria microSD.	Permite almacenar grandes cantidades de datos en memorias SD. Facilidad para conectarse con Arduino.	La durabilidad de los contactos de las tarjetas microSD puede ser limitada. Existe limitaciones de velocidad

Nota[57]

#### 4.3.5. Evaluación de tecnologías de notificación en tiempo real

##### Módulos de Mensajería

Los módulos de mensajería GSM (Global System for Global Communications) es el sistema de comunicaciones que más se utiliza en teléfonos móviles. La primera funcionalidad es la transmisión de voz, pero también la transmisión de datos SMS[58]. A continuación, se describen los principales módulos GSM en la Tabla 19 y Tabla 20 con sus ventajas y desventajas.

**Tabla 19:** Módulo GSM SIM 8001

<b>Alternativa 1:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Modulo GSM SIM 8001 Es un dispositivo GSM Y GPRS de 4 bandas.	Tamaño Compacto. Bajo consumo de energía. Bajo Costo Compatibilidad Global	Transferencias de datos más bajas. Su sistema de seguridad es más vulnerable. Depende de la calidad de la señal Antena interna

Nota[59]

**Tabla 20:** Módulo GSM SIM900

<b>Alternativa 2:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Modulo GSM SIM900	Compatibilidad Global	Transferencias de datos más bajas.
Es una tarjeta ultra compacta de comunicación inalámbrica.	Amplia disponibilidad	Su sistema de seguridad es más vulnerable.
	Integración sencilla	
	Costos accesibles	Consumo de energía mayor a comparación con otros módulos.
	Antena externa	

Nota[60]

#### 4.3.6. Evaluación de tecnologías de alimentación del sistema

##### Baterías Recargables

La selección del tipo de batería depende exclusivamente de los requerimientos de la aplicación donde son utilizadas, a continuación, se presenta en la Tabla 21 las principales características, ventajas y desventajas de las baterías recargables de litio.

**Tabla 21:** Baterías Recargables de Litio

<b>Alternativa 1:</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Descripción</b>		
Baterías de Litio	Presentar menor impacto ambiental.	Necesitan circuito de protección.
Es un tipo de generador electroquímico capaces de producir energía eléctrica a partir de reacciones químicas.	Mejor rendimiento económico.	Existe limitaciones de velocidad
		Ciclos de carga y descarga limitados.

Nota [61]

#### 4.4 Alternativas de soluciones

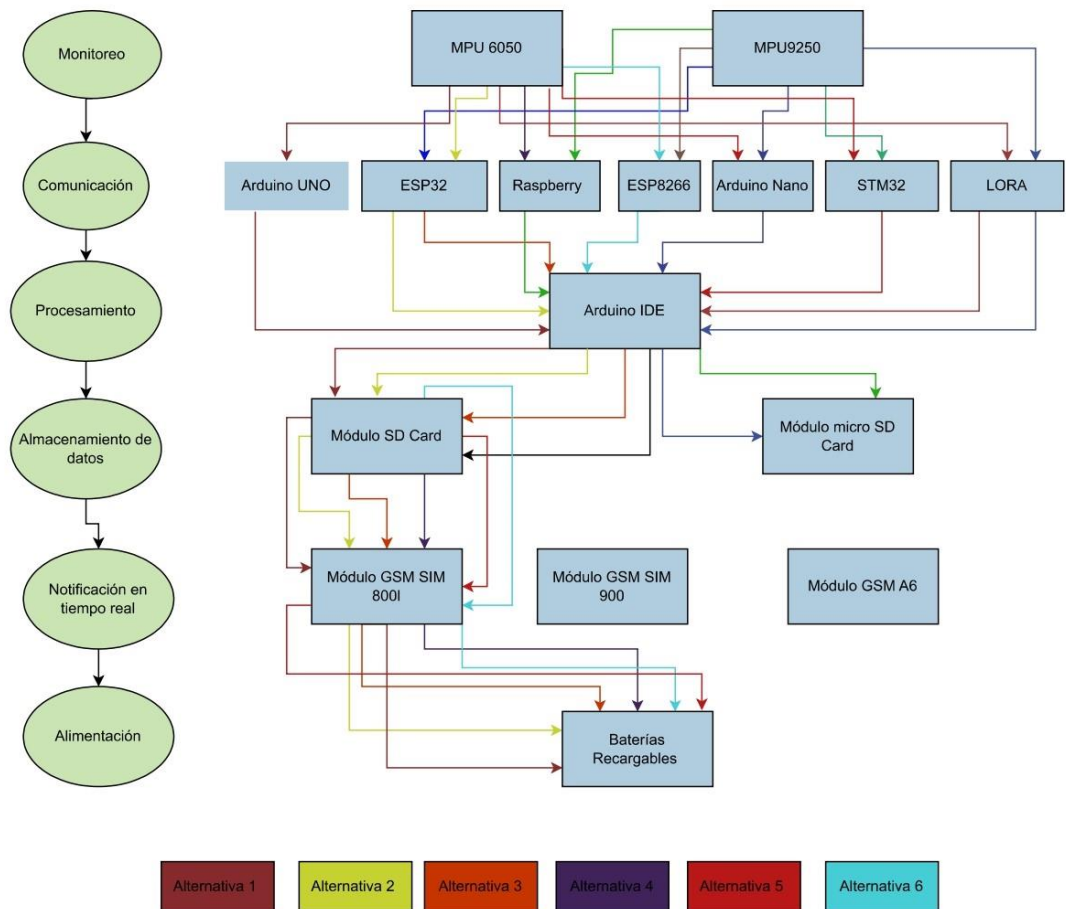
Se plantean las posibles soluciones basadas en las tecnologías previamente identificadas en cada módulo funcional del dispositivo.

En la Tabla 22, se describe cada una de las alternativas con sus respectivas funciones.

Adicionalmente, se presenta en la **Fig. 19** una representación con todas las variantes como posibles soluciones del sistema, obteniendo así, un total de 6 opciones viables que serán evaluadas en base a diferentes criterios para elegir la opción más optima del sistema.

**Tabla 22:** Alternativas de soluciones.

<b>Función</b>	<b>Componentes</b>						
<b>Comunicación</b>	Arduino UNO	Arduino Nano	Raspberry	ESP32	ESP8266	STM32	LORA
<b>Monitoreo</b>		MPU6050			MPU9250		
<b>Almacenamiento de datos</b>							
<b>Notificación en tiempo real</b>		Modulo lector SD			Modulo lector microSD		
<b>Procesamiento de datos</b>		Modulo GSM SIM800L			Modulo GSM SIM900		
<b>Alimentación</b>		Arduino IDE					
		Baterías Recargables					



**Fig. 19** Diagrama de soluciones

#### 4.4.1 Variantes

a. CAFE: Dispositivo con placa de microcontrolador Arduino UNO, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

b. AMARILLO: Dispositivo con placa ESP32, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

c. TOMATE: Dispositivo con placa Raspberry, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

d. MORADO: Dispositivo con placa de microcontrolador ESP8266, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

e. ROJO: Dispositivo con placa de microcontrolador Arduino nano ESP32, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

f. CELESTE: Dispositivo con STM32, sensor MPU6050, modulo lector microSD, módulo de mensajería GSM SIM800L, interfaz de programación Arduino IDE, con baterías recargables.

#### 4.4.2 Elección de opciones

Para la elección de la mejor solución se ha planteado un conjunto de criterios que determinaran la importancia de cada solución en base al método de factores ponderados.

#### 4.5 Evaluación de cada criterio

Tabla 23: Evaluación de cada criterio.

	Dim ensi ones	Peso	Aliment ación	Almace namien to	Precios	Alar ma	Sumator ia+1	Ponderació n
<b>Dimensiones</b>		0.5	0	0.5	0.5	1	3.5	<b>0.17</b>
<b>Peso</b>	0.5		0.5	0.5	0.5	0	3	<b>0.14</b>
<b>Alimentación</b>	1	0.5		1	0.5	0.5	4.5	<b>0.21</b>
<b>Almacenamiento</b>	0.5	0.5	0		1	0	3	<b>0.14</b>
<b>Precios</b>	0.5	0.5	0.5	0		0	2.5	<b>0.12</b>
<b>Alarma</b>	0	1	0.5	1	1		4.5	<b>0.21</b>
						<b>SUMA</b>	21	



#### 4.5.1 Evaluación de alternativas en base a los criterios

Las siguientes tablas muestran a continuación una evaluación de las alternativas de soluciones respecto a diferentes factores.

La Tabla 24 muestra la evaluación de las alternativas con respecto al factor dimensiones.

**Tabla 24:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor dimensiones.

<b>Dimensiones</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b>Alternativa 6</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	0.5	1	0	0	2.5	<b>0.12</b>
<b>Alternativa 2</b>	1		1	0.5	0.5	0.5	4.5	<b>0.21</b>
<b>Alternativa 3</b>	0.5	0		0	0	0.5	2	<b>0.10</b>
<b>Alternativa 4</b>	0	0.5	1		0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 5</b>	1	0.5	1	0.5		0.5	4.5	<b>0.21</b>
<b>Alternativa 6</b>	1	0.5	0.5	0.5	0.5		4	<b>0.19</b>
						<b>SUMA</b>	<b>21</b>	

La Tabla 25 muestra la evaluación de las alternativas con respecto al factor Peso.

**Tabla 25:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Peso.

<b>Peso</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b>Alternativa 6</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	1	0.5	0	0	2.5	<b>0.12</b>
<b>Alternativa 2</b>	1		0.5	0.5	0.5	0.5	4	<b>0.2</b>
<b>Alternativa 3</b>	0	0.5		0	0	0	1.5	<b>0.07</b>
<b>Alternativa 4</b>	0.5	0.5	1		0.5	0.5	4	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 5</b>	1	0.5	1	0.5		0.5	4.5	<b>0.22</b>
<b>Alternativa 6</b>	1	0.5	1	0.5	0.5		4.5	<b>0.22</b>
						<b>SUMA</b>	<b>21</b>	

La Tabla 26 muestra la evaluación de las alternativas con respecto al factor Precios.

**Tabla 26:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Precio.

<b>Precios</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b>Alternativa 6</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	1	0.5	1	0.5	4	<b>0.2</b>
<b>Alternativa 2</b>	1		1	0.5	0.5	1	5	<b>0.25</b>
<b>Alternativa 3</b>	0	0		0	0	0	0	<b>0</b>
<b>Alternativa 4</b>	0.5	0.5	1		0.5	0.5	4	<b>0.2</b>
<b>Alternativa 5</b>	0	0.5	1	0.5		0.5	3.5	<b>0.18</b>
<b>Alternativa 6</b>	0.5	0	1	0.5	0.5		3.5	<b>0.18</b>
						<b>SUMA</b>	<b>20</b>	

La Tabla 27 muestra la evaluación de las alternativas con respecto al factor Alimentación.

**Tabla 27:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Alimentación.

<b>Alimentación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b>Alternativa 6</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0.5	1	0.5	0.5	0.5	4	<b>0.19</b>
<b>Alternativa 2</b>	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 3</b>	0	0.5		0.5	0.5	1	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 4</b>	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 5</b>	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 6</b>	0.5	0.5	0	0.5	0.5		3	<b>0.14</b>
						<b>SUMA</b>	<b>21</b>	

La Tabla 28 muestra la evaluación de las alternativas con respecto al factor Almacenamiento.

**Tabla 28:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Almacenamiento.

<b>Almacenamiento</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b>Alternativa 6</b>	<b>Sumatoria+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0.5	0	0.5	0.5	0.5	3	<b>0.14</b>
<b>Alternativa 2</b>	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 3</b>	1	0.5		0.5	0.5	1	4.5	<b>0.21</b>
<b>Alternativa 4</b>	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 5</b>	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	3.5	<b>0.17</b>
<b>Alternativa 6</b>	0.5	0.5	0	0.5	0.5		3	<b>0.14</b>
						<b>SUMA</b>	<b>21</b>	

La Tabla 29 muestra la evaluación de las alternativas con respecto a la Alarma.

**Tabla 29:** Evaluación de las alternativas de soluciones respecto al factor Alarma.

Alarma	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6	Sumatoria	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0	0.5	0.5	0.5	3	<b>0.14</b>
Alternativa 2	0.5		0	0.5	0.5	0.5	3	<b>0.14</b>
Alternativa 3	1	1		0.5	0.5	1	5	<b>0.24</b>
Alternativa 4	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	3.5	<b>0.17</b>
Alternativa 5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	3.5	<b>0.17</b>
Alternativa 6	0.5	0.5	0	0.5	0.5		3	<b>0.14</b>
						<b>SUMA</b>	<b>21</b>	

La Tabla 30 las operaciones para determinar la mejor solución.

**Tabla 30:** Determinación de la mejor solución

Conclusiones	Dimensiones	Peso	Alimentación	Almacenamiento	Precios	Alarma	Sumatoria
Alternativa 1	0.17x0.12	0.14x0.12	0.21x0.19	0.14x0.14	0.12x0.2	0.21x0.14	0.1501
Alternativa 2	0.17x0.21	0.14x0.2	0.21x0.17	0.14x0.17	0.12x0.25	0.21x0.14	0.1826
Alternativa 3	0.17x0.10	0.14x0.07	0.21x0.17	0.14x0.21	0.12x0	0.21x0.24	0.1423
Alternativa 4	0.17x0.17	0.14x0.17	0.21x0.17	0.14x0.17	0.12x0.2	0.21x0.17	0.1719
Alternativa 5	0.17x0.21	0.14x0.22	0.21x0.17	0.14x0.17	0.12x0.18	0.21x0.17	0.1833
Alternativa 6	0.17x0.19	0.14x0.22	0.21x0.14	0.14x0.14	0.12x0.18	0.21x0.14	0.1631

### **4.5.2 Elección de la mejor solución**

Una vez establecidos los factores determinantes y sus pesos relativos correspondientes, se presenta una tabla para determinar la alternativa de solución óptima para el dispositivo:

### **4.5.3 Justificación de la Solución**

Después de analizar la Tabla 30 , la alternativa 5 es aquella que cumple mejor con todos los criterios descritos, sus características más versátiles y presenta el soporte de carga computacional adecuado, igualmente su compatibilidad con la plataforma que se utilizará en este caso. Por lo tanto, el dispositivo contará con un giroscopio que tomará los valores de los ángulos y frecuencia en los diferentes ejes de la cola de la vaca, posterior a ello los datos se procesarán y se guardarán en una memoria externa microSD, y la mensajería de alarma al usuario será emitida por un módulo GSM.

## **4.6 Diseño del sistema**

En la **Fig. 20** se observa el diseño del sistema electrónico del dispositivo.

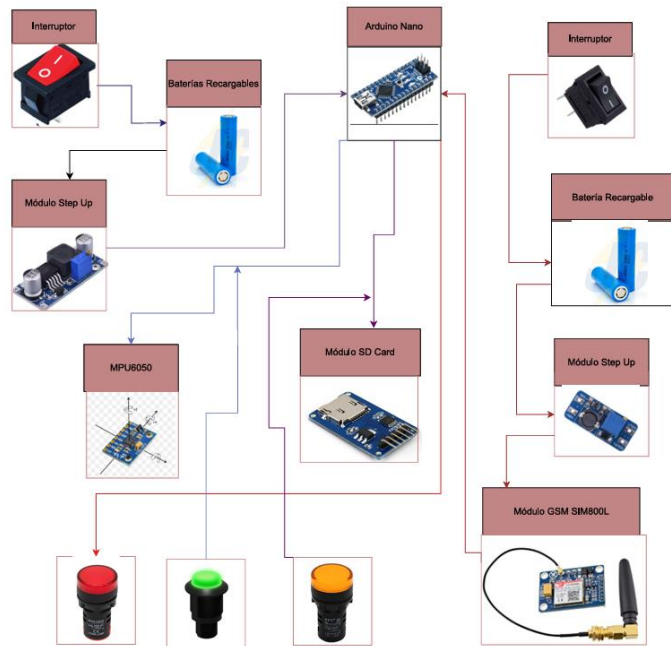


Fig. 20 Diseño del Sistema

#### 4.6.1 Etapas del diseño

A continuación, se representa en la Fig. 21 las etapas del diseño, las cuales demuestran el proceso desde la conceptualización inicial hasta la implementación final.

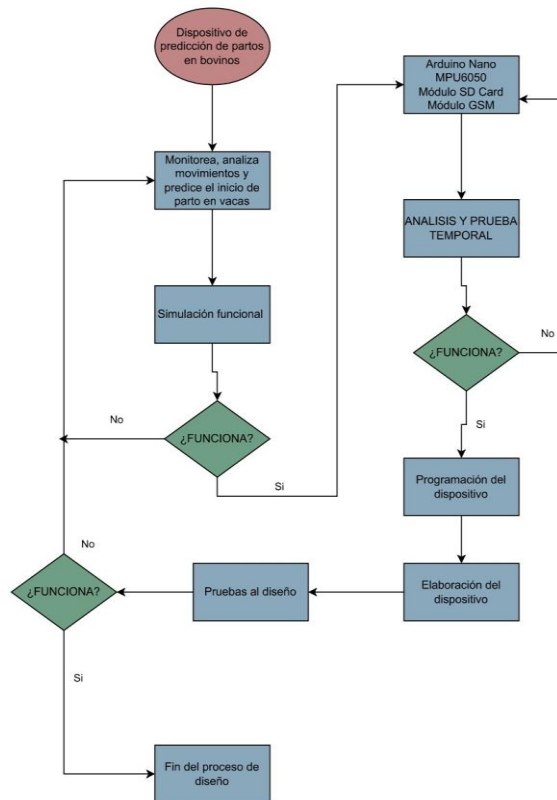


Fig. 21 Etapas del diseño del Dispositivo

## 4.6.2 Diseño del circuito y conexiones

### 4.6.2.1 Microcontrolador

Una vez determinada las funciones del dispositivo, se consideró utilizar el Arduino Nano frente a los otros microcontroladores disponibles en el mercado local. Este microcontrolador tiene una alimentación estándar de 7 a 12VCD.

### 4.6.2.2 Sistema de medición y obtención de datos

Una vez determinado el microcontrolador se procede a elegir los componentes electrónicos compatibles con el microcontrolador elegido, para facilitar la programación en el Arduino IDE. A continuación, en la Tabla 31 se muestra los componentes seleccionados y sus especificaciones técnicas.

**Tabla 31:** Componentes usados en el sistema del dispositivo

Componente	Precio	Cantidad	Características
MPU6050	\$6	1	Voltaje: 3.3 – 5V Corriente: 6mA
Modulo SDCard	\$6	1	Voltaje: 3.3 – 5V Corriente: 80mA
GSM SIM800L	\$13	1	Voltaje: 3.7 – 4.8V Corriente: 2A Sleep mode: <2mA
MT3608	\$5	2	Vout: 5 - 28V Vin: 2 - 24V Iout: 2A
Resistencias	\$0.20	5	R1, R2= 2KOhm R3, R4, R5=330Ohm
Leds	\$0.15	3	5mm de diametro Voltaje: 5V Corriente: 100mA
Switch	\$0.20	2	Soporta hasta: 250VAC Corriente: 3A
Bornera	\$0.25	2	Voltaje máximo: 300V Corriente máxima: 7A



Con estos componentes se procedió a realizar el cálculo de consumo de corriente y voltaje para poder elegir la fuente de alimentación respectiva para el funcionamiento del dispositivo. La Tabla 32 muestra el cálculo de consumo total promedio de energía.

#### 4.6.2.3 Cálculo del consumo total promedio de energía

Se considera los consumos máximos de cada componente:

**Tabla 32:** *Cálculo de consumo de Amperaje*

Nombre	Cantidad	Voltaje c/u	Corriente c/u
<b>MPU6050</b>	1	3.3V - 5V	6mA
<b>Arduino Nano</b>	1	3.3V – 5V	40mA
<b>Módulo microSD Card</b>	1	3.3V – 5V	80mA
<b>GSM SIM800L</b>	1	3.4V ~ 4.4V	1000mA

Cabe mencionar que el módulo GSM SIM800L no compartirá la misma fuente de alimentación con los demás componentes, tendrá una fuente de alimentación extra para su funcionamiento, es decir la fuente de alimentación compartida será entre el microcontrolador, giroscopio y el módulo microSD Card.

Consumo total promedio:  $(6+40+80) = 126\text{mA}$

Tiempo de operación requerido: 24h

Cálculo de capacidad de la batería necesaria:  $126\text{mA} \cdot 24\text{h} = 504\text{mA}$

Capacidad ajustada con un 20-30% de margen adicional: 655.2 mA

Una batería con alrededor de 1200mA disponible en el mercado sería necesaria para que el dispositivo funcione durante más de 24h sin recargar la batería. Tomando en cuenta los valores de consumo mencionados y la disponibilidad en el mercado, se opta por las baterías recargables 18650 de 3.7V a 8800mA mostradas en la **Fig. 22**



**Fig. 22** Baterías recargables 18650

Una vez determinado los componentes, se realiza el esquema electrónico para la elaboración del circuito, tomando en cuenta el mantenimiento y la distribución de los componentes dentro de la carcasa, son razones por las cuales sería útil retirar los componentes con facilidad. Se utilizaron espadines hembras y machos para la conexión de los componentes, como se muestra en la **Fig. 23**

La elaboración del diagrama electrónico se muestra en la **Fig. 23** y **Fig. 24** cuyo plano respectivo se encuentra en los Anexos D.

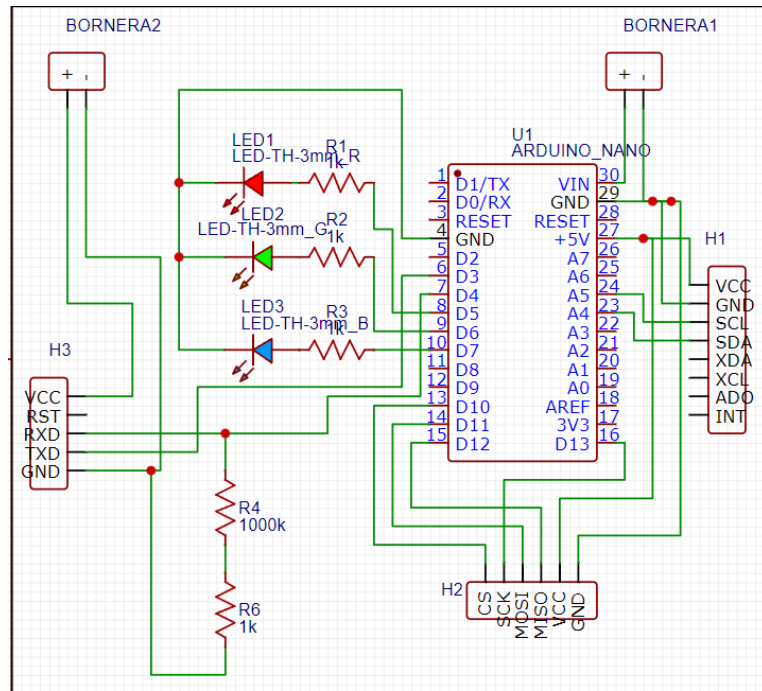


Fig. 23 Esquema del circuito con borneras.

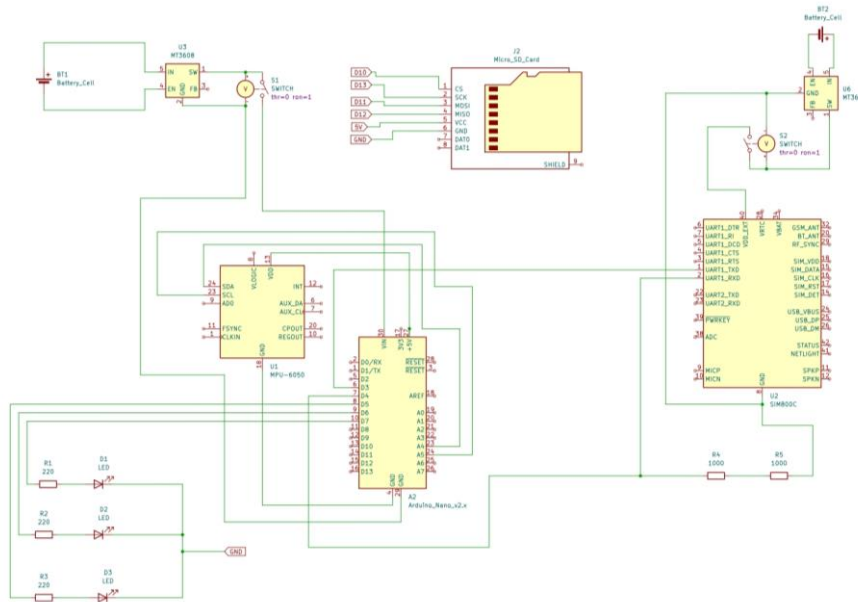
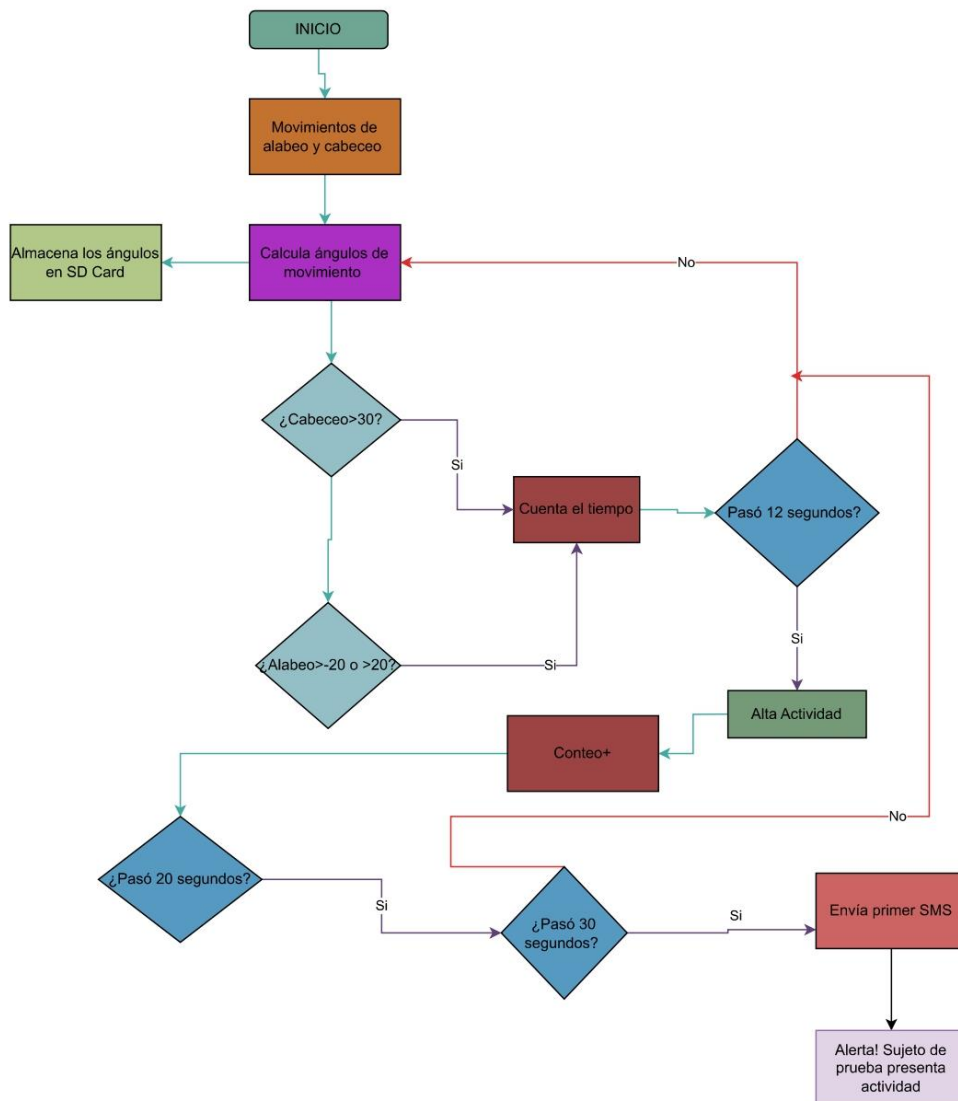


Fig. 24 Diagrama del circuito electrónico

#### 4.6.2.4 Código

Con respecto al código del circuito, se desarrolló en el software del Arduino IDE, para lo cual se realizó previamente un diagrama de flujo que se muestra en la **Fig. 25**

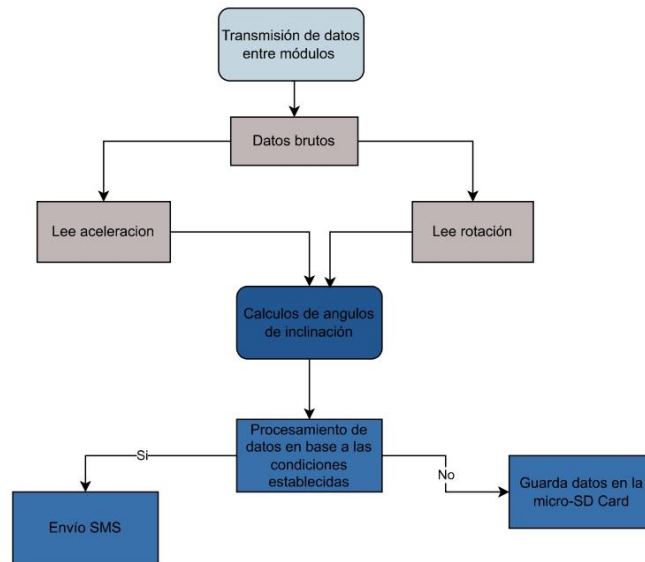
Todo el código se puede observar detalladamente en el Anexo A.



**Fig. 25** Diagrama de flujo del programa.

#### 4.6.2.5 Transmisión de datos

A continuación, se representa en la **Fig. 26** el procedimiento que se realiza durante la transmisión de datos.



**Fig. 26** Diagrama de flujo de transmisión de datos.

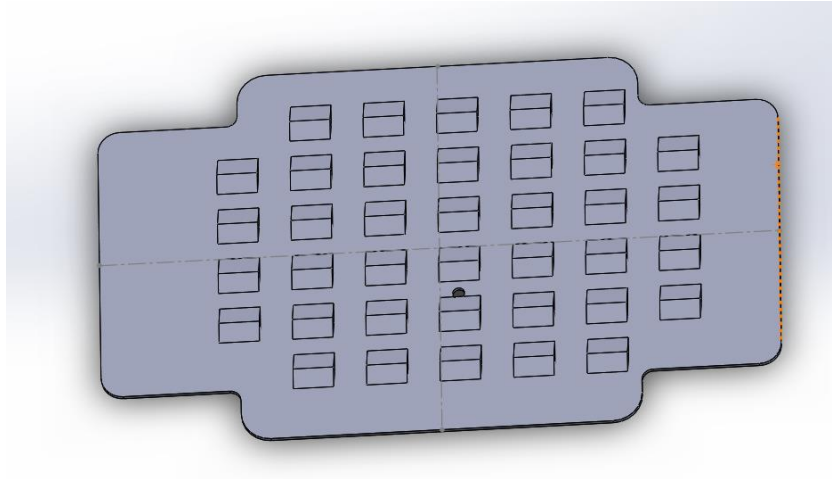
#### 4.7 Diseño de la estructura

Para elaborar la carcasa del dispositivo se utilizó SolidWorks para su diseño y posteriormente ejecutarlas en impresión en 3D. El dispositivo cuenta con varias piezas montables:

##### 4.7.1 Pieza 1

La pieza mostrada en la **Fig. 27** se diseñó para sujetarse firmemente con ayuda de las cintas de velcro y tener un agarre en la cola de la vaca, las partes pequeñas presentan una inclinación de 30 grados, correspondiente a la posición inicial de la cola donde se colocará el dispositivo, de esta manera se minimiza el riesgo de que el dispositivo se desprenda. Dado que esta pieza debe adaptarse alrededor de la cola, se priorizó la flexibilidad en su diseño, por lo que se imprimió utilizando Poliuretano termoplástico (TPU).

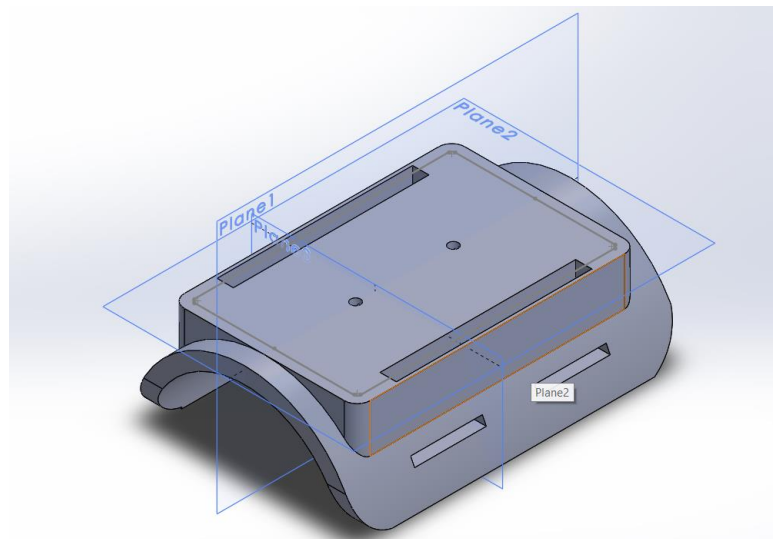
Los detalles técnicos de la impresión se describen en la hoja de procesos ubicado en la parte de Anexos D.



**Fig. 27** Pieza 1.

#### 4.7.2 Pieza 2

La pieza de la **Fig. 28** corresponde a la base del dispositivo, se diseñó de forma curva con el valor de un diámetro similar al de la cola de la vaca, con la intención de acoplarse directamente sobre esta y evitar molestias.



**Fig. 28** Base del dispositivo.

### 4.7.3 Pieza 3

La Fig. 29 corresponde a la caja que fue diseñada para alojar todos los componentes montables, incluso la placa electrónica y las baterías. El módulo SDCard y el GSM SIM800L se colocaron en los laterales de la caja para facilitar el acceso a la memoria microSD y el chip que se utilizó.

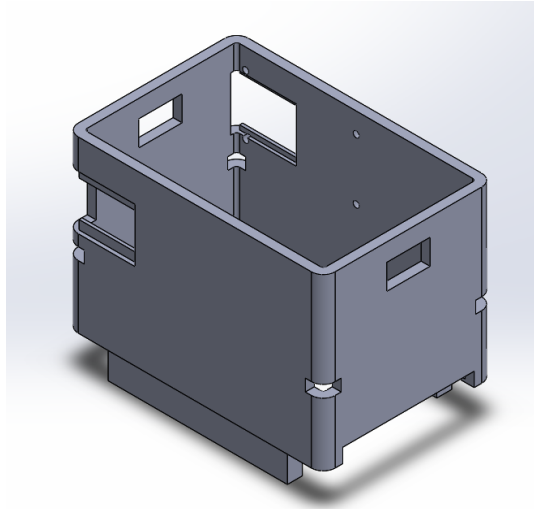


Fig. 29 Caja de componentes.

### 4.7.4 Pieza 4

La Fig. 30 es la tapa que cubre el compartimento destinado a las baterías, ubicado en la parte inferior de la caja.

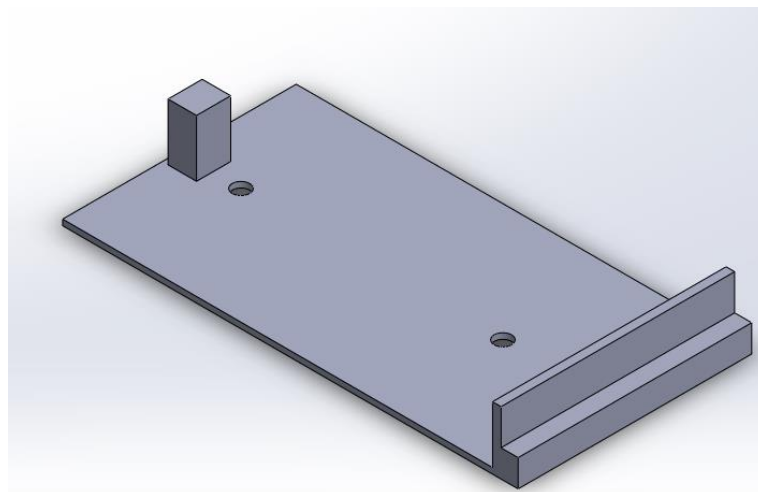
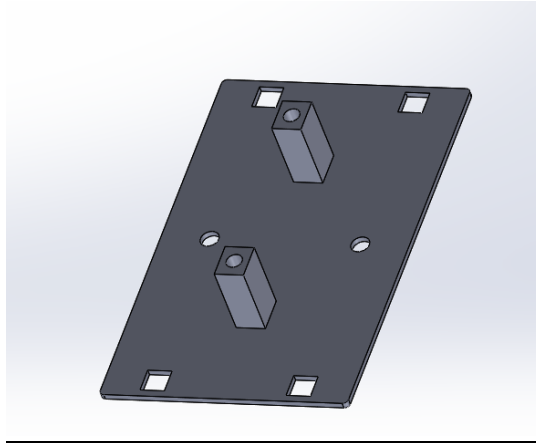


Fig. 30 Tapa de las baterías.

#### 4.7.5 Pieza 5

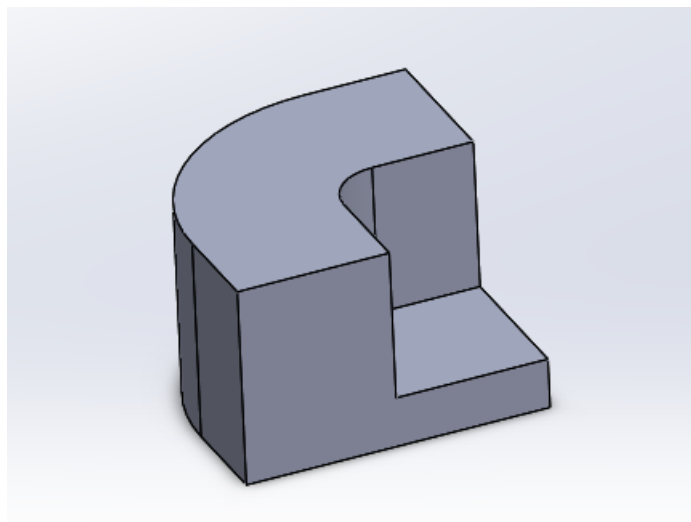
La pieza de la **Fig. 31** actúa como separador entre los componentes electrónicos y las baterías. Dado que las baterías son recargables, el diseño facilita su extracción, permitiendo que sean reemplazadas o recargadas cuando sea necesario.



**Fig. 31** Pieza 4.

#### 4.7.6 Pieza 6

La **Fig. 32** es una pieza se coloca en cada una de las esquinas de la caja, como un soporte para la base donde separa las baterías y la PCB o la baquelita con su respectivo circuito.

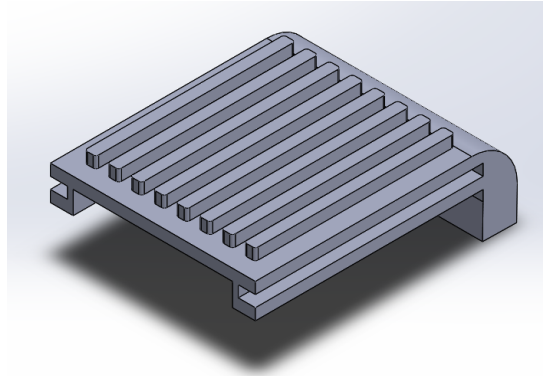


**Fig. 32** Pieza 6.



#### 4.7.7 Pieza 7

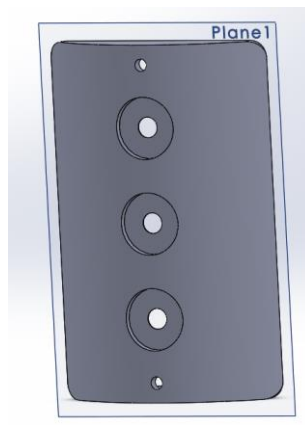
En la **Fig. 33** indica la pieza que se utiliza como una tapa que cubre el espacio destinado para colocar la memoria microSD y el chip 2G ubicadas en la parte lateral izquierda y derecha de la caja.



**Fig. 33** Tapa de la microSDCard y chip 2G.

#### 4.7.8 Pieza 8

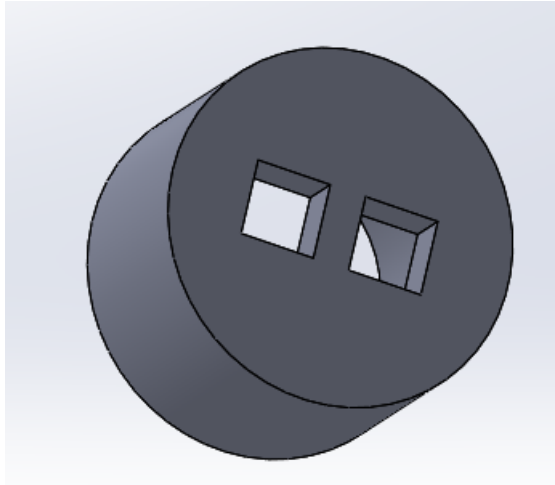
La pieza mostrada en la **Fig. 34** corresponde a la tapa superior de la caja, diseñada con tres orificios para alojar los leds indicadores del estado de encendido y funcionamiento del MPU6050 y Módulo SDCard. Además, posee 2 orificios para su fijación con tornillos, la tapa se ajusta mediante tolerancias mecánicas para garantizar su estabilidad y seguridad.



**Fig. 34** Pieza 8.

#### 4.7.9 Pieza 9

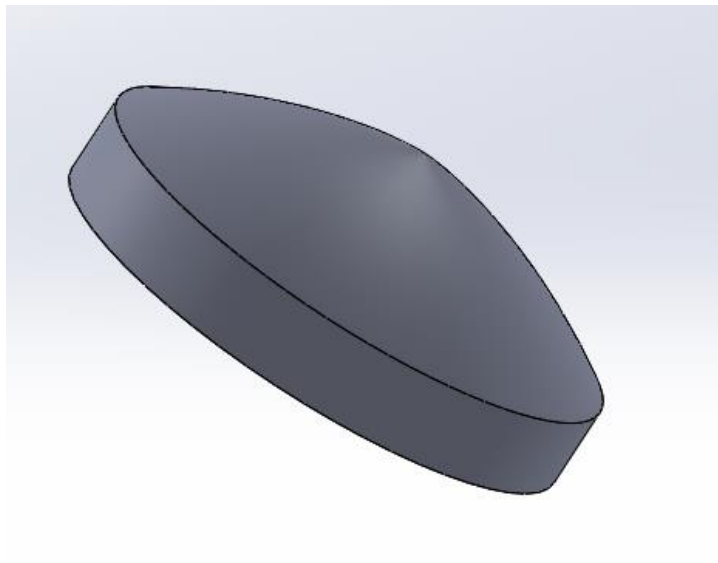
La pieza mostrada en la **Fig. 35** se ubica bajo la tapa superior para ayudar a sostener los leds indicadores.



**Fig. 35** Pieza 9.

#### 4.7.10 Pieza 10

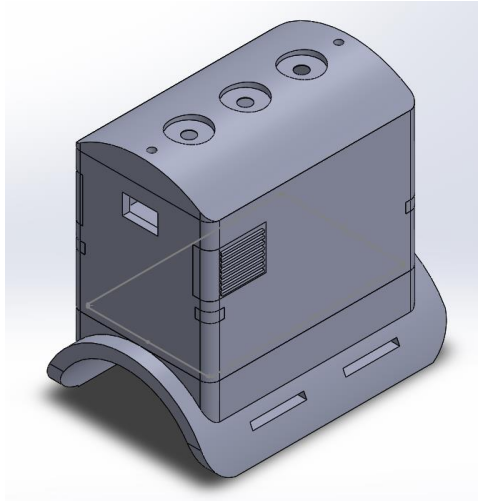
La pieza de la **Fig. 36** se coloca encima de la tapa superior para cubrir los orificios donde se encuentran los leds indicadores.



**Fig. 36** Pieza 10.

#### 4.7.11 Ensamblaje del Diseño CAD

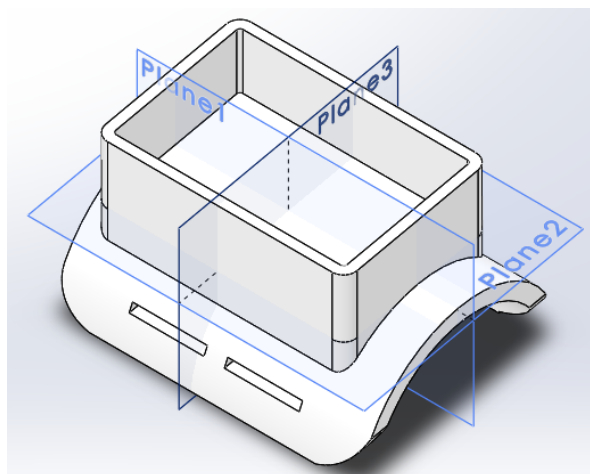
Una vez que todas las piezas estuvieron diseñadas, se procedió al ensamble del dispositivo en SolidWorks como se muestra en la **Fig. 37**. Los parámetros de impresión correspondientes a cada componente se especifican en los Anexos C, mientras que los planos detallados de cada pieza están contenidos en los Anexos D.



**Fig. 37** Ensamblaje de la estructura de la carcasa.

#### 4.8 Pruebas de funcionamiento

Tomando en cuenta la entrevista realizada con los especialistas en comportamiento bovino, se estableció realizar una primera prueba de colocación del dispositivo en la cola de la vaca, para determinar que no cause estrés o algún comportamiento anormal, para ello se elaboró el siguiente diseño mostrado en la **Fig. 38**



**Fig. 38** Carcasa Piloto.



**Fig. 39** Carcasa piloto colocada en la cola de la vaca

#### **4.8.1 Parámetros de impresión 3D**

Dado que el circuito aún no se había instalado, se decidió realizar una impresión con relleno al 100% para que tuviera un peso similar al dispositivo final, con el fin de verificar que no causará molestias en la vaca como se muestra en la **Fig. 39**

#### **4.8.2 Implementación del circuito**

Después de diseñar toda la estructura de la carcasa, se procede a fabricar cada una de las partes. En primera instancia se realizó el circuito en una baquelita perforada, siguiendo el esquema del diagrama de conexiones de la **Fig. 23** y **Fig. 24**

Una vez que se verificó que el circuito funcionaba, se procedió a fabricar las piezas en impresión 3D, para lo cual se utilizó una densidad de relleno del 25% con el material de Ácido Poli láctico (PLA) a excepción de las piezas 1 y 2 que fueron impresas con Poliuretano Termoplástico (TPU).

Como se mencionó anteriormente, el algoritmo se basa en los movimientos de la cola de la vaca previo al parto, especialmente en la etapa de dilatación y expulsión.

En la **Fig. 40** se muestra la vulva distendida, la cual es un parámetro significativo que la vaca está en proceso de parto y el levantamiento de la cola durante un tiempo determinado.



**Fig. 40** Vulva distendida-Inicio de etapa Pre-parto

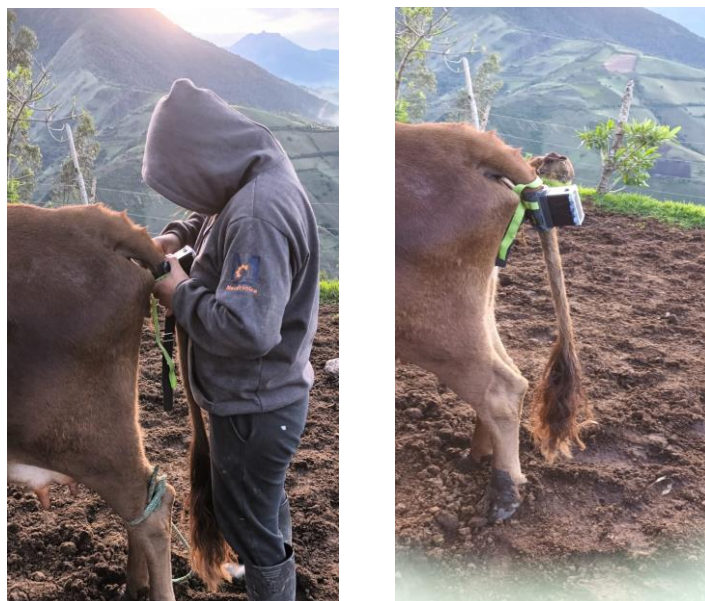
Adicional a ello, se toma en cuenta los siguientes aspectos: Ángulos de elevaciones de la cola (alabeo y cabeceo), numero de elevaciones y tiempo de levantamiento de la cola como se muestra en la **Fig. 41**



**Fig. 41** Inicio de contracciones

### 4.8.3 Resultados de las Pruebas

Para validar el funcionamiento del dispositivo se realizaron dos tipos de pruebas. La primera prueba se realizó en vacas que no están cercanas a un parto para conocer el comportamiento del movimiento de la cola. Los resultados se pueden observar en la siguiente Tabla 33.



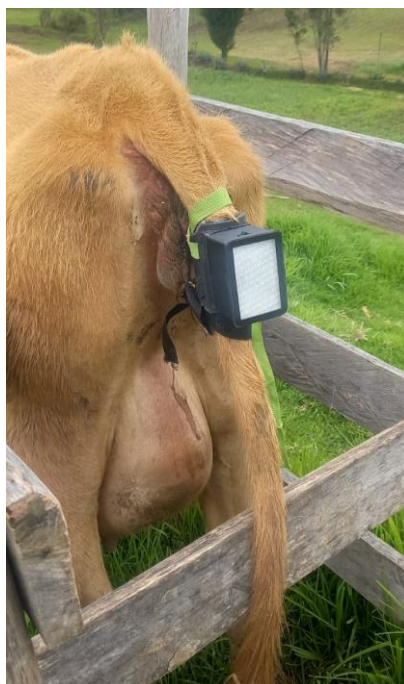
**Fig. 42** Colocación del dispositivo

**Tabla 33:** *Resumen de colocación del dispositivo en vacas sin parto*

<b>Nro. de prueba</b>	<b>Tiempo de colocación</b>	<b>Observaciones</b>
1	1h aprox.	El dispositivo se colocó en una vaca de ordeño, no hubo inconvenientes.
2	3h aprox.	No existió inconvenientes en la colocación del dispositivo.

Una vez determinado el comportamiento de la cola en vacas que no están en la etapa de parto, se procede a verificar el funcionamiento completo del dispositivo como muestra la **Fig. 42**

La segunda prueba se realizó en vacas que se encontraban en la etapa de parto, que mostraban características fisiológicas, indicadoras a un parto cercano, se detallan los resultados en las vacas que se logró emitir la alarma en la Tabla 34 como se indica en la **Fig. 44**

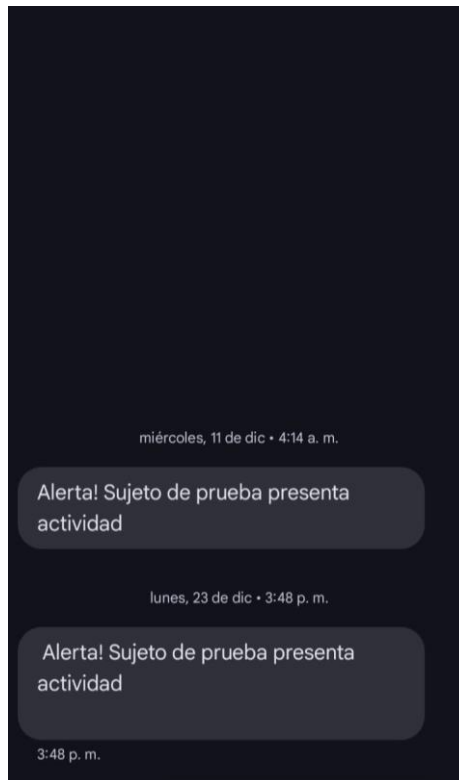


**Fig. 43** Vaca en etapa de parto con el dispositivo colocado.

**Tabla 34:** *Resumen de ensayos con vacas en partos*

<b>Nro. de prueba</b>	<b>Hora de Alarma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Observaciones</b>
1	4:14 am	11/12/2024	Parto exitoso
2	3:48 pm	23/12/2024	Esta vaca de prueba tuvo dificultades al parir, minutos después de la alarma se procedió a ayudarle a la vaca en el parto
3	1:12 pm	14/01/2025	Parto exitoso





**Fig. 44** Mensajería de Alarma del dispositivo.

#### **4.8.4 Análisis de resultados**

Las gráficas que se presentan a continuación muestran la evolución de las etapas del parto bovino a través de los movimientos de alabeo y cabeceo de la cola de la vaca. Se tomaron datos de 2 muestras por segundo, permitiendo así un análisis más detallado del comportamiento en las tres etapas: Preparto, Parto y Postparto.

El eje X está representado por la cantidad de muestras durante un intervalo de 1h aproximadamente, este tiempo fue seleccionado ya que mostró fluctuaciones significativas que describen las variables de monitoreo seleccionadas durante las 3 etapas.

Por otro lado, en el eje Y muestra los valores de ángulos en los diferentes movimientos. A través de estos valores, se puede observar cómo varían estos indicadores durante este proceso, proporcionando información sobre los cambios fisiológicos y distinción en el comportamiento en vacas que no se encuentran en proceso de parto en un ambiente de pastoreo libre.

En general las gráficas reflejan patrones de movimientos suaves y continuos, asociados a la actividad de pastoreo libre y movimientos más pronunciados refiriéndose a un



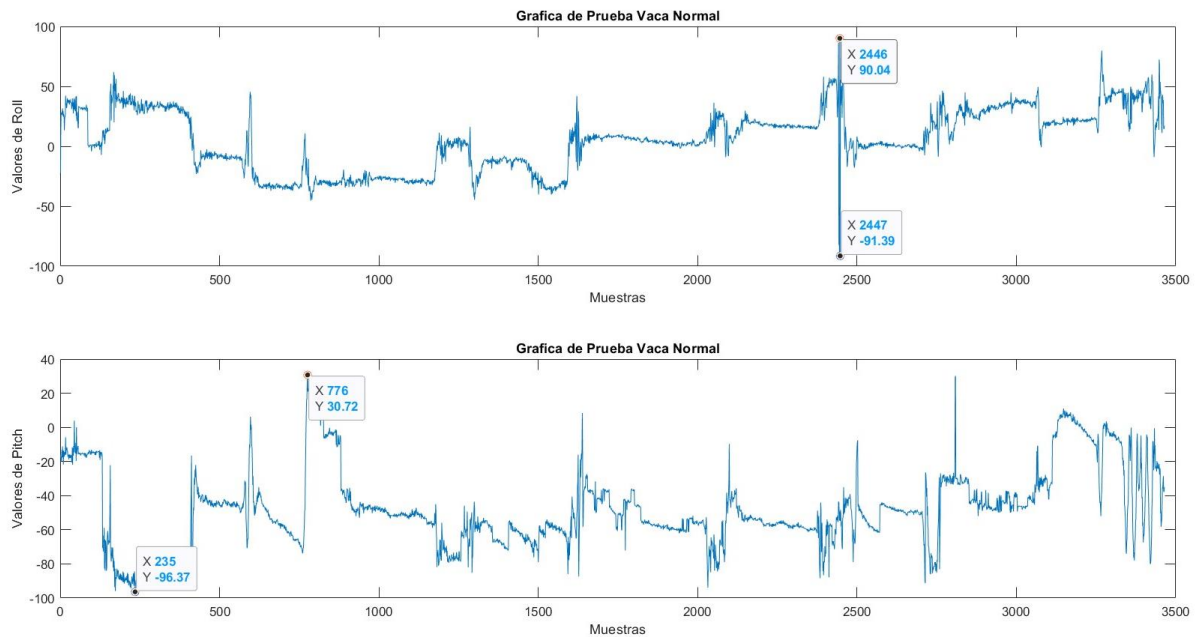
comportamiento más agitado causados por la interacción con otros animales o cuando la vaca se prepara para defecar.

La **Fig. 45** muestra los movimientos de alabeo y cabeceo de la cola de la vaca en condiciones normales de pastoreo libre y su interacción con el entorno.

En base al sistema de referencia mostrado en la **Fig. 39** se determina que la posición inicial o de reposo de la cola de la vaca en pitch(cabeceo) se encuentra en un rango de -50 a -90 considerando que en su fase de alimentación la vaca recorre terrenos con pendientes elevadas.

En alabeo se presentan movimientos continuos con baja amplitud, refiriéndose así a valores negativos como movimientos hacia el lado izquierdo y valores positivos hacia la derecha, indicando un comportamiento estable de roll(cabeceo) en un valor de  $<-25$  a  $<25$  durante 3 minutos o más, además se puede observar en la muestra 2446 picos de alta amplitud con valor de roll 90.04 y -91.39 asociados a episodios de incomodidad de la vaca como la molestia causada por la presencia de los mosquitos en su lomo, o valores menores de  $>10$  y  $<15$  como la muestra 1599 con una duración de 4 a 8 segundos mostrando así, una conducta incomoda debido al contacto con factores externos como ramas o arbustos o con otros animales.

En cabeceo, se observa movimientos continuos con pequeñas fluctuaciones y de baja amplitud, además se presentan picos de movimientos considerables con valores de  $<6$  que disminuyen inmediatamente y mantienen en un valor de -40 a -60 durante 1, 2, o mayores a 3 minutos correspondiente al desplazamiento de diferentes potreros con altas pendientes. Los picos de movimientos intensos como la muestra 776 indica un valor de 30.72 que disminuye progresivamente en un periodo de 11 segundos o menos indicando que la vaca presenta necesidades para defecar.



**Fig. 45** Medición experimental de vacas en pastoreo libre

En la **Fig. 46**, **Fig. 47** y **Fig. 48** muestra los movimientos de la cola de la vaca durante las tres etapas. Las gráficas están separadas en diferentes rangos correspondiente al comportamiento en cada una de estas.

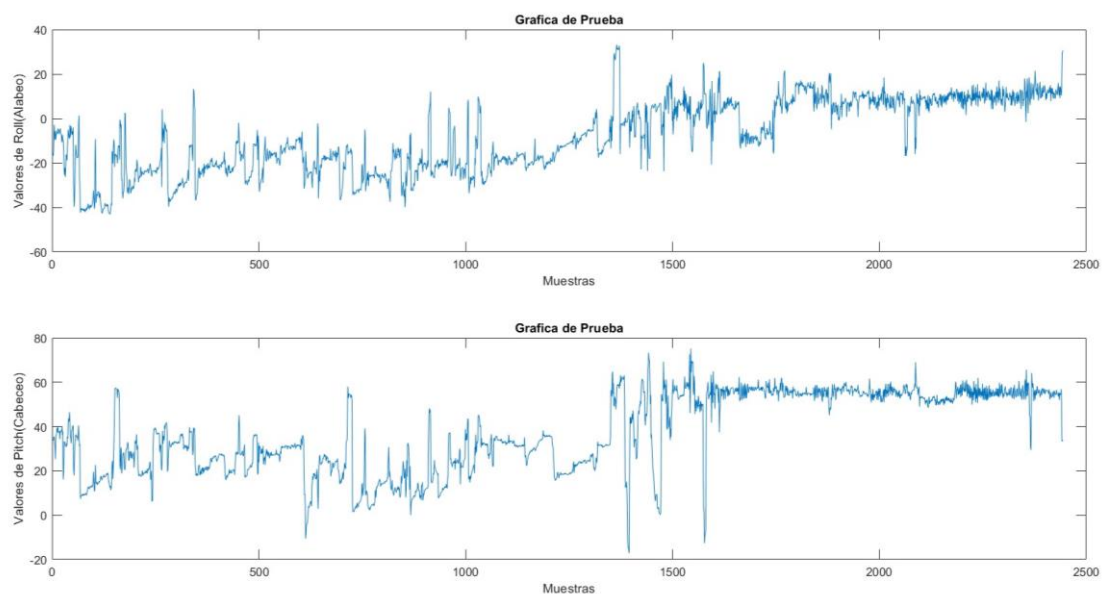
Durante la fase de preparto en los movimientos de cabeceo se observa picos de mayor amplitud y frecuencia en comparación con las etapas de parto y postparto. El aumento de la frecuencia en pitch(cabeceo) indica que la vaca está levantando la cola con movimientos más rápidos y frecuentes, mostrando valores de  $>40$  y  $<60$  grados con una duración de 5 segundos o más y valores de  $>30$  y  $<40$  con una duración de más de 15 segundos, lo que sugiere que la vaca se encuentra con contracciones uterinas antes del parto. En los movimientos de alabeo refleja que la cola de la vaca se mantiene al lado izquierdo, mostrando valores constantes de  $-5$  a  $-30$  con fluctuaciones elevadas instantáneas de  $>-30$  y  $<-40$  durante el lapso de esta fase.

En la fase del parto, los movimientos de alabeo se mantienen constantes en un rango de  $>8$  y  $<20$  grados con duración de 5 minutos o más.

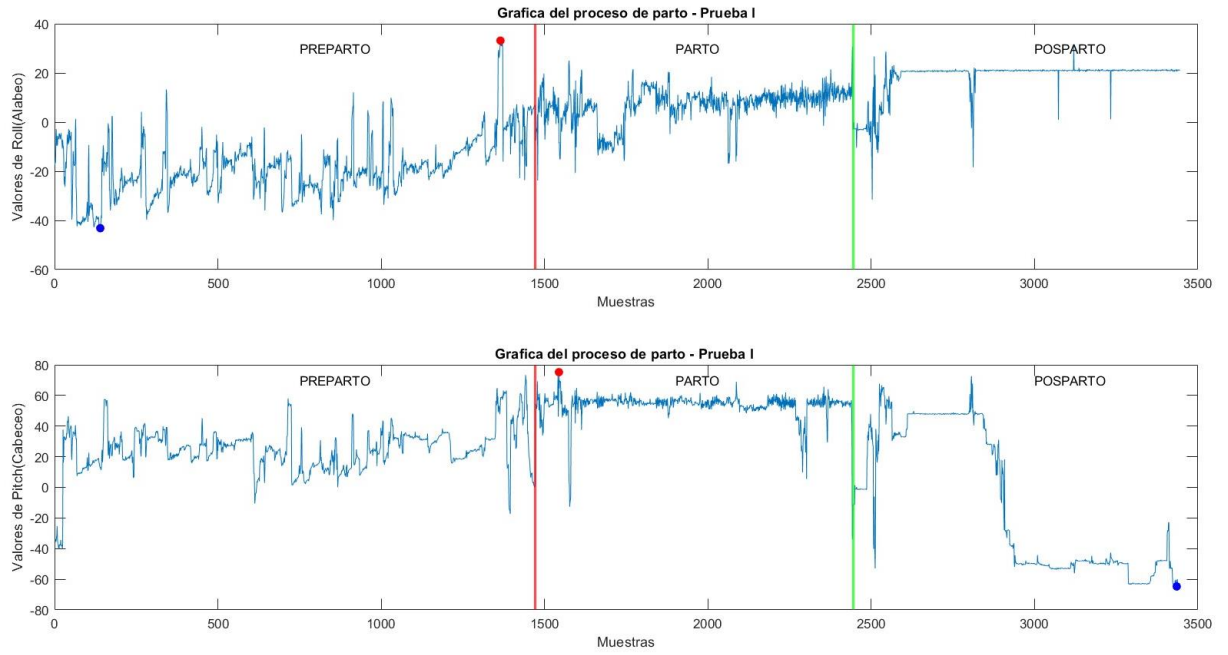
En esta fase, los movimientos de cabeceo se caracterizan por una menor frecuencia y amplitud. Durante esta fase los picos son menos frecuentes, lo que indica que la cola de la vaca se mantiene arqueada en el valor de  $>60$  y  $<80$  grados durante 8 minutos o más, reflejando que está en la etapa de expulsión del ternero.

En la fase del postparto indica un pico instantáneo hacia abajo, posterior a ello mantiene un patrón más estable, indicando que, tras la expulsión del ternero, la vaca comienza a lamer al ternero para limpiarlo y la cola regresa a su posición inicial de -64.72 grados, siendo el valor mínimo de pitch durante el proceso, luego de ello, en la muestra 2525 presenta un pico de elevada amplitud de 66.63 grados relacionado con las contracciones de postparto para la expulsión de la placenta, por lo que se mantiene estable en un valor de pitch de  $>45$  y  $<50$  durante 1 minuto o más . Posteriormente inicia nuevamente con un comportamiento estable que indica que la vaca comienza a comer alrededor de su cría.

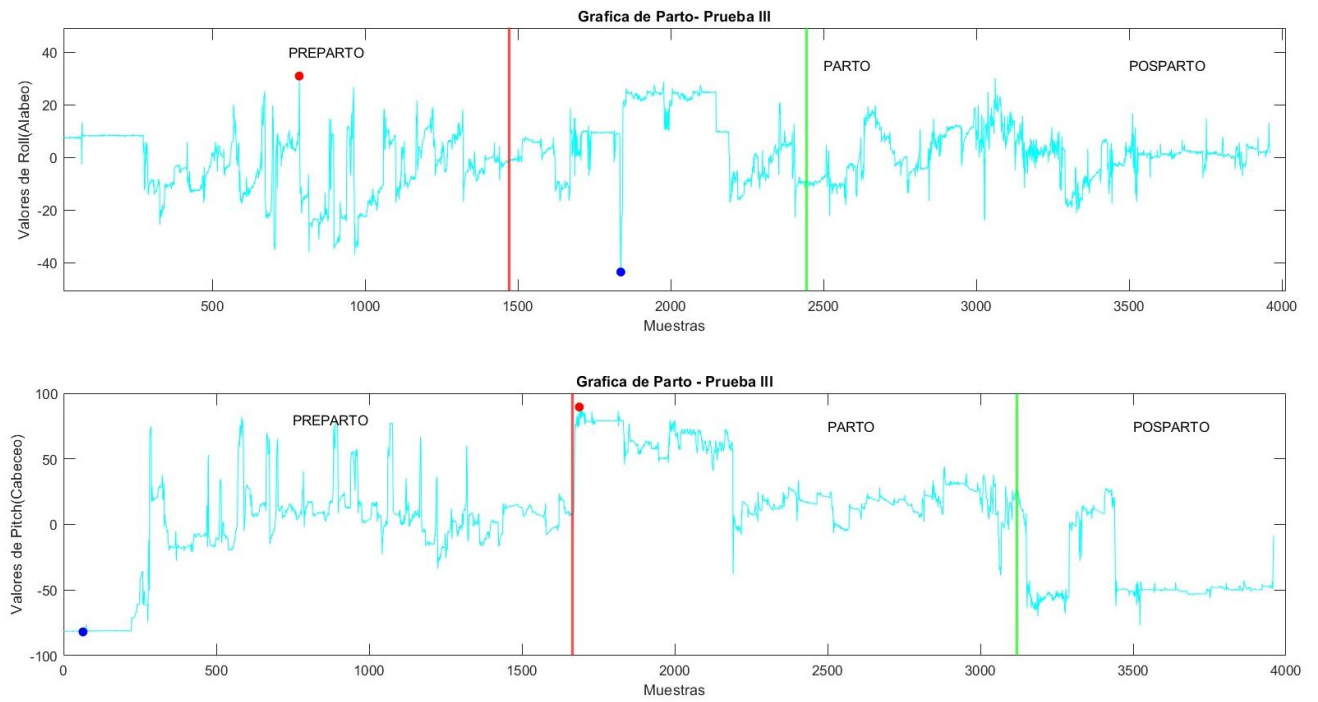
También la **Fig. 47** muestra que el valor máximo y mínimo en alabeo corresponde a la etapa de preparto; en cabeceo, el valor máximo en parto y valor mínimo en postparto.



**Fig. 46** Medición experimental de los ángulos de movimiento en una vaca con síntomas de parto.



**Fig. 47** Comportamiento de las tres fases: Preparto, Parto, Postparto.



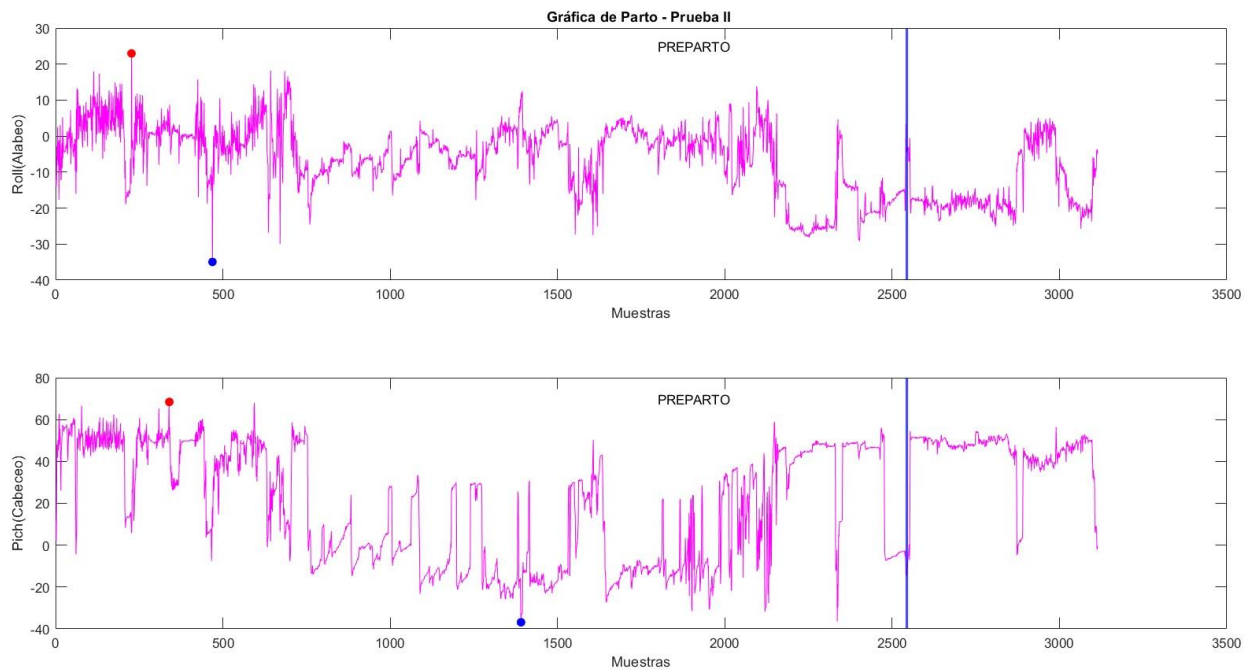
**Fig. 48** Comportamiento de parto- Sujeto III.

La **Fig. 49** muestra el comportamiento preparto de la vaca, aquí se muestra mayores fluctuaciones en un periodo más frecuente.

En alabeo, inicialmente presenta grandes fluctuaciones con una duración de 1,2 o 3 segundos con valor de  $<-6$  y  $<18$ ; posteriormente se presenta fluctuaciones que varían de  $<-6$  y  $<5$  grados durante las contracciones uterinas. El punto rojo en alabeo indica un valor máximo de 22.97 grados, el punto azul indica el valor mínimo de -34.96 grados.

En movimiento de cabeceo presenta un valor máximo de 68.42 grados (punto rojo) y el valor mínimo de -36.85 grados (punto azul).

En la **Tabla 35** muestra el registro de las contracciones más significativos en cabeceo(pitch) y su duración durante la fase de preparto.



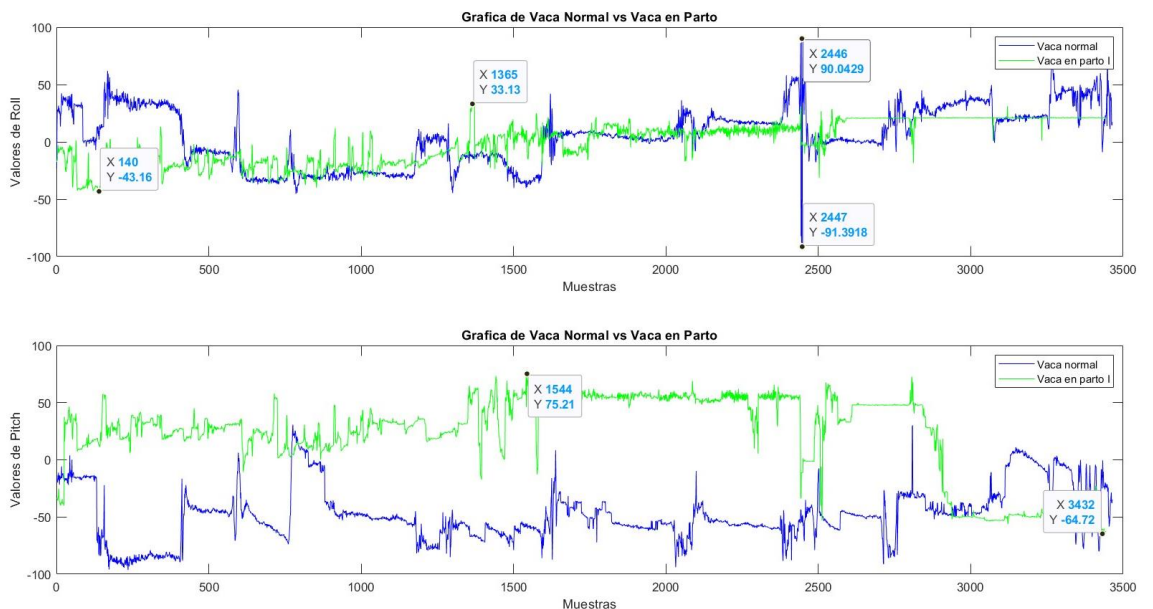
**Fig. 49** Comportamiento Preparto en sujeto de prueba 2.

**Tabla 35:** Resumen de contracciones

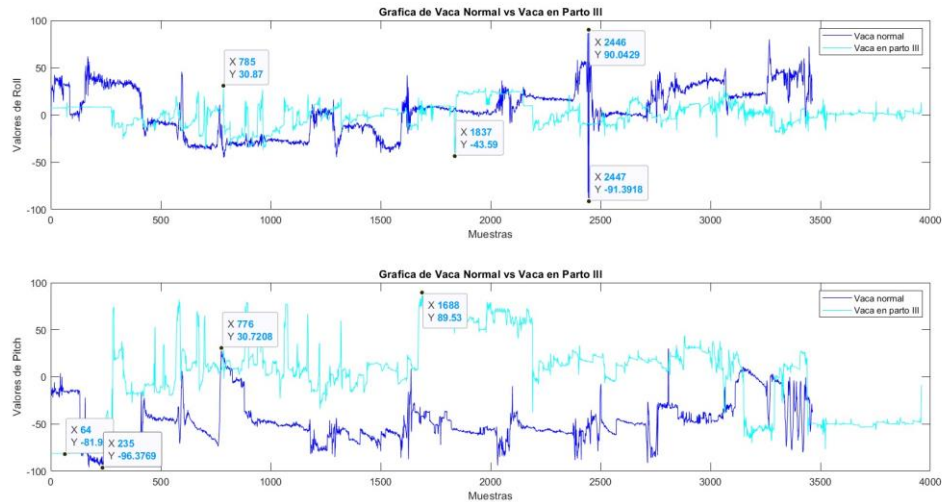
<b>Valores de cabeceo (grados)</b>	<b>Tiempo(minutos)</b>
40 a 60	0:28
30 a 60	1:10
30 a 40	0:03
30 a 68	0:55
30 a 50	0:38
30 a 40	0:06
30 a 60	1:12
40 a 45	0:04
30 a 35	0:02
40 a 50	0:24
30 a 35	0:06
30 a 40	0:05
35 a 40	0:06
30 a 35	0:05
30 a 50	0:07
30 a 45	0:05
45 a 55	0:06
30 a 45	0:14
30 a 50	1:09
45 a 55	1:02
45 a 55	2:39
30 a 55	1:47

En la **Fig. 50** y **Fig. 51** muestran la comparación que existe en el comportamiento de una vaca normal frente a una vaca en proceso de parto. Se observa una diferencia significativa en la frecuencia de los movimientos bruscos que existe en los ángulos de cabeceo. En las vacas en estado normal (color azul), la frecuencia en sus cambios bruscos es relativamente baja mostrando una amplitud de 5 a 10 grados, el valor más alto es de 30.72 mostrando un comportamiento de molestia causada por factores externos, pero va disminuyendo poco a poco hasta su posición inicial.

En las vacas durante el proceso de parto existe mayor frecuencia de movimientos abruptos, la vaca eleva la cola en ángulos desde 50 a 80 grados y en vacas en estado normal presenta valores altos de elevación de la cola solo cuando presenta incomodidad por factores externos, pero los valores más altos son de 20 a 30 grados.



**Fig. 50** Comparación de Vaca Normal y en Parto.



**Fig. 51** Comparación de parto en vaca normal y parto III

En la

**Fig. 52** y **¡Error!** No se encuentra el origen de la referencia. se observa el comportamiento de dos sujetos de prueba durante el todo el proceso de parto. Ambas muestras presentan patrones de movimientos similares, se destacan ciertas diferencias en su comportamiento.

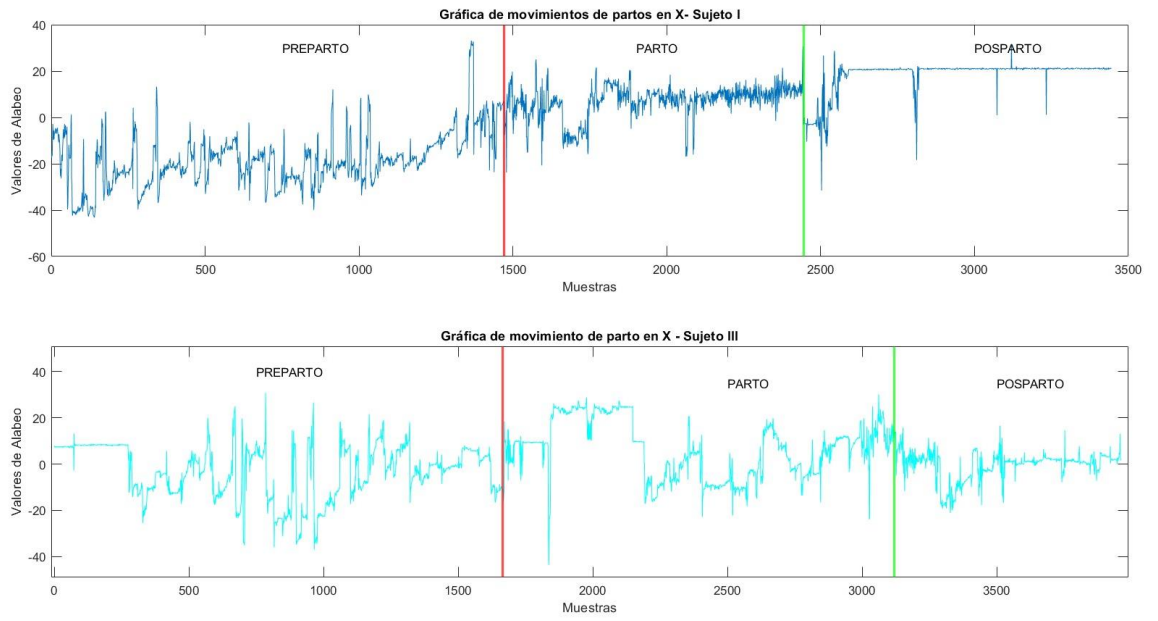
Durante la etapa de preparto, los ángulos de cabeceo oscilan dentro de un rango de valores entre 40 a 80 grados con una actividad constante.

En la etapa de parto, se observa una reducción en la intensidad de los picos de movimiento de la cola en comparación con la etapa de preparto. Durante esta fase, los ángulos de cabeceo mantienen una amplitud más pequeña, cuyos valores se encuentran entre 40 a 60 grados, durante un periodo de tiempo prolongado y constante.

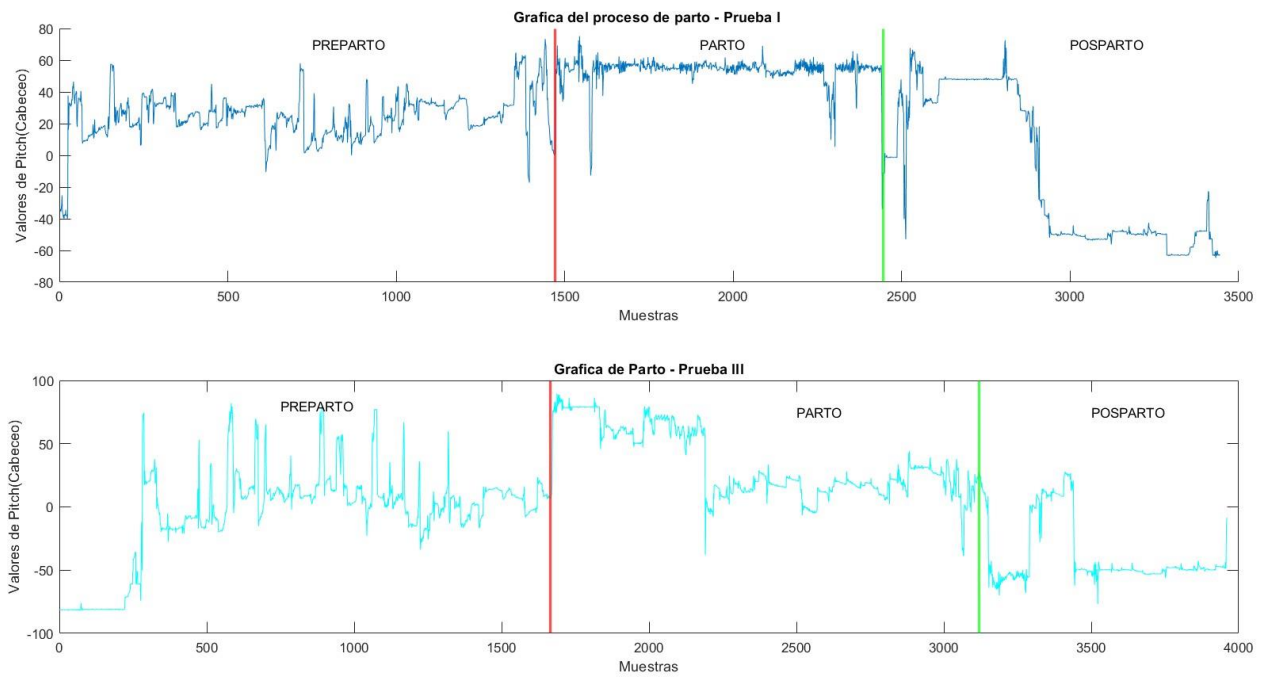
Finalmente, en la etapa de postparto, muestran una tendencia a regresar a la postura inicial. Los ángulos de cabeceo se estabilizan dentro de un rango de valores de -60 a -80 grados, cuyos valores sugieren que la vaca se comienza a adaptar a la alimentación y su interacción con el entorno.

Es importante resaltar que, en base a este comportamiento, muestra que en el proceso de parto tiene una duración aproximada de 15 a 25 minutos para cumplir la expulsión del ternero.





**Fig. 52** Comparación de partos en Alabeo.



**Fig. 53** Comparación de partos en Cabeceo.

Las **Fig. 54** y **Fig. 55** indica la expulsión del ternero en la fase de postparto donde se observa la expulsión de la placenta.



**Fig. 54** Vaca en fase de expulsión de la placenta con su cría.



**Fig. 55** Vaca con su cría - Etapa de Posparto

## CONCLUSIONES

Mediante la investigación y la entrevista con los especialistas se logró determinar que los parámetros más determinantes durante la fase de parto en un bovino son: el aumento de temperatura corporal, pérdida de apetito, vulva distendida, comportamiento antisocial frente a otros bovinos, llenado de las ubres, los movimientos de alabeo y cabeceo de la cola de la vaca en intervalos de tiempo considerados y diferentes comportamientos fisiológicos de la vaca.

El estudio de las diferentes alternativas de solución permitió la realización de un diseño que permitió integrar eficientemente los diferentes componentes y la facilidad para colocar los componentes como el chip y la memoria microSD.

El desarrollo de la carcasa del dispositivo se llevó a cabo con éxito, logrando una adaptación a la morfología de la cola de la vaca, utilizando materiales resistentes a diferentes cambios climáticos, para ensamblar los componentes de manera robusta y funcional.

Con el fin de validar el funcionamiento del dispositivo se llevaron a cabo las pruebas en vacas preñadas y el análisis del comportamiento de los movimientos de alabeo y cabeceo durante el periodo de transición. Durante las pruebas, el dispositivo emitió la alarma en 3 sujetos de prueba.

## **RECOMENDACIONES**

Se sugiere continuar con la optimización del dispositivo y añadir un sistema GPS que permita localizar al bovino para brindarle atención médica inmediata si es que lo requiere.

Considerar la implementación de fuentes de energía alternativas, como paneles solares, para aumentar la autonomía del dispositivo en el campo. Esto permitirá una operación continua sin la necesidad de reemplazos frecuentes de baterías.

Ampliar la base de datos de comportamiento y parámetros de los animales, incluyendo diferentes razas y condiciones ambientales.

Previo al uso del dispositivo, se recomienda colocar un chip en base a la operadora que funcione en la zona donde se lo implementará.

## REFERENCIAS:

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Ecuador es pionero en la promoción de prácticas de Ganadería Climáticamente Inteligente,” *FAO*, Mar. 2017.

[2] Gobierno Provincial de Imbabura, “CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE CONSULTORÍA DE LA AGENDA PRODUCTIVA DE LA PROVINCIA DE IMBABURA.” Imbabura, Feb. 2021.

[3] G. y P. Ministerio de Agricultura, *Manual de Buenas Prácticas de Ganadería Bovina para la Agricultura Familiar*. 2012. [Online]. Available: [www.fao.org](http://www.fao.org)

[4] I. R. Héctor Uribe M. y Francisco Lanuza A., “Manual de Producción de Leche para Pequeños y Medianos Productores.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7073/NR33843.pdf?sequence=17&isAllowed=y>

[5] Mel DeJarnette and Dr. Ray Nebel, “Anatomía y Fisiología de la Reproducción Bovina.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/inseminacion\\_artificial/97-fisiologia.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/97-fisiologia.pdf)

[6] J. Hernández Cerón *et al.*, “Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros.”

- [7] Kevin Gonzalez, “Anatomía y Fisiología Reproductiva de la Vaca,” *ZooVet*, Mar. 2016, Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://zoovetempasion.com/ganaderia/reproduccion-bovina/anatomia-fisiologia-reproductiva-de-la-vaca>
- [8] Kevin Gonzalez, “Anatomía y Fisiología Reproductiva de la Vaca,” Mar. 2016.
- [9] Unión Ganadera Regional de Jalisco, “Características reproductivas de la vaca lechera”.
- [10] Mancheno Herrera Carlos Andrés, *Principios de Fisiología Reproductiva Animal*. 2022. Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-135653-L2022-028.pdf>
- [11] Sepúlveda Varas Pilar and Wittwer Menge Fernando, “Periodo de transición: Importancia en la salud y bienestar de vacas lecheras”.
- [12] P. E. Leva *et al.*, “BIENESTAR EN VACAS EN EL PREPARTO DURANTE EL VERANO 2014 EN EL DEPARTAMENTO CASTELLANOS. ESTUDIO DE CASO,” *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*, vol. 15, no. 1, p. 2016.
- [13] Dra. Fabia Fernandez, “BIENESTAR Y SALUD ANIMAL.”
- [14] Urrutia Juan, Insaugarat Juan Ramón, and Moscuza Carlos Hernán, “Complicaciones del parto y postparto de la hembra bovina.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available:

<https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/f8547869-8ca3-4c22-92b1-55c41015a238/content>

[15] Norman Miguel Sandoval Z., “CRIANZA DE BOVINOS CRIANZA DE BOVINOS Guía de Prácticas.”

[16] Herrera Conegliano Oscar Ariel, “Comportamiento en pastoreo del ganado bovino criollo”.

[17] C. A. Henao, V. Celia, R. Briggiler, J. Alfonso, and A. Martínez, “Ganadería de precisión en vacuno de carne Precision livestock farming in beef cattle,” 2020.

[18] A. Tech, A. Silva, and C. EJX Costa, “MONITORIZACIÓN DE REBAÑOS DE BOVINOS A TRAVÉS DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR BOVINE HERD MONITORING,” 2009.

[19] J. A. Ruiz, S. Universidad, and S. T. De Aquino, “MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS.”

[20] Juan Manuel Lomillos Pérez, Marta Elena Alonso de la Varga, Juan José García, and Vicente Ramiro Gaudioso Lacasa, “Monitorización del ganado lidia con tecnología GPS-GPRS; estudio del comportamiento en pastoreo y la distribución espacial,” *Scielo*, vol. 4, Dec. 2017.

[21] F. J. Lara Hurtado, J. Fernández Lozano, and R. Vázquez-Martín, “Una red de sensores inalámbrica basada en hardware y software abierto para colaboración con aplicaciones de robótica a misiones de

búsqueda y rescate,” Universidade da Coruna, Aug. 2019, pp. 735–740. doi: 10.17979/spudc.9788497497169.735.

[22] CAMPO MARKET, “Orejas Electronicas.” Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: [https://campomarket.com/tienda/id\\_electronica/orejas-electronicas/?v=3fd6b696867d](https://campomarket.com/tienda/id_electronica/orejas-electronicas/?v=3fd6b696867d)

[23] AGRI-EXPO, “Microchip subcutáneo para bovinos.” Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.agriexpo.online/es/prod/wuxi-fofia-technology-co-ltd/product-172783-9272.html>

[24] ZOODATA, “BOLO INTRARUMINAL.” Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.zoodata.com/zoodata/bolo-intraruminal/>

[25] E. Vicente and V. Herrera, “SISTEMA MECATRÓNICO PARA COBERTORES DE PISCINA O SECADO DE GRANO.”

[26] J. Salazar, “REDES INALÁMBRICAS.” [Online]. Available: <http://www.techpedia.eu>

[27] J. Luque Ordóñez, “Dispositivos y tecnologías wearables,” 2016.

[28] J. C. P. b, F. B. J. c, R. B. do R. d, K. V. R. e y J. F. Á. de T. f. Lubna Dani Abdellah a, “Tecnología wearable y monitorización de variables de salud a través de elementos portables,” 2017, Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/92451662/Tecnolog%C3%ADa\\_wearable\\_y\\_m](https://www.academia.edu/92451662/Tecnolog%C3%ADa_wearable_y_m)



onitorizaci%C3%B3n\_de\_variables\_de\_salud\_a\_trav%C3%A9s\_de\_lem  
entos\_portables

[29] N. C. Kirchner, D. Filmus, M. Rosa Almandoz, and J. M. Kirschenbaum, "Microprocesadores y microcontroladores."

[30] Organizacion de los Estados Americanos(OEA), *Principios Actualizados sobre la Privacidad y la Protección de Datos Personales*. 2022.

[31] Fco. J. M. Enrique Santiso, "2.0 SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS\_v3".

[32] Lopez Patricia, "Desarrollo de sistemas de tiempo real basados en componentes utilizando modelos de comportamiento reactivo.," 2010.

[33] Moocall, "Calvin sensor- User Guide," 2016. [Online]. Available: [www.moocall.com/register](http://www.moocall.com/register),

[34] J. Hidalgo-Arias, "Implementación de un prototipo de alarma de parto bovino para la nca Jaicar," *Revista Tecnología en Marcha*, Dec. 2019, doi: 10.18845/tm.v32i8.4569.

[35] SmartVel, "Un sistema que se adapta a sus necesidades con dos versiones de SmartVel."

[36] Jorge A. Vázquez-Diosdado, Julien Gruhier, G.G. Miguel-Pacheco, Martin Green, Tania Dottorini, and Jasmeet Kaler, "Accurate prediction of calving in dairy cows by applying feature engineering and machine learning," *ScienceDirect*, vol. 219, Oct. 2023.

[37] Stefanie Krieger *et al.*, “An ear-attached accelerometer as an on-farm device to predict the onset of calving in dairy cows,” *ScienceDirect*, vol. 184, pp. 190–199, Aug. 2019.

[38] Stefanie Krieger, Georg Sattlecker, Florian Kickinger, Wolfgang Auer, Marc Drillich, and Michael Iwersen, “Prediction of calving in dairy cows using a tail-mounted tri-axial accelerometer: A pilot study,” *ScienceDirect*, vol. 173, pp. 79–84, Sep. 2018.

[39] C.J. Rutten, C. Kamphuis, H. Hogeveen, K. Huijps, M. Nielen, and W. Steeneveld, “Sensor data on cow activity, rumination, and ear temperature improve prediction of the start of calving in dairy cows,” *Science Direct*, vol. 132, pp. 108–118, Jan. 2017.

[40] C. F.-T. A. B. W. H. A.L. Voß, “Sensitivity and specificity of a tail-activity measuring device for calving prediction in dairy cattle,” *ScienceDirect*, vol. 104, no. 3, pp. 3353–3363, Mar. 2021.

[41] M.J. García García, F. Maroto Molina, C.C. Pérez Marín, and D.C. Pérez Marín, “Potential for automatic detection of calving in beef cows grazing on rangelands from Global Navigate Satellite System collar data,” *ScienceDirect*, vol. 17, no. 8, Aug. 2023.

[42] K. Koyama *et al.*, “Prediction of calving time in Holstein dairy cows by monitoring the ventral tail base surface temperature,” *ScienceDirect*, vol. 240, pp. 1–5, Oct. 2018.

[43] R. Hernández, “Metodología de la investigación”.

[44] E. Esther and G. Echenique, “Metodología de la Investigación.” [Online]. Available: <http://www.continental.edu.pe/>

[45] “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 MPU-6000/MPU-6050 Product Specification,” 2013.

[46] “MPU-9250 Product Specification Revision 1.1 MPU-9250 Product Specification.”

[47] “Arduino® UNO R3.”

[48] “A000005: ARDUINO NANO.” [Online]. Available: <http://www.agelectronica.com>

[49] Lopez Aldea Eugenio, *Raspberry Pi Fundamentos y aplicaciones*. 2017. [Online]. Available: <https://yolibrospdf.com/electronica.html>

[50] “ESP32 Series Datasheet 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth ® + Bluetooth LE SoC Including,” 2024. [Online]. Available: [www.espressif.com](http://www.espressif.com)

[51] Espressif, “ESP8266EX,” 2006. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/subscribe>.

[52] “STM32F10x portfolio 72 MHz Cortex-M3 CPU-wide selection of devices.”

[53] “Preliminary Specification Number : SP-ABZ-K LoRa Module Data Sheet For LoRa TM.”

[54] Arduino, “Guía de Referencia de Arduino.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>

[55] “Módulo de Tarjeta SD: Cómo usar este modulo con Arduino.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.murkyrobot.com/guias/otros/modulo-de-tarjeta-sd>

[56] AV Electronics, “Módulo Lector Micro SD.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-micro-sd/?srsltid=AfmBOopOoYruGD-49tllmkZy43FVFJNQGQpbuNZl38IZcyWiwwADSfsr>

[57] PROMETEC, “MÓDULO GSM/GPRS: llamar y enviar SMS.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>

[58] P. By alldatasheetcom, “SIM800H&SIM800L\_Hardware Design\_V2.02,” 2015.

[59] UNIT ELECTRONICS, “SIM900 Mini GSM GPRS SMS Con Antena.” Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: [https://uelectronics.com/producto/sim900-mini-gsm-gprs-sms-con-antena/?srsltid=AfmBOooRF3UwU5-OhA5kQWgfwzhz94VacOUAesguY\\_M4QKSTS9tk3fVjP](https://uelectronics.com/producto/sim900-mini-gsm-gprs-sms-con-antena/?srsltid=AfmBOooRF3UwU5-OhA5kQWgfwzhz94VacOUAesguY_M4QKSTS9tk3fVjP)

[60] de Obaldía, E. Vanessa Quintero, and O. Auciello, “Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones Lithium Ion Batteries: features and applications,” *Periodicidad: Semestral*, vol. 17, no. 1, p. 2021, 2021.

## ANEXOS

### ANEXO A: CODIGO

```
#include <Wire.h>

#include <SD.h>

#include <MPU6050.h>

#include <SPI.h>

#include <SoftwareSerial.h>

MPU6050 mpu; // Creando una instancia del objeto MPU6050

File dataFile; // Archivo para almacenar los datos en la tarjeta SD

const int chipSelect = 10; // Pin de selección de chip para el módulo SD

const int num_muestras=2;

const unsigned long num_intervalo=1000/num_muestras; //Intervalo de muestras
durante 1 segundo

const int led1 = 5; // LED para indicar encendido del sistema

const int led2 = 6; // LED para indicar tarjeta SD inicializada

const int led3 = 7; // LED para indicar MPU6050 conectado

unsigned long tiempoConteo=0;

bool enviarAlerta=false;

void setup() {

  // Inicializar comunicación serie

  Serial.begin(9600);

  while(!Serial){
```

```

; //Esperar que la conexion serial este lista
}

// Configurar pines de LEDs
pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);

// Enciende el LED1 durante 5 segundos para indicar el encendido del sistema
digitalWrite(led1, HIGH);
delay(5000);
digitalWrite(led1, LOW);

// Inicializar comunicación I2C
Wire.begin();

// Inicializar MPU6050
mpu.initialize();

// Verificar la conexión del MPU6050
if (!mpu.testConnection()) {
  Serial.println("Error de conexión con MPU6050");
  // Enciende y parpadea el LED3 en caso de error y no continuará
  digitalWrite(led3, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(led3, LOW);
}

```

```

delay(100);

digitalWrite(led3, HIGH);

delay(100);

digitalWrite(led3, LOW);

while (1);
}

Serial.println("MPU6050 conectado");

// Enciende el LED3 4 segundos para indicar que el MPU6050 está conectado
digitalWrite(led3, HIGH);
delay(4000);
digitalWrite(led3, LOW);

// Inicializar tarjeta SD
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Error al inicializar la tarjeta SD");

  // Enciende y parpadea el LED2 en caso de error y no continuará
  digitalWrite(led2, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(led2, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(led2, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(led2, LOW);
  while (1);
}

```

```

}

Serial.println("Tarjeta SD inicializada");

// Enciende el LED2 para indicar que la tarjeta SD está inicializada
digitalWrite(led2, HIGH);

delay(3000);

digitalWrite(led2, LOW);

// Crear el archivo en la tarjeta SD

dataFile = SD.open("CODIGO2.txt", FILE_WRITE);

if (!dataFile) {

  Serial.println("Error al abrir el archivo");

  while (1);

}

// Escribir encabezados en el archivo

Serial.println("Tiempo, Acelerómetro X, Acelerómetro Y, Acelerómetro Z, Giroscopio
X, Giroscopio Y, Giroscopio Z,Angulo X, Angulo Y");

dataFile.println("Tiempo, Acelerómetro X, Acelerómetro Y, Acelerómetro Z, Giroscopio
X, Giroscopio Y, Giroscopio Z,Angulo X, Angulo Y");

dataFile.close(); // Cerrar el archivo para asegurar que los datos se

//Inicializar la Alarma

}

void loop() {

```



```

// Obtener el tiempo en milisegundos
unsigned long tiempo = millis();
for(int i=0; i<num_muestras; i++){

//Leer los datos del MPU6050

int16_t ax, ay, az;

int16_t gx, gy, gz;

mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);

mpu.getRotation(&gx, gy, gz);

//Calcular los angulos de inclinacion:

float ang_ax=atan(ax/sqrt(pow(ay,2)+pow(az,2)))*(180.0/3.14);
float ang_ay=atan(ay/sqrt(pow(ax,2)+pow(az,2)))*(180.0/3.14);

Serial.print("Medida");

Serial.print(i+1); Serial.print("\t");

Serial.print(tiempo); Serial.print("\t");

Serial.print(ax); Serial.print("\t");

Serial.print(ay); Serial.print("\t");

Serial.print(az); Serial.print("\t");

Serial.print(gx); Serial.print("\t");

Serial.print(gy); Serial.print("\t");

Serial.print(gz); Serial.print("\t");

Serial.print(ang_ax); Serial.print("\t");

```

```

Serial.println(ang_ay);

// Abrir el archivo para añadir datos
dataFile = SD.open("CODIGO2.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) { //Escribir los datos en la SDCard
  dataFile.print("Medida");
  dataFile.print(i+1); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(tiempo); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(ax); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(ay); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(az); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(gx); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(gy); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(gz); dataFile.print("\t");
  dataFile.print(ang_ax); dataFile.print("\t");
  dataFile.println(ang_ay);

  dataFile.close(); // Cerrar el archivo para asegurar que los datos se guarden
} else {
  Serial.println("Error al abrir el archivo para escribir");
}

//delay(1000); // Espera 1s antes de la siguiente lectura

```

```

//Probar los valores para enviar la Alarma

if((ang_ax<=-20 || ang_ax>=20) && ang_ay>=30 ){

    //verificar el tiempo para enviar la alarma, si ha pasado los 30s(30000)

    if(millis()-tiempoConteo >=20000 && !enviarAlerta){

        activarMensaje();

        enviarAlerta= true; //Indicar que ya se envio el mensaje

    }

}

else {

    tiempoConteo = millis();

    enviarAlerta=false;

}

delay(1000);

}

//CODIGO DEL MODULO GSM

void activarMensaje() {

    Serial.println("Activando mensaje...");

    sim8001.println("AT+CMGF=1"); //Permite configurar a modo de texto

    delay(2000);

    sim8001.println("AT+CMGS=\"+593989926847\"") //Poner numero de un celular
    donde llega el mensaje

```

```
delay(1000);  
sim8001.println("Alerta! Sujeto de prueba presenta actividad");  
delay(200);  
sim8001.write(26); //Envia el mensaje  
delay(1000);  
}
```

## ANEXOS B: CODIGOS DEL ANALISIS DE DATOS

### 1. Código de las grafica en vaca normal

```
%Comportamiento en vaca normal
%%Leer los datos del archivo de excel
data=xlsread('DATA version 1')

% Verificar las dimensiones de la matriz de datos
disp(size(data)); % mostrará el número de filas y columnas

% Asignar las columnas adecuadas
nx1=data(:,1);
nx2=data(:,14);

%Grafica de Roll
subplot(2, 1, 1);
plot(nx1,nx2);
title('Grafica de Prueba Vaca Normal');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Roll');
hold on;
plot(2446,90.04,'ro','MarkerFaceColor','r'); %Punto maximo en X rojo
%Punto minimo en X azul
plot(2447,-91.39,'bo','MarkerFaceColor','b');

%Grafica de Pitch
subplot(2, 1, 2);
ny1=data(:,1);
ny2=data(:,22);
%figure(2)
plot(ny1,ny2);
title('Grafica de Prueba Vaca Normal');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Pitch');
hold on;
plot(776,30.72,'ro','MarkerFaceColor','r'); %Punto máximo en Y rojo
%Punto mínimo en X azul
plot(235,-96.37,'bo','MarkerFaceColor','b');
```

### 2. Código de las gráficas de vacas en parto

```
%Comportamiento de vaca con parto (Colorada)
%%Leer los datos del archivo de excel
data=xlsread('CODIGO2 PartoColorada');

% Verificar las dimensiones de la matriz de datos
%disp(size(data)); % mostrará el número de filas y columnas

% Asignar las columnas adecuadas
px1=data(:,1);
px2=data(:,8);
```

```

xl1=1471; %Primer rango preparto
xl2=2445; %Rango Parto

%Grafica de Roll
subplot(2, 1, 1);
plot(px1,px2);
%Separacion de rangos en la grafica X
xline(xl1,'r','LineWidth', 2);
xline(xl2,'g','LineWidth', 2);
text(750, 30, 'PREPARTO');
text(1900,30, 'PARTO');
text(3000,30, 'POSPARTO');
hold on;
%Marcar el punto maximo con punto Rojo en X
plot(1365,33.13,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo con punto Azul en X
plot(140,-43.16,'bo','MarkerFaceColor','b');

title('Grafica del proceso de parto - Prueba I');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Roll(Alabeo)');

%Grafica de Pitch
subplot(2, 1, 2);
py1=data(:,1);
py2=data(:,9);
yl1=1471;
yl2=2445;

%figure(2)
plot(py1,py2);
title('Grafica del proceso de parto - Prueba I ');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Pitch(Cabeceo)');
%Separacion de rangos en la grafica Y
xline(yl1,'r','LineWidth', 2);
xline(yl2,'g','LineWidth', 2);

%Mostrar texto de los rangos
text(750, 70, 'PREPARTO');
text(1900,70, 'PARTO');
text(3000,70, 'POSPARTO');
hold on;
%Marcar el punto maximo con punto Rojo en X
plot(1544,75.21,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo con punto Azul en X
plot(3435,-64.72,'bo','MarkerFaceColor','b');

```

### 3. Código de otra muestra

```

%Vaca solo con contracciones
data=xlsread("CODIGO2Contracciones");

%Llamar a los datos de excel en el eje X

```

```

subplot(2,1,1)
px3=data(:,1);
px4=data(:,8);
xl3=2543;
%Graficar los datos de Roll

plot(px3,px4,'m');
title('Gráfica de Parto - Prueba II ');
xlabel('Muestras');
ylabel('Roll(Alabeo)');
%Graficar linea de separacion de rangos
xline(xl3,'b','LineWidth', 2);
%Mostrar texto en grafica
text(1800,25,'PREPARTO');
hold on;
%Marcar el punto maximo en roll
plot(227,22.96,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo en roll
plot(469,-34.96,'bo','MarkerFaceColor','b');

%Llamar a los datos de excel en el eje Y
subplot(2,1,2)
py3=data(:,1);
py4=data(:,9);
plot(py3,py4,'m')
xlabel('Muestras');
ylabel('Pich(Cabeceo)');
xl4=2543;

%Graficar linea de separacion de rangos
xline(xl4,'b','LineWidth', 2);
%Mostrar texto en grafica
text(1800,70,'PREPARTO');
hold on;

%Marcar el punto maximo en pitch
plot(340,68.42,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo en pitch
plot(1391,-36.85,'bo','MarkerFaceColor','b');

```

#### 4. Código de la siguiente muestra

```

%Comportamiento de vaca con parto (Roja)
%Leer los datos del archivo de excel
data=xlsread('CODIGO2VacaRoja');

% Verificar las dimensiones de la matriz de datos
%disp(size(data)); % mostrará el número de filas y columnas

% Asignar las columnas adecuadas
px5=data(:,1);
px6=data(:,8);
xl4=1665; %Primer rango preparto
xl5=3119; %Rango Parto

```

```

%Grafica de Roll
subplot(2, 1, 1);
plot(px5,px6,'c');
%Separacion de rangos en la grafica X
xline(xl1,'r','LineWidth', 2);
xline(xl2,'g','LineWidth', 2);
text(750, 40, 'PREPARTO');
text(2500,35,'PARTO');
text(3500,35,'POSPARTO');
hold on;
%Marcar el punto maximo con punto Rojo en X
plot(785,30.87,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo con punto Azul en X
plot(1837,-43.59,'bo','MarkerFaceColor','b');

%grAfica de Y
title('Grafica de Parto- Prueba III');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Roll(Alabeo)');

%Grafica de Pitch
subplot(2, 1, 2);
py5=data(:,1);
py6=data(:,9);
yl1=1665;
yl2=3119;

%figure(2)
plot(py5,py6,'c');
title('Grafica de Parto - Prueba III');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Pitch(Cabeceo)');
%Separacion de rangos en la grafica Y
xline(yl1,'r','LineWidth', 2);
xline(yl2,'g','LineWidth', 2);

%Mostrar texto de los rangos
text(750, 80, 'PREPARTO');
text(2500,75,'PARTO');
text(3500,75,'POSPARTO');
hold on;
%Marcar el punto maximo con punto Rojo en X
plot(1688,89.53,'ro','MarkerFaceColor','r');
%Marcar el punto minimo con punto Azul en X
plot(64,-81.92,'bo','MarkerFaceColor','b');

```

## 5. Código de todas las comparaciones

```

%Comparaciones en partos
%x1=1471;
%y1=-10;
%y2=y1+30; %Longitud de la separacion, grafica 1

```



```

figure(1);
subplot(2,1,1)
plot(px1,px2); %Sujeto I
xl1=1471; %Primer rango preparto
xl2=2445; %Rango Parto
text(750, 30, 'PREPARTO');
text(1900,30,'PARTO');
text(3000,30,'POSPARTO');
%Separacion de rangos en la grafica X
xline(xl1,'r','LineWidth', 2);
xline(xl2,'g','LineWidth', 2);
title('Gráfica de movimientos de partos en X- Sujeto I');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Alabeo');

%Grafica de Contracciones Sujeto II
%xl3=2543;
% subplot(3,1,2)
% plot(px3,px4,'m'); %Sujeto II
% title('Grafica de movimiento de Contracciones en X- Sujeto II');
% xlabel('Muestras');
% ylabel('Valores de Alabeo');
% xline(xl3,'b','LineWidth', 2);

%Grafica de Parto - Sujeto III
xl4=1665; %Primer rango preparto
xl5=3119; %Rango Parto
subplot(2,1,2)
plot(px5,px6,'c'); %Sujeto III
title('Gráfica de movimiento de parto en X - Sujeto III');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Alabeo');
%Separacion de rangos en la grafica X
xline(xl4,'r','LineWidth', 2);
xline(xl5,'g','LineWidth', 2);
text(750, 40, 'PREPARTO');
text(2500,35,'PARTO');
text(3500,35,'POSPARTO');

%hold on;

%line([x1 x1],[y1, y2],'Color','g','LineWidth', 2);

%%COMPARACION DE PARTOS EN Y
figure(2);
subplot(2,1,1)
%plot(py1,py2); %Sujeto I

title('Gráfica de movimientos de partos en Y- Sujeto I ');
hold on
yl1=1471;
yl2=2445;

plot(py1,py2);
title('Grafica del proceso de parto - Prueba I ');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Pitch(Cabeceo)');
%Separacion de rangos en la grafica Y

```

```

xline(y11,'r','LineWidth', 2);
xline(y12,'g','LineWidth', 2);

%Mostrar texto de los rangos
text(750, 70, 'PREPARTO');
text(1900,70,'PARTO');
text(3000,70,'POSPARTO');
hold on;

%Grafica en Y -Sujeto III

%hold on;
subplot(2, 1, 2);
plot(py5,py6,'c'); %Sujeto III
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Cabeceo');
title('Grafica de Parto- Prueba III');

y11=1665;
y12=3119;

%figure(2)
plot(py5,py6,'c');
title('Grafica de Parto - Prueba III');
xlabel('Muestras');
ylabel('Valores de Pitch(Cabeceo)');
%Separacion de rangos en la grafica Y
xline(y11,'r','LineWidth', 2);
xline(y12,'g','LineWidth', 2);

%Mostrar texto de los rangos
text(750, 80, 'PREPARTO');
text(2500,75,'PARTO');
text(3500,75,'POSPARTO');
hold on;

%Grafica de comparacion Normal1 y Parto I
figure(1);
subplot(2,1,1)
plot(nx1,nx2,'b');
hold on
plot(px1,px2,'g');
title('Grafica de Vaca Normal vs Vaca en Parto')
xlabel('Muestras')
ylabel('Valores de Roll')
legend('Vaca normal','Vaca en parto I')

%Grafica de comparacion normal I y parto I en Y
subplot(2,1,2)
plot(ny1,ny2,'b');
hold on
plot(py1,py2,'g');
title('Grafica de Vaca Normal vs Vaca en Parto')

```

```

xlabel('Muestras')
ylabel('Valores de Pitch')
legend('Vaca normal','Vaca en parto I')

```

```

figure(2);
%Grafica de comparacion en partos normal y parto II en X
subplot(2,1,1)
plot(nx1,nx2,'b');
hold on
plot(px5,px6,'c');
title('Grafica de Vaca Normal vs Vaca en Parto III')
xlabel('Muestras')
ylabel('Valores de Roll')
legend('Vaca normal','Vaca en parto III')

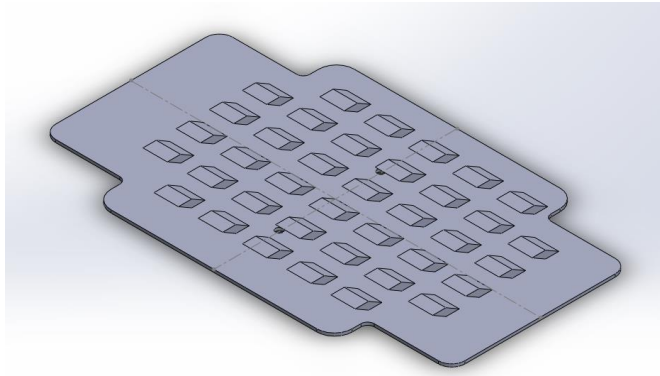
```

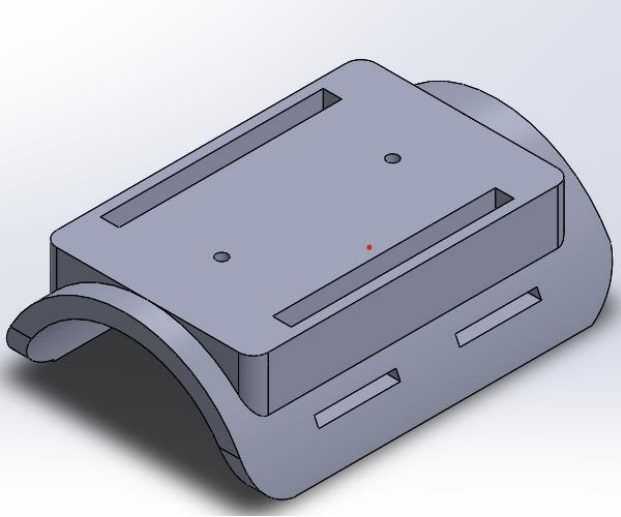
```

%Comparacion en Y
subplot(2,1,2)
plot(ny1,ny2,'b');
hold on
plot(py5,py6,'c');
title('Grafica de Vaca Normal vs Vaca en Parto III')
xlabel('Muestras')
ylabel('Valores de Pitch')
legend('Vaca normal','Vaca en parto III')

```

## ANEXOS C: HOJA DE PROCESOS

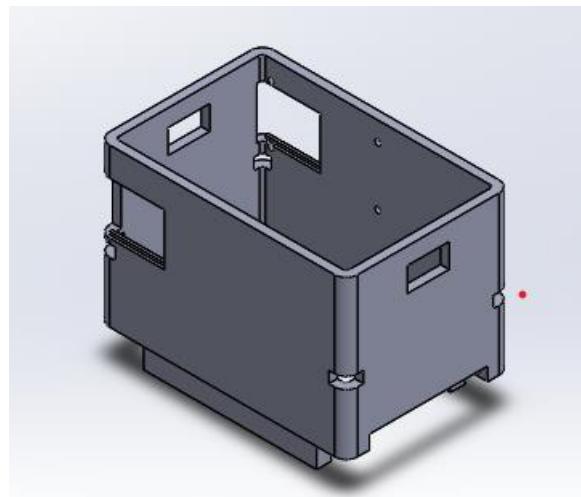
Hoja de procesos 1					
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Pro	Genius	<b>Fecha</b> 08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 1	<b>Hoja</b>	1/10		
					
<b>Material</b>	TPU SKP3D + Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Párametros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	4h 35 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	28%	<b>Tipo de soporte</b>	Sin soporte
<b>Altura de capa</b>	0.16 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	228°C	<b>Temperatura del plato</b>	5°C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

Hoja de procesos 2						
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Pro	Genius	<b>Fecha</b> 08/11/2025	
<b>Pieza</b>	Pieza 2	<b>Hoja</b>	2/10			
						
<b>Material</b>	TPU SKP3D + Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna			
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.					
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>				
<b>Tiempo de Operación</b>	7h 24 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	25%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal	
<b>Altura de capa</b>	0.16 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	228 °C	<b>Temperatura del plato</b>	5 °C	

<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm
-------------------------------	--------	-------------------------------	--------	------------------------------	-------

<b>Hoja de procesos 3</b>					
---------------------------	--	--	--	--	--

<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 3	<b>Hoja</b>	3/10		

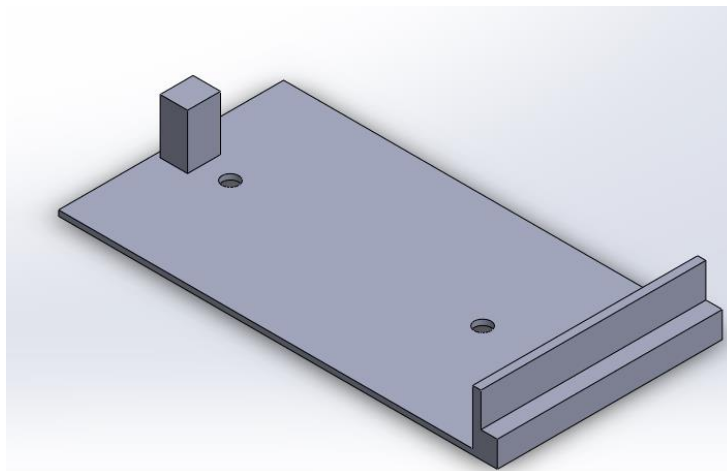


<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.		
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>	

<b>Tiempo de Operación</b>	6h 25 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	25%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

#### Hoja de procesos 4

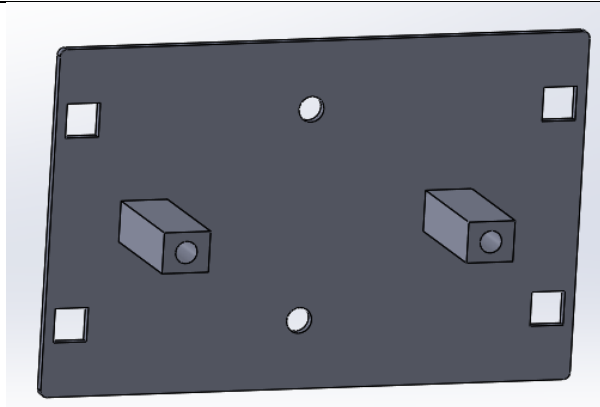
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 4	<b>Hoja</b>	4/10		



<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	38 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	50%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

<b>Hoja de procesos 5</b>					
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 5	<b>Hoja</b>	5/10		

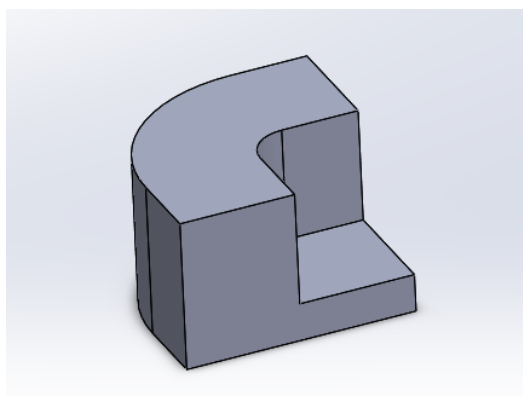




<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	01 h 02 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	de 100%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	de 210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	de 60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

Hoja de procesos 6

<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 6	<b>Hoja</b>	6		

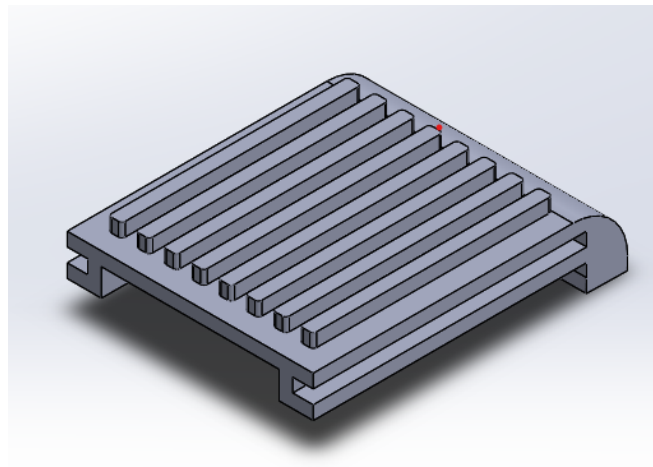


<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	12 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	100%	<b>Tipo de soporte</b>	Sin soporte
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C

<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm
-------------------------------	--------	-------------------------------	--------	------------------------------	-------

<b>Hoja de procesos 7</b>				
---------------------------	--	--	--	--

<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 7	<b>Hoja</b>	7/10		

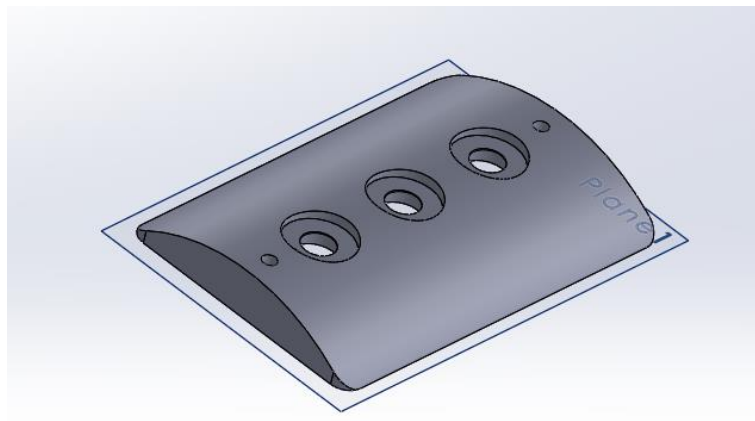


<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.		
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>	

<b>Tiempo de Operación</b>	20 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	100%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

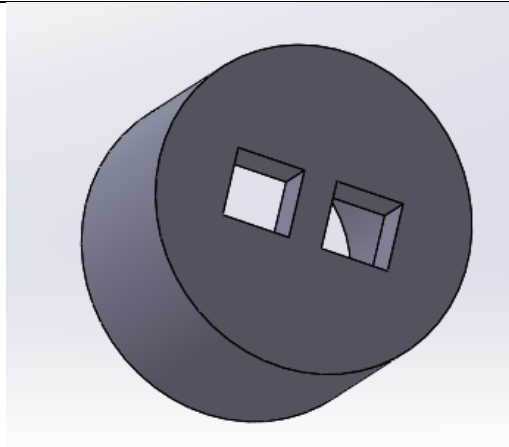
### Hoja de procesos 8

<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b> 08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 8	<b>Hoja</b>	8/10	



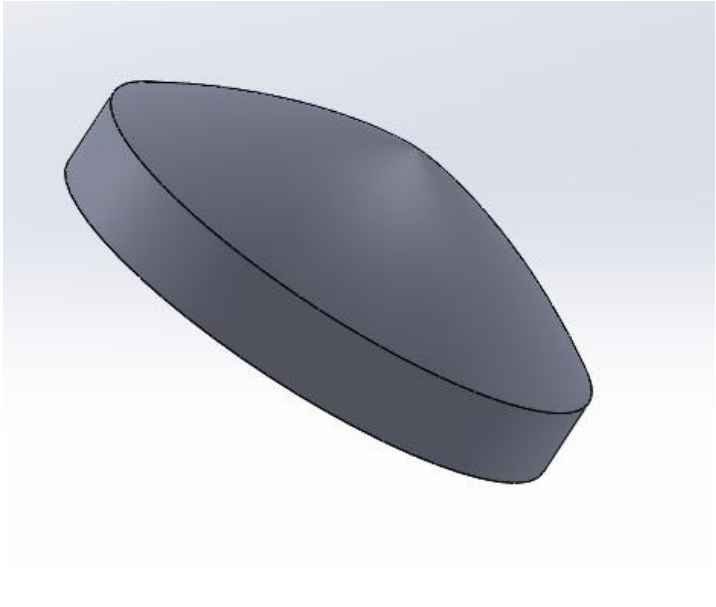
<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	2h 49 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	25%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

<b>Hoja de Procesos 9</b>					
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery Genius Pro	<b>Fecha</b>	08/11/2025
<b>Pieza</b>	Pieza 9	<b>Hoja</b>	9/10		



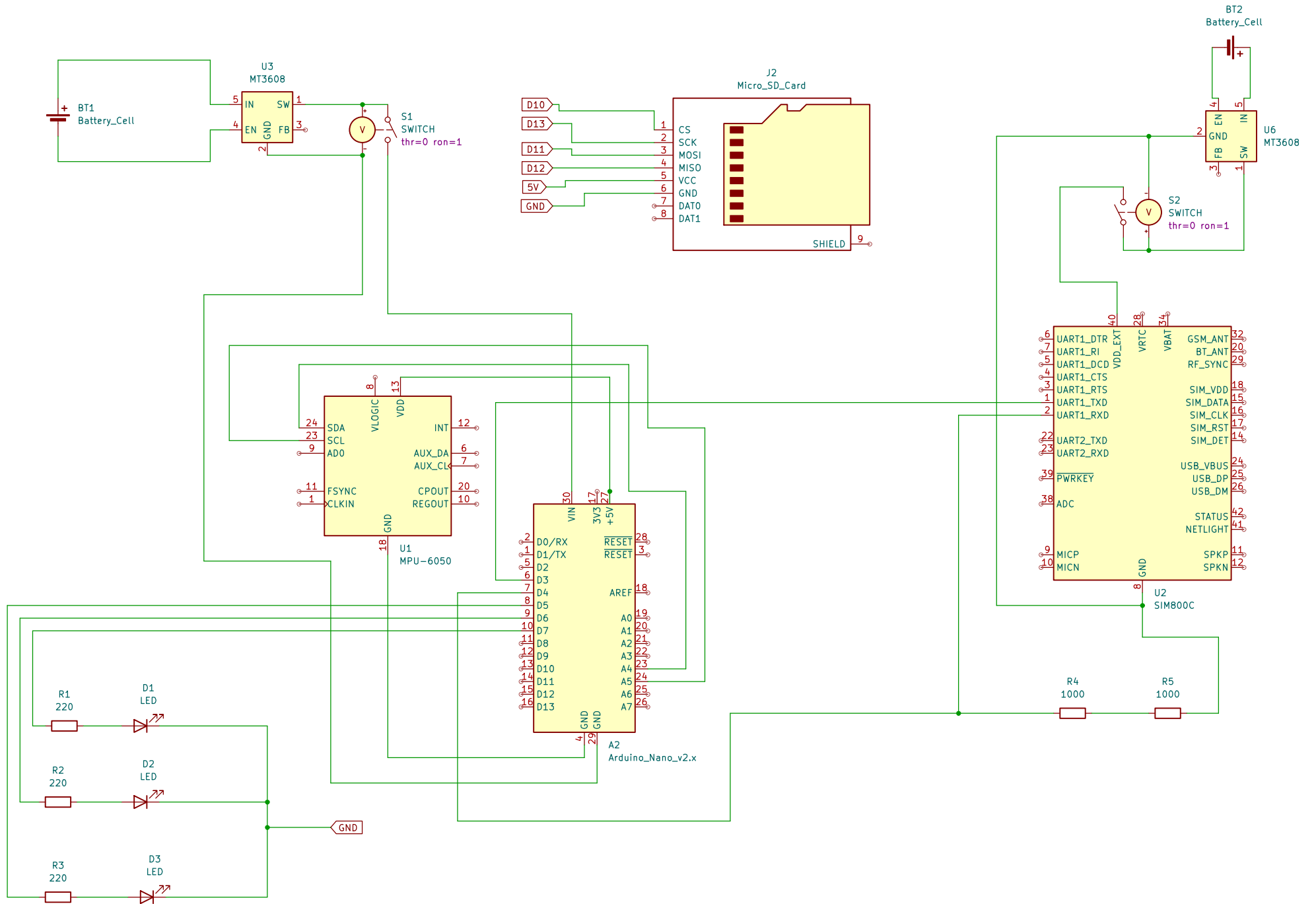
<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	21 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	100%	<b>Tipo de soporte</b>	Sin soporte
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

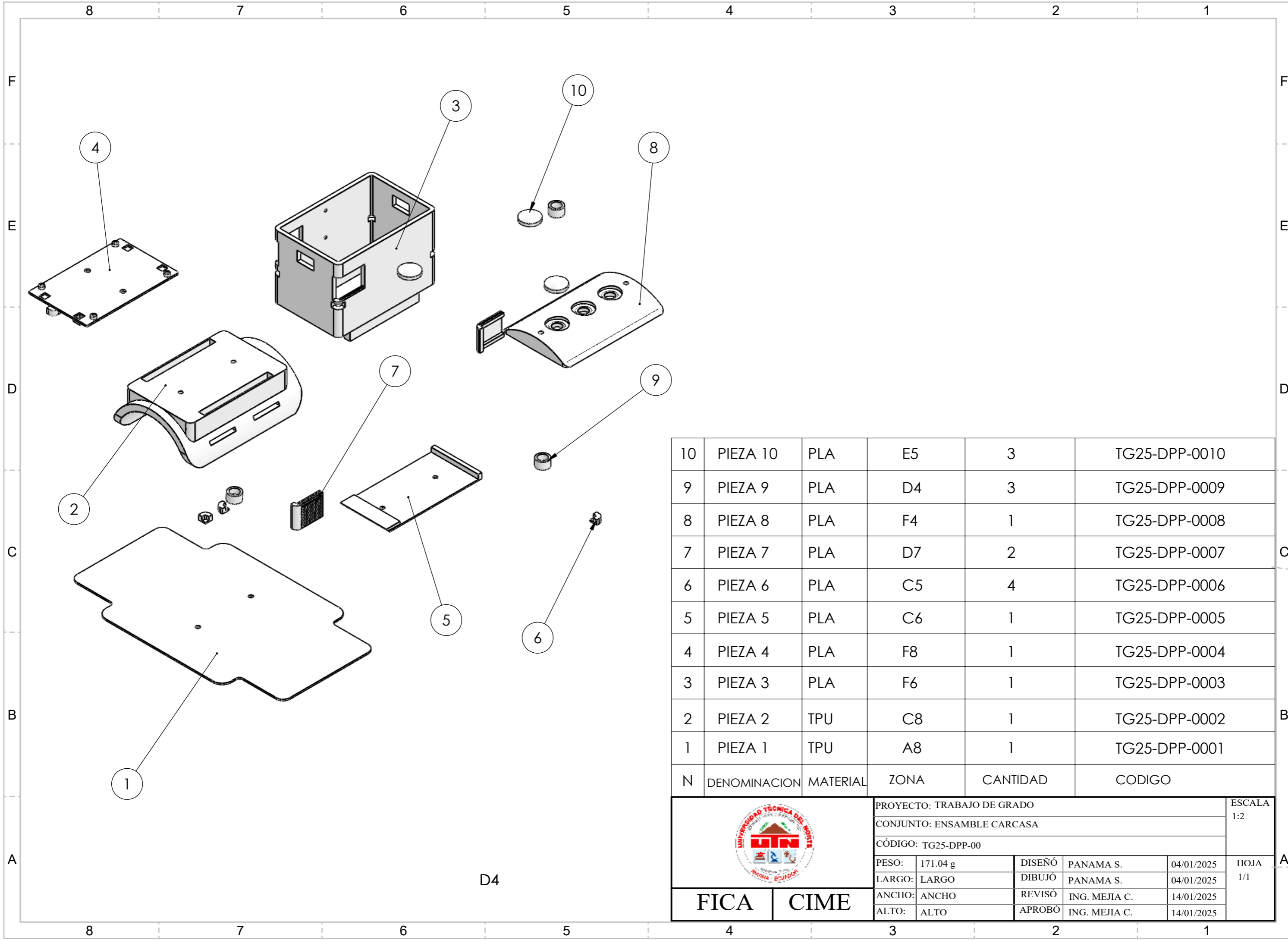
<b>Hoja de procesos 10</b>					
<b>Nombre del proyecto</b>	Dispositivo para la predicción de partos en bovinos	<b>Máquina</b>	Artillery	Genius Pro	<b>Fecha</b> 08/11/2025

<b>Pieza</b>	Pieza 10	<b>Hoja</b>	10/10		
					
<b>Material</b>	Sunlu PLA+Black 0.4mm	<b>Observaciones</b>	Ninguna		
<b>Realizado por:</b>	Panamá S.				
<b>Operación</b>	Impresión 3D	<b>Parámetros de Impresión</b>			
<b>Tiempo de Operación</b>	15 minutos	<b>Densidad de relleno</b>	100%	<b>Tipo de soporte</b>	Normal
<b>Altura de capa</b>	0.2 mm	<b>Temperatura de impresión</b>	210 °C	<b>Temperatura del plato</b>	70 °C
<b>Altura de capa inicial</b>	0.2 mm	<b>Velocidad de impresión</b>	60mm/s	<b>Diámetro del extrusor</b>	0.4mm

## **ANEXOS D: PLANOS**





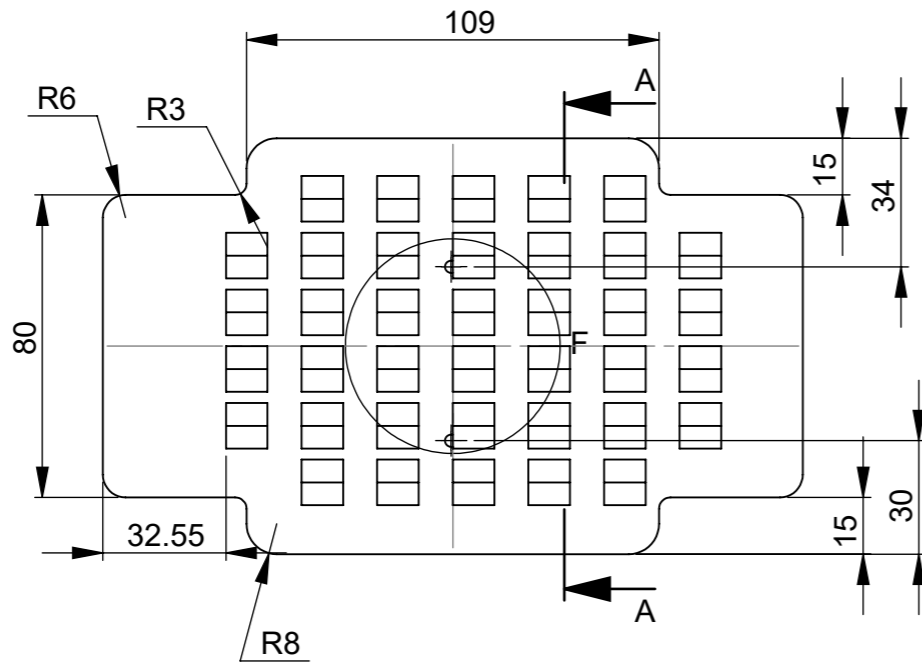
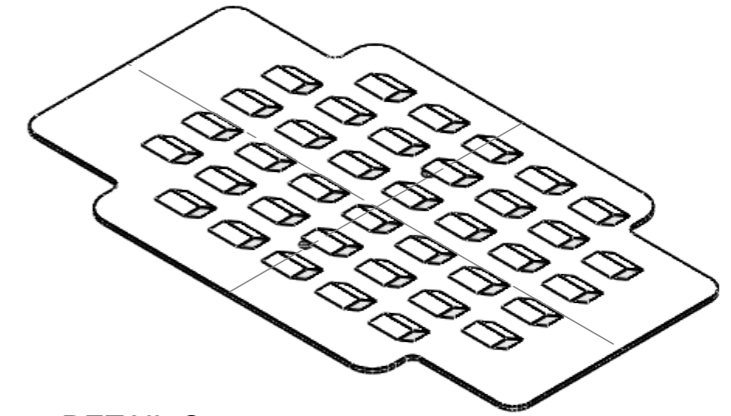
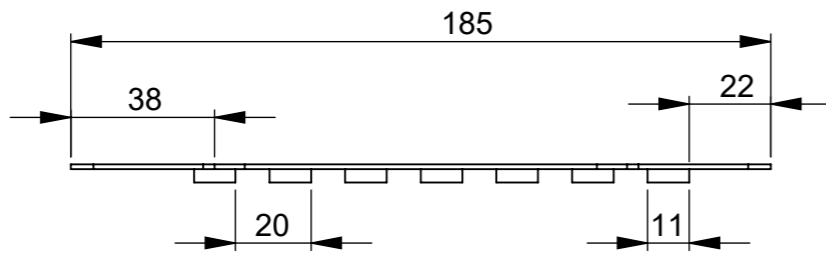


10	PIEZA 10	PLA	E5	3	TG25-DPP-0010
9	PIEZA 9	PLA	D4	3	TG25-DPP-0009
8	PIEZA 8	PLA	F4	1	TG25-DPP-0008
7	PIEZA 7	PLA	D7	2	TG25-DPP-0007
6	PIEZA 6	PLA	C5	4	TG25-DPP-0006
5	PIEZA 5	PLA	C6	1	TG25-DPP-0005
4	PIEZA 4	PLA	F8	1	TG25-DPP-0004
3	PIEZA 3	PLA	F6	1	TG25-DPP-0003
2	PIEZA 2	TPU	C8	1	TG25-DPP-0002
1	PIEZA 1	TPU	A8	1	TG25-DPP-0001
N	DENOMINACION	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO

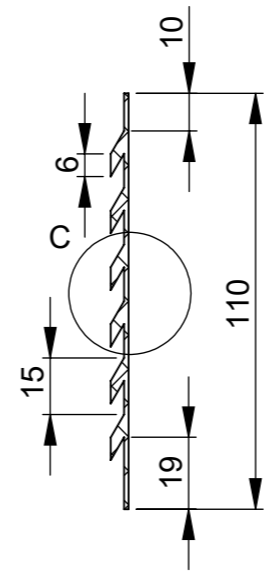
		PROYECTO: TRABAJO DE GRADO			ESCALA 1:2
		CONJUNTO: ENSAMBLE CARCASA			
		CÓDIGO: TG25-DPP-00			HOJA 1/1
PESO:	171.04 g	DISEÑO	PANAMA S.	04/01/2025	
LARGO:	LARGO	DIBUJO	PANAMA S.	04/01/2025	
ANCHO:	ANCHO	REVISÓ	ING. MEJIA C.	14/01/2025	
ALTO:	ALTO	APROBÓ	ING. MEJIA C.	14/01/2025	

D4

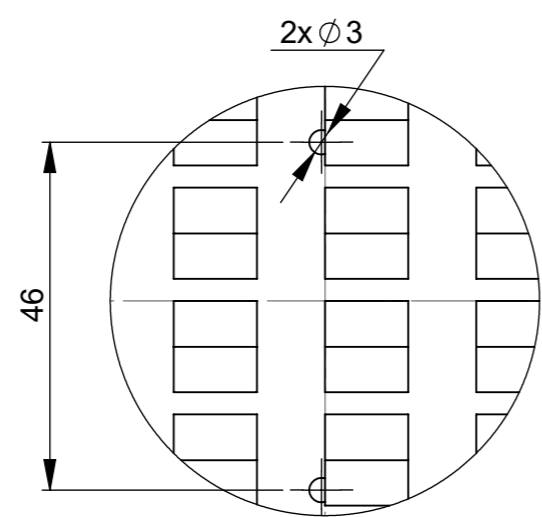
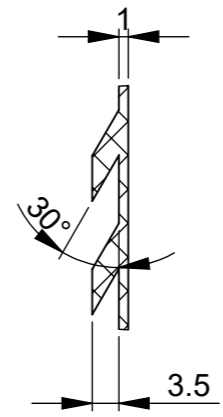
FICA CIME





SECTION A-A

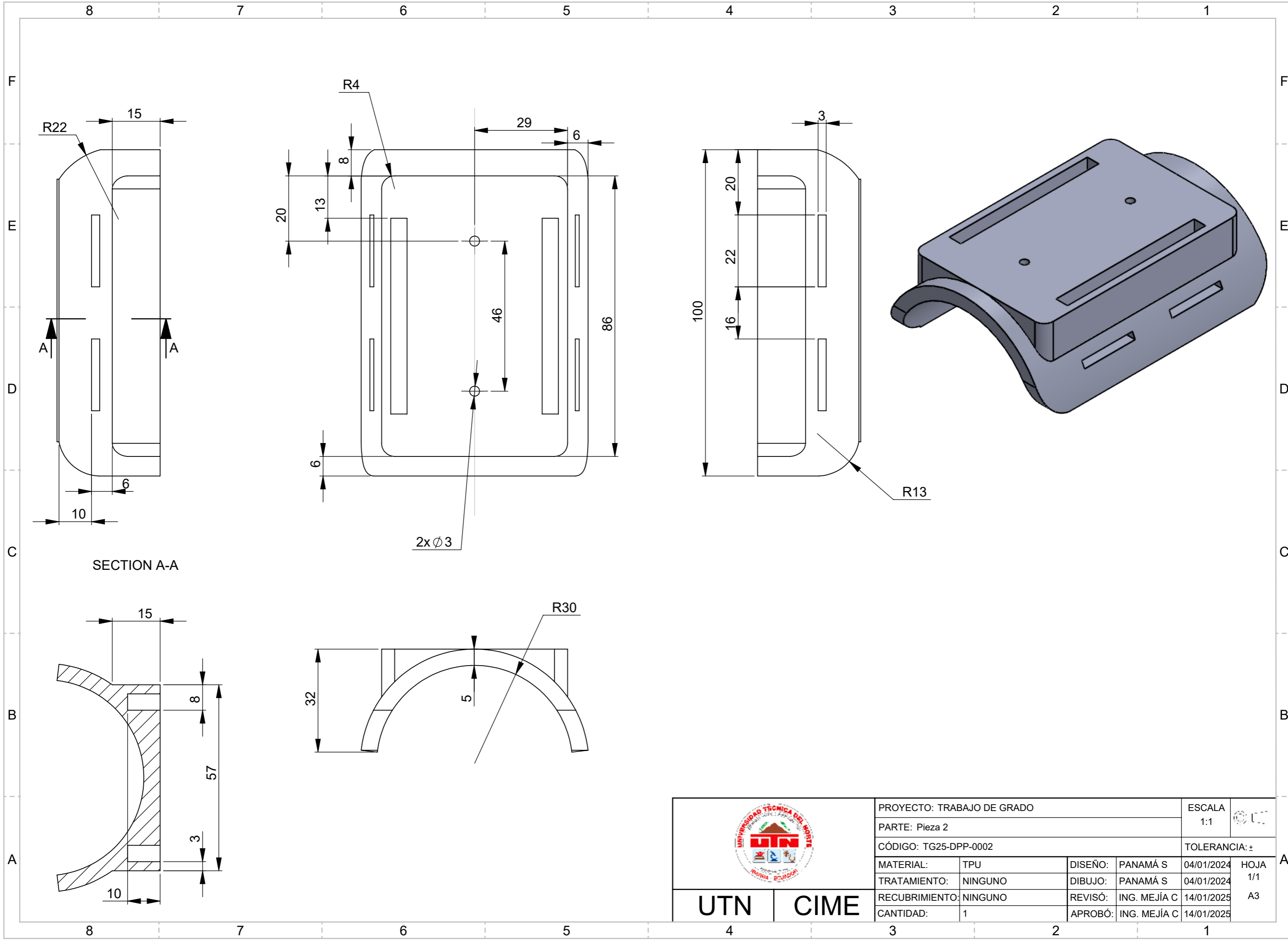


DETAIL C  
SCALE 1 : 1





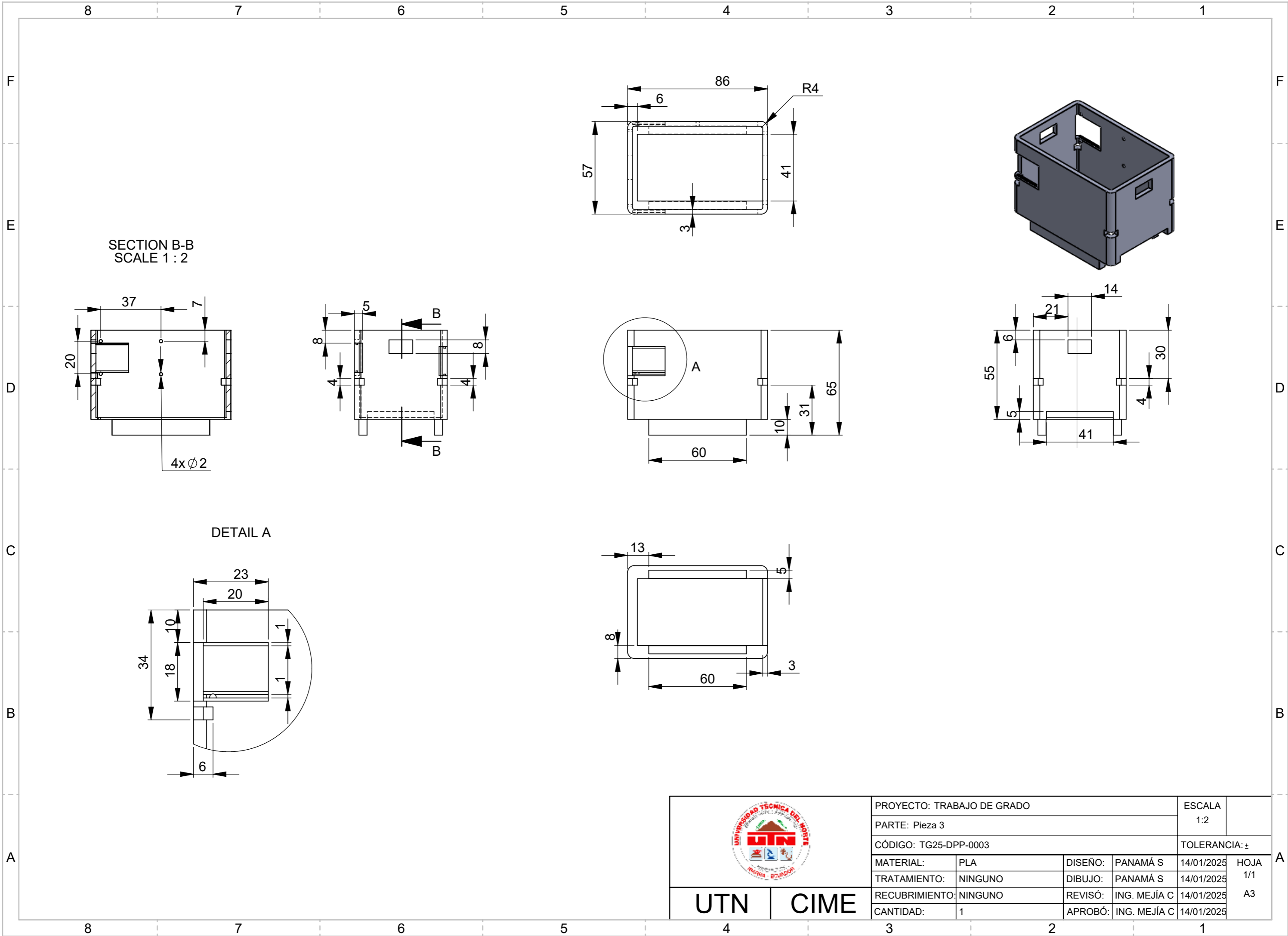
DETAIL F  
SCALE 1 : 1


 <b>UTN</b>   <b>CIME</b>	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA 1:2	
	PARTE: Pieza 1				1:2	
	CÓDIGO: TG25-DP-0001				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	TPU	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2025	1/1
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	A3	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		

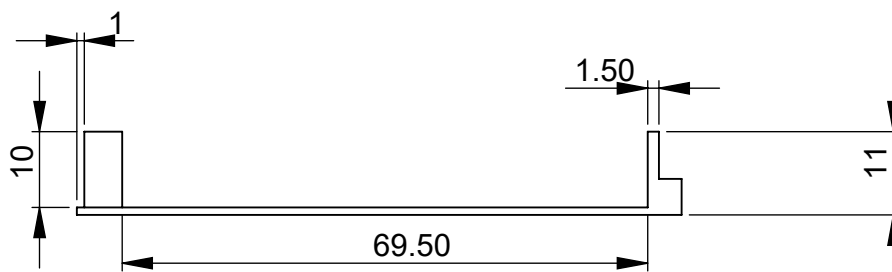
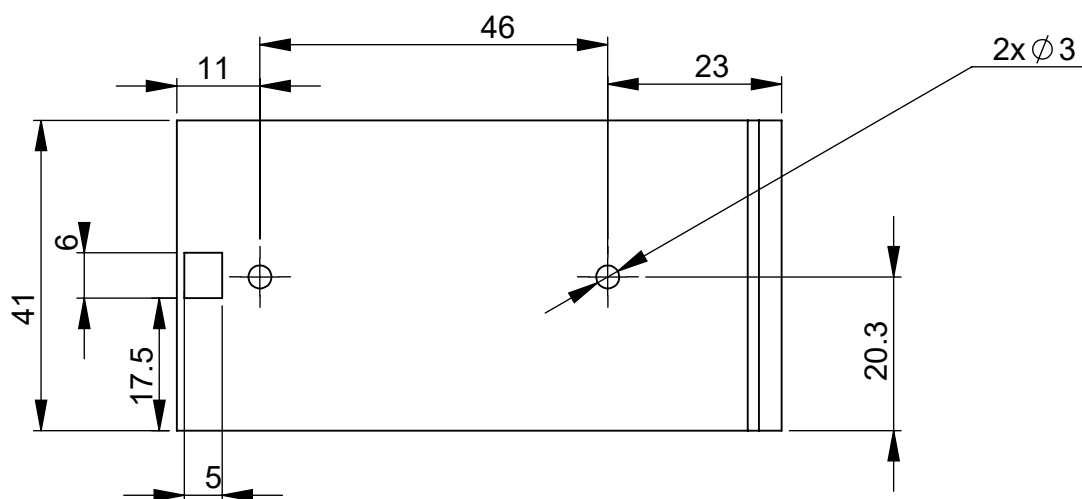
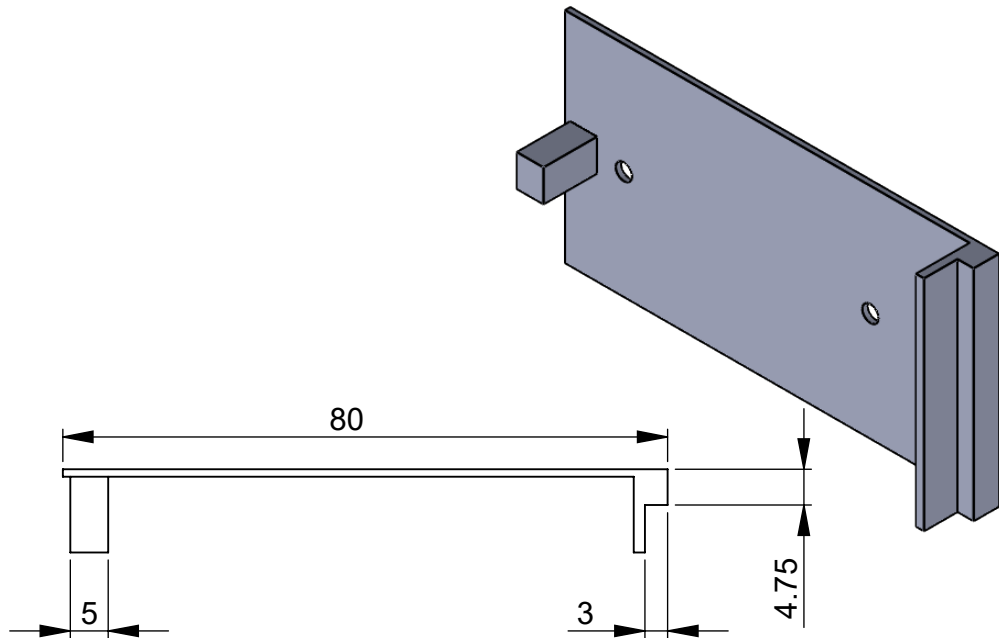


SECTION A-A

 <b>UTN</b>   <b>CIME</b>	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA 1:1	
	PARTE: Pieza 2					
	CÓDIGO: TG25-DPP-0002				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	TPU	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2024	HOJA 1/1 A3
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2024	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		



 <b>UTN</b>   <b>CIME</b>	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA	1:2	
	PARTE: Pieza 3						
	CÓDIGO: TG25-DPP-0003				TOLERANCIA: ±		
	MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	14/01/2025	HOJA	1/1 A3
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	14/01/2025		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025			



PROYECTO: TRABAJO DE GRADO

ESCALA  
1:1

PARTE: Pieza 4

CÓDIGO: TG25-DPP-0004

TOLERANCIA: ±

MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA 1/1
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2025	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	A4
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	

UTN

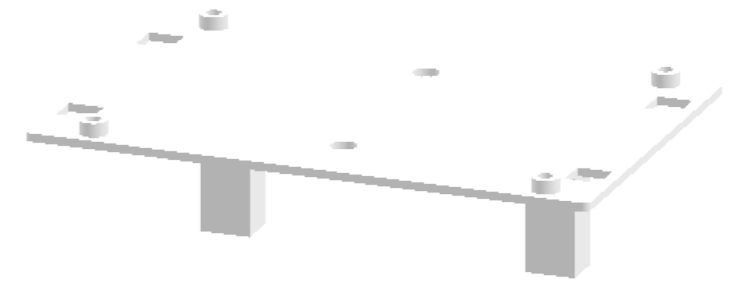
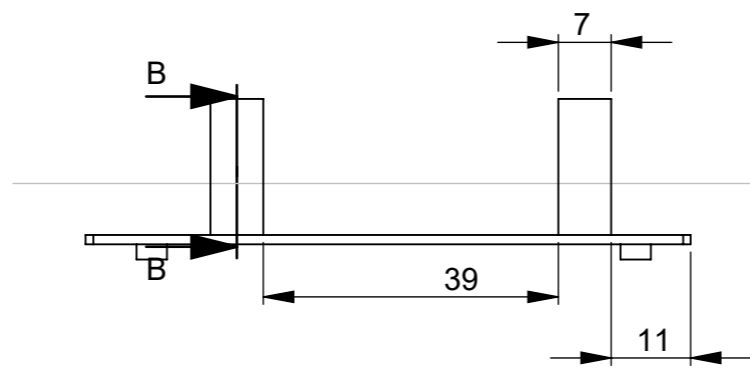
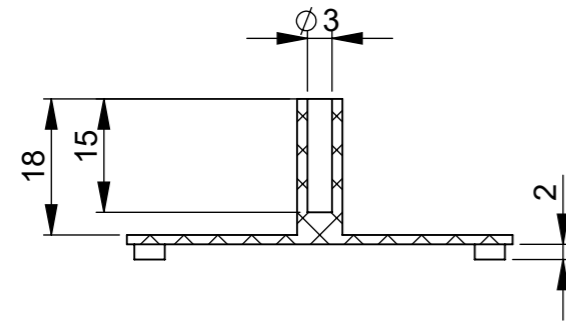
CIME

8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

SECTION B-B



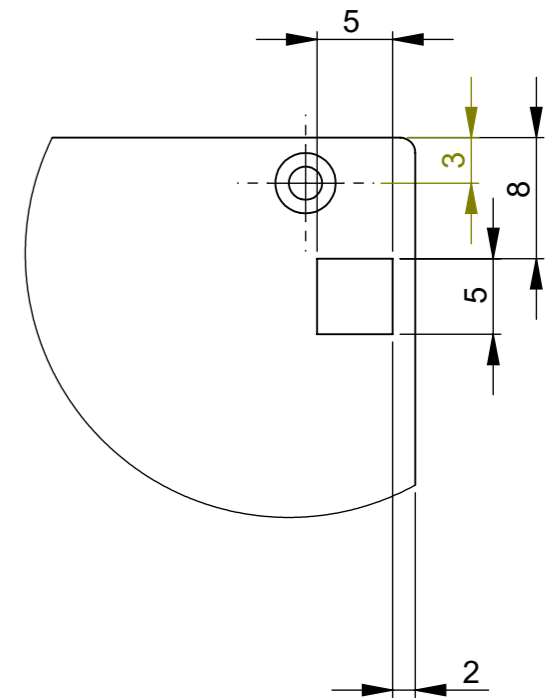
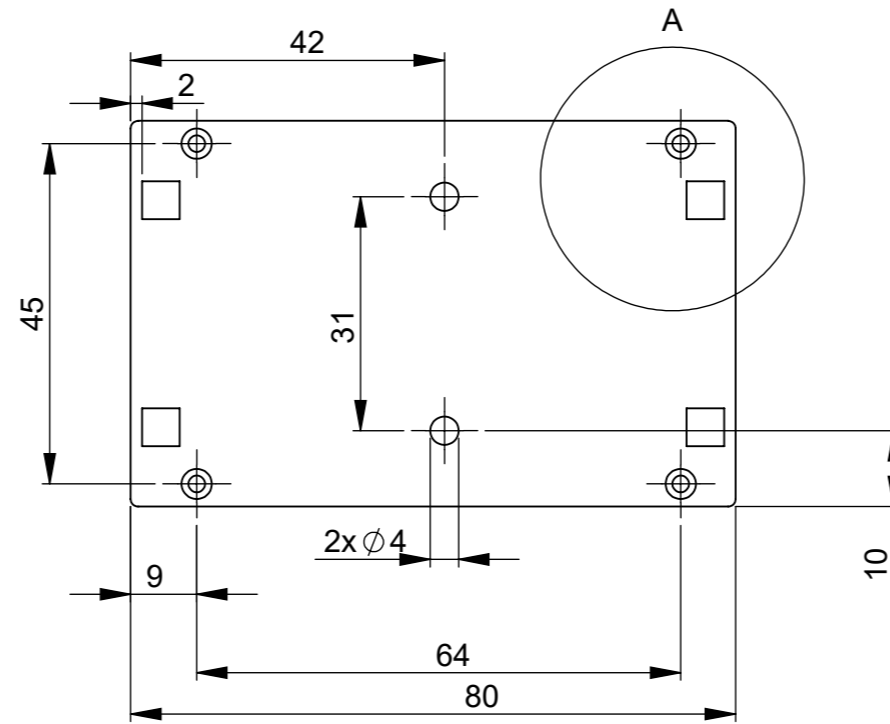
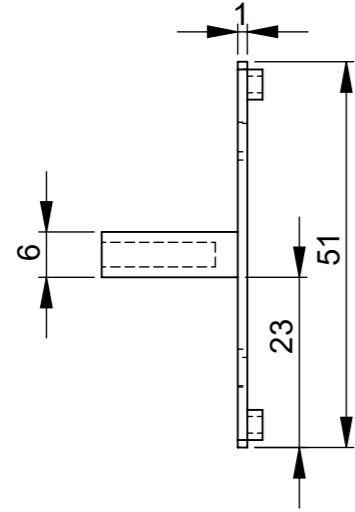
E

E

D

D

DETAIL A  
SCALE 2 : 1



C

C


B

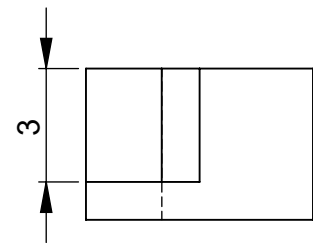
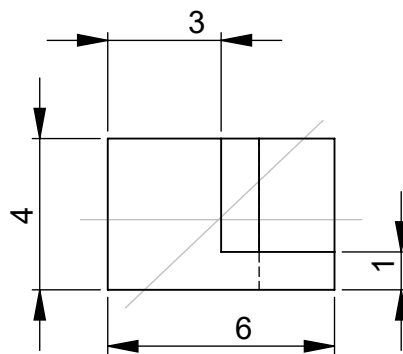
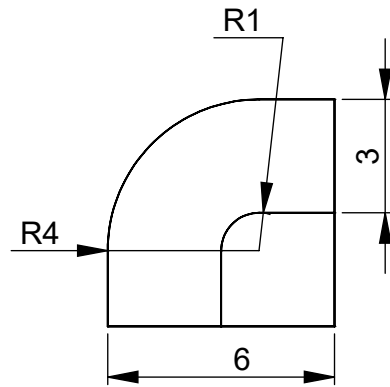
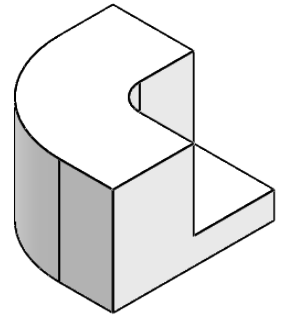
B

A

A

8 7 6 5 4 3 2 1

 <b>UTN</b>   <b>CIME</b>	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA 1:1	
	PARTE: Pieza 5					
	CÓDIGO: TG25-DPP-0005				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA 1/1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2024	A3
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		

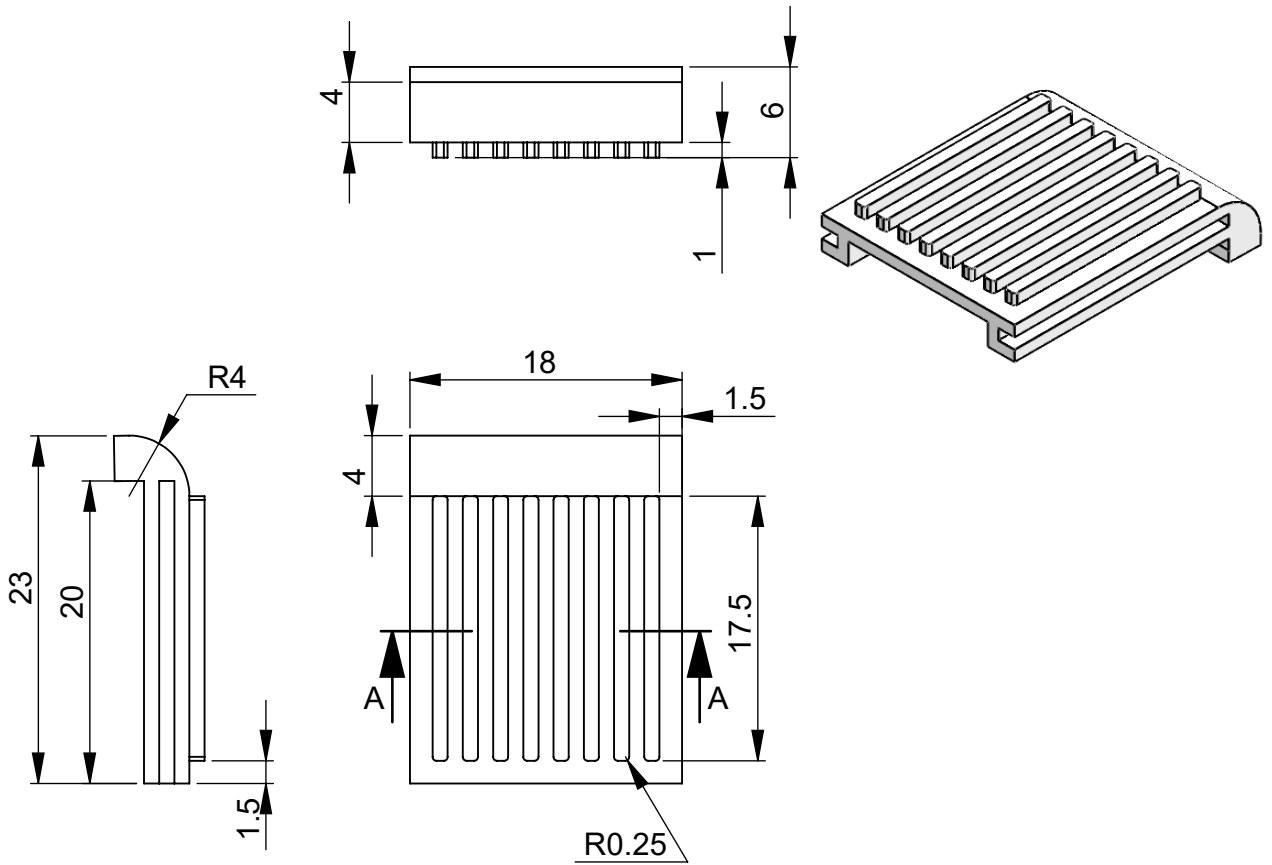


PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA 5:1	
PARTE: Pieza 6					
CÓDIGO: TG25-DPP-0006				TOLERANCIA: ±	
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2025	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	
CANTIDAD:	4	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	

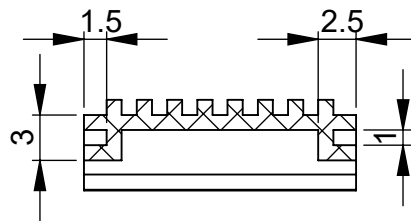
UTN



CIME





SECTION A-A

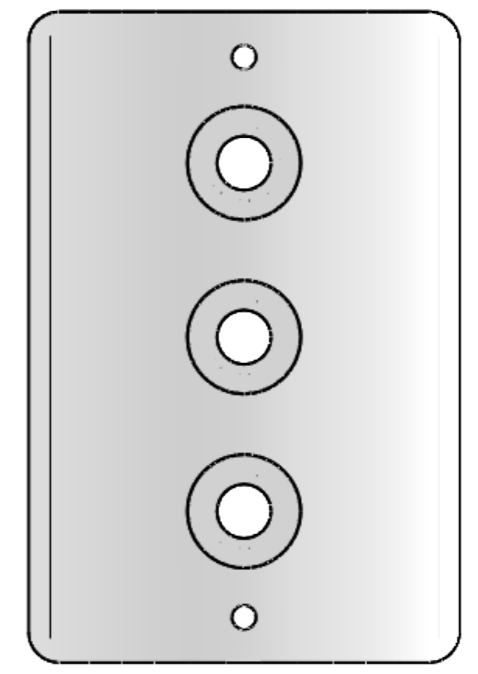
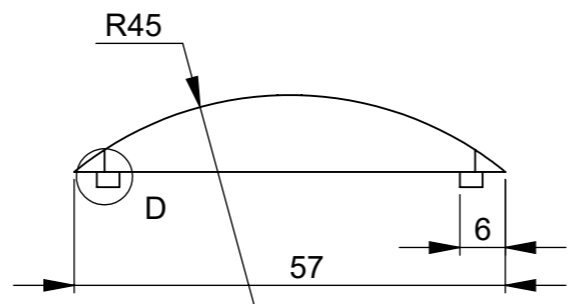
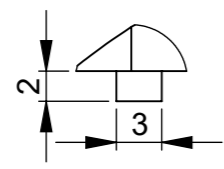


	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA 1:1	
	PARTE: Pieza 7					
	CÓDIGO: TG25-DPP-0007				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA 1/1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2025	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	A4	
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025		
<b>UTN</b>	<b>CIME</b>					

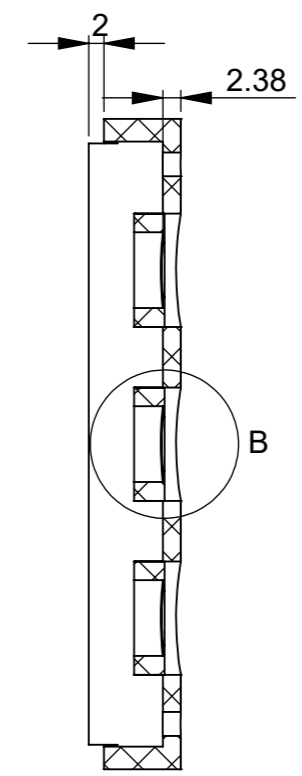
8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

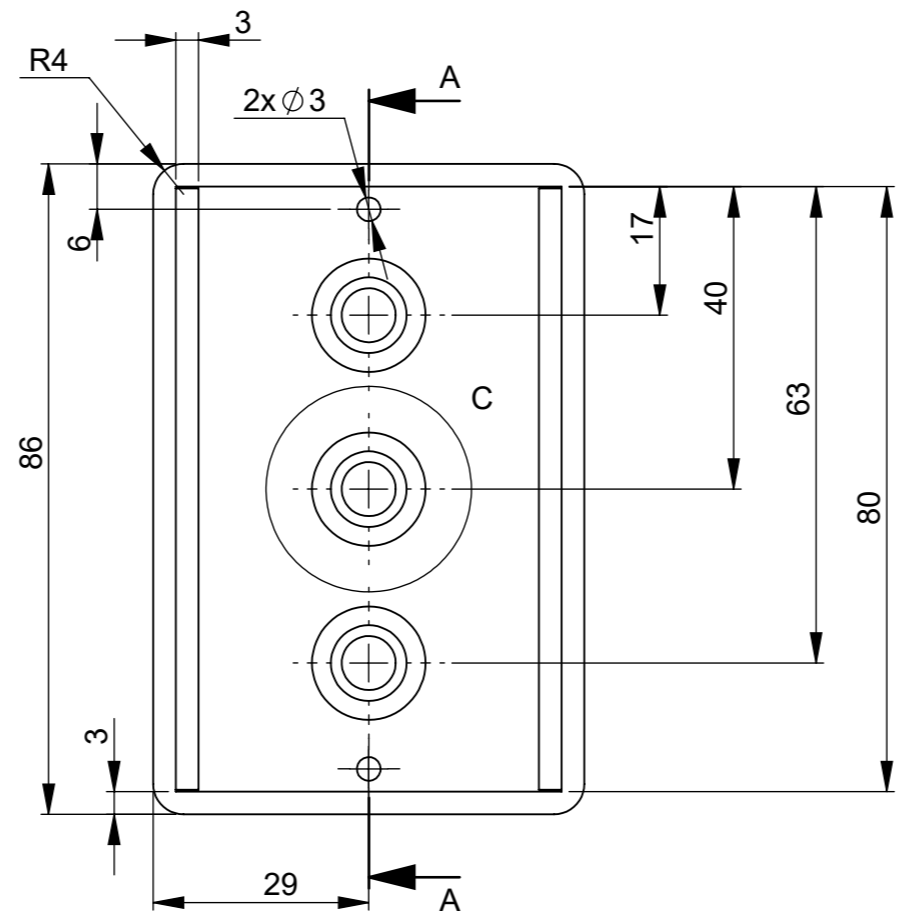
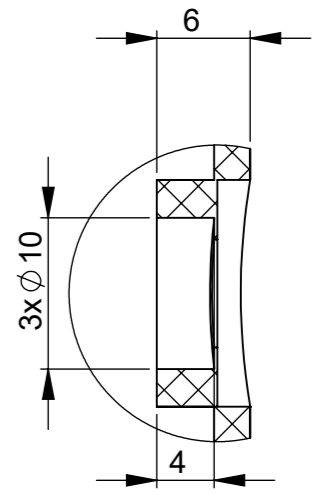
DETAIL D  
SCALE 2 : 1



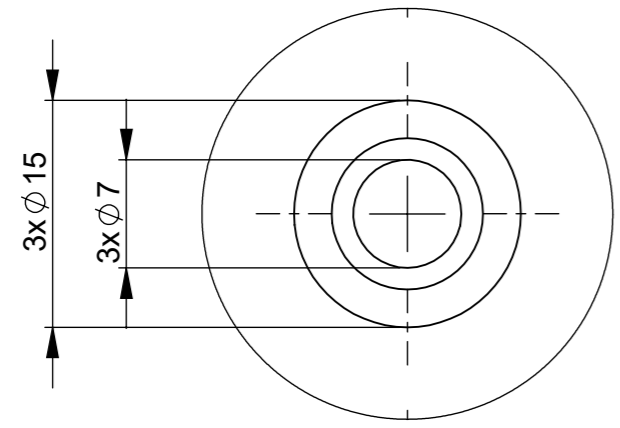
SECTION A-A





DETAIL B  
SCALE 2 : 1

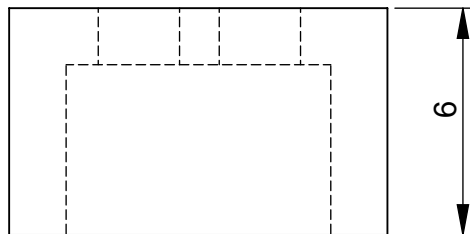
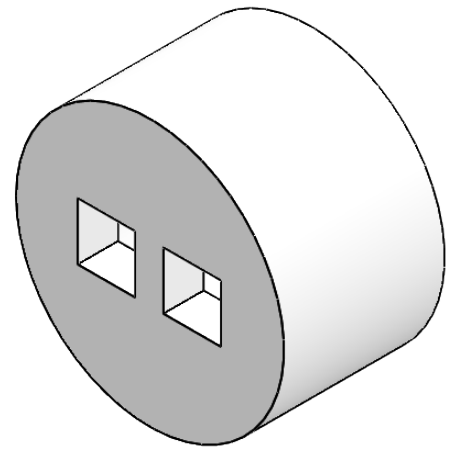


DETAIL C  
SCALE 2 : 1



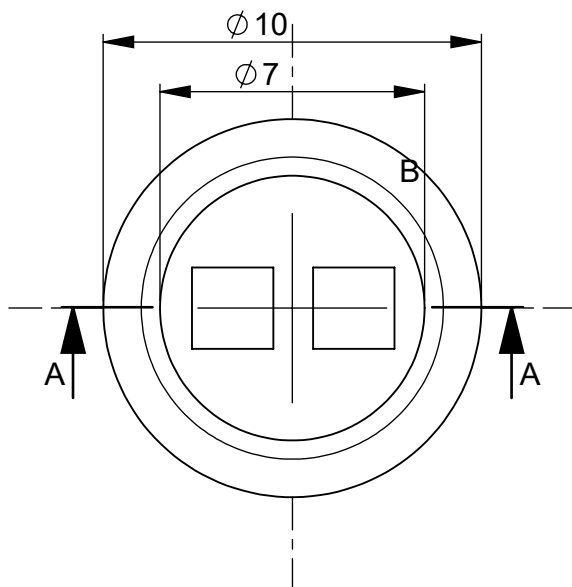
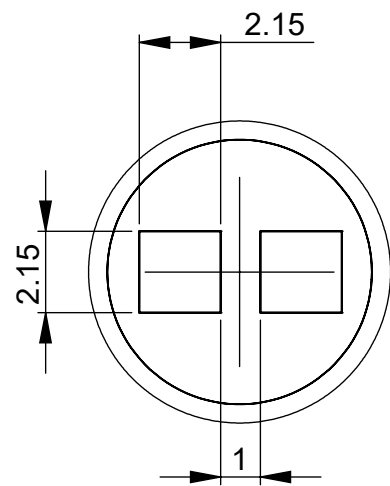
 <b>UTN</b>   <b>CIME</b>	PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA	 1:1	
	PARTE: Pieza 8				TOLERANCIA: ±		
	CÓDIGO: TG25-DPP-0008				DISEÑO: PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA
	MATERIAL: PLA	DISEÑO: PANAMÁ S	04/01/2025	DIBUJO: PANAMÁ S	04/01/2025	1/1	
	TRATAMIENTO: NINGUNO	DISEÑO: PANAMÁ S	04/01/2025	REVISÓ: ING. MEJÍA C	14/01/2025	A3	
RECUBRIMIENTO: NINGUNO	DISEÑO: PANAMÁ S	04/01/2025	APROBÓ: ING. MEJÍA C	14/01/2025			
CANTIDAD: 1							

8 7 6 5 4 3 2 1

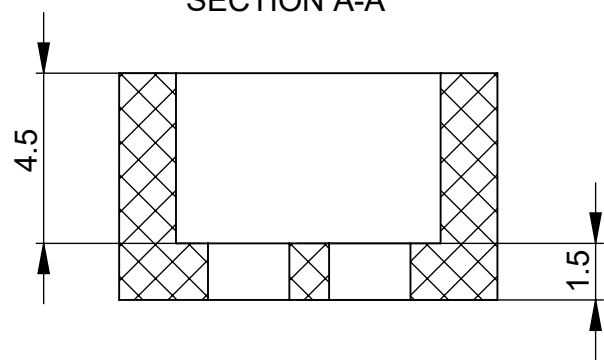


6

DETAIL B



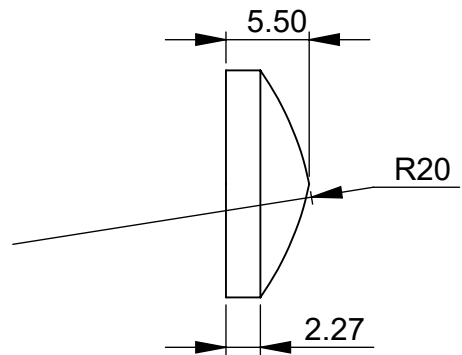
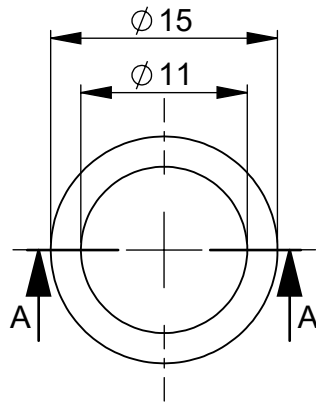
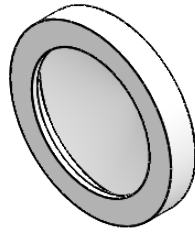
SECTION A-A



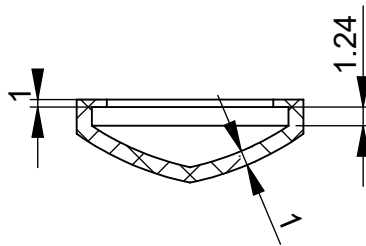
PROYECTO: TRABAJO DE GRADO				ESCALA	
PARTE: Pieza 9				5:1	
CÓDIGO: TG25-DPP-0009				TOLERANCIA: $\pm$	
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	PANAMÁ S	04/01/2025	HOJA 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PANAMÁ S	04/01/2025	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	
CANTIDAD:	3	APROBÓ:	ING. MEJÍA C	14/01/2025	

UTN

CIME



SECTION A-A  
SCALE 2 : 1



PROYECTO: TRABAJO DE GRADO

ESCALA  
2:1



PARTE: Pieza 10

CÓDIGO: TG25-DPP-0010

TOLERANCIA: ±

MATERIAL: PLA

DISEÑO: PANAMÁ S

04/01/2024

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: PANAMÁ S

04/01/2024

1/1

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISÓ: ING. MEJÍA C

14/01/2025

A4

CANTIDAD: 3

APROBÓ: ING. MEJÍA C

14/01/2025

UTN

CIME