



IoT por los océanos

CEO, CCO - Daniel Alejandro Delgado Arcila

COO - María Angélica Fonseca Pérez

CTO - Mateo Andrés Rodríguez Pereira

CFO, CMO - Juan Sebastián Leyva Orrego

David Leonardo Galindo Huertas

Universidad Nacional de Colombia Facultad de ingeniería

Taller de Proyectos Interdisciplinarios Bogotá, Colombia

Diciembre, 2021

Resumen ejecutivo

1. Introducción

Un gran porcentaje de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre y la mayor cantidad de estos contaminantes son transportados por los ríos hacia el mar. Hemos identificado un ecosistema de interés como lo es el bosque manglar ubicado en la escollera, Santa Marta, este es un ecosistema costero típico de zonas tropicales y subtropicales que es de importancia por su riqueza en biodiversidad y su función en la mitigación del cambio climático. Este ecosistema nace en contacto con dos ambientes distintos, como lo son el terrestre y el marino. Razón por la cual es de interés la medición de variables que permitan el monitoreo de la salud ambiental de estos ecosistemas.



Figura 1. Laguna la Escollera, Santa Marta (Colombia). Tomada de Google Earth

2. El problema y su contexto

2.1. Antecedentes y opiniones de expertos

Los ecosistemas de manglar son ecosistemas típicos de humedales costeros en regiones tropicales y subtropicales con una alta relevancia económica y ecológica. Estos proporcionan servicios de protección contra la erosión costera, aprovisionamiento de materiales de construcción, ingredientes medicinales y atracción turística, además de aprovisionamiento de áreas para la cría de peces y camarones. Desafortunadamente, actualmente están clasificados dentro de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial, se estima una pérdida de cerca del 36% del área total de manglares a nivel mundial durante

las últimas dos décadas. Eventualmente los ecosistemas de manglar se han ido integrando en programas internacionales como el protocolo de Kioto y la convención de Ramsar en donde se resaltó la importancia de la toma de medidas de protección inmediata para estos ecosistemas. [1]

La laguna la Escollera es una laguna costera artificial ubicada en el Rodadero, Santa Marta (Colombia) construida durante la primera década de 1980 con el fin de albergar vida marina y mangles. La construcción de esta laguna contribuyó al entendimiento de este tipo de ecosistemas a través de la medición de variables fisicoquímicas como salinidad y temperatura. Según estudios realizados en esta laguna, se encontró que posee una temperatura mínima de 24,6 °C y salinidad máxima de 38,9 en época seca (Diciembre - Abril) y temperatura máxima de 34,7 °C y menor salinidad (<35) en época de lluvia (Mayo - Noviembre), durante mediciones desarrolladas entre 2017 y 2018. Adicionalmente se encuentra que las aguas de la laguna presentan un color característico verde y una variación en su transparencia en presencia de fuertes lluvias. [2]

Se consideraron tres estudios de los cuales se obtuvo información clave para el desarrollo del proyecto y caracterización del problema; *“Caracterización de variables físicas en La Escollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano”* [2], *“Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review”* [1] y *“Connected Mangroves’ project in Kampung Dato Hormat, Sabak Bernam, Selangor”* [3]. Se obtiene información sobre variables fisicoquímicas de la laguna la escollera (Santamarta, Colombia), información sobre sensado remoto de ecosistemas de manglares y tecnologías IoT. Para obtener información más detallada, dirigirse al Anexo 2.

Adicionalmente fue fundamental la opinión de expertos como Sven Eloy Zea - Biólogo marino (Docente Universidad Nacional de Colombia) con quien se discutieron problemáticas identificadas anteriormente como, la falta de información de variables fisicoquímicas en las zonas de interés, los tiempos prolongados para la recolección y análisis de datos de las variables fisicoquímicas, entre otros. Además, por parte de Silenia Robles (experta en saneamiento de agua (Tame- Arauca)), se discutió la importancia ecológica de los manglares.

2.2. Descripción del contexto (PESTAL)

A continuación se presentan los factores tenidos en cuenta en el análisis PESTAL y su impacto en el proyecto (Positivo o Negativo), en general se encontraron políticas que favorecen la protección de los ecosistemas de interés y también la innovación y desarrollo en nuevas tecnologías, a nivel económico se encontró posibles patrocinadores como factores positivos; socialmente se encontró influencia positiva, a nivel tecnológico se encontró más factores que afectan negativamente en proyecto, a nivel ambiental y legal se encontró legislaciones y planes de gestión que promueven el cuidado de los ecosistemas de interés. Si se desea obtener información más detallada del análisis PESTAL se sugiere consultar el Anexo 1.

| (P) Político | (E) Económico | (S) Social |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> → Política Nacional de humedales. (Positivo). → Plan de Ordenamiento Territorial (Santa Marta 2020-2032) P.O.T 500). (Positivo.) | <ul style="list-style-type: none"> → Organizaciones y entes interesados en el patrocinio del proyecto y/o Patrocinio de universidades e institutos de investigación: Comisión Colombiana Del océano, Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Ministerio de ambiente de Colombia. (Positivo) → Proceso de Inflación de Colombia.(Negativo) | <ul style="list-style-type: none"> → Aprobación de la comunidad a sistemas de monitoreo marino-costeros. (Positivo) → Evaluación de zona de conflicto. (Positivo) → Factor cultural (Mitos, leyendas, etc). (Positivo) → Opinión pública. (Positivo) |
| (T) Tecnológico | (A) Ambiental | (L) Legal |
| <ul style="list-style-type: none"> → Baja independencia de los sensores empleados actualmente para medir variables fisicoquímicas en la escollera. (Negativo) → Baja disponibilidad de información confiable en tiempo real de las variables fisicoquímicas censadas en la Escollera. (Negativo) → Disponibilidad de tecnología de sentido. (Negativo) → Capacidad productiva, regional y del país: empresas y/o talleres especializados. (Negativo) → Soporte Técnico, control y mantenimiento. (Negativo) | <ul style="list-style-type: none"> → Pérdida del área total de manglares a nivel mundial durante las últimas dos décadas. (Negativo) → Gestión de Residuos. (Positivo) → Residuos generados por las actividades de monitoreo de variables fisicoquímicas en ecosistemas de interés. (Negativo) | <ul style="list-style-type: none"> → Resolución MADS 157 DE 2004. → Decreto 1449 de 1977. → Resolución MADS 196 DE 2006. → Decreto 3600 de 2007. → Resolución 869 de 2013. → Ley 1450 de 2011. → Ley 2068 de 2020 → Decreto 1875 de 1979. |

Figura 2. Matriz PESTAL.

2.3. Análisis de actores o stakeholders

Sven Eloy Zea es un biólogo marino y docente de la Universidad Nacional de Colombia, a su vez es codirector en el proyecto, su principal interés es el de mejorar la adquisición de los datos. CECIMAR es el centro de estudios en ciencias del mar de la Universidad Nacional de Colombia, su principal interés en el proyecto es el de desarrollar las tecnologías marinas necesarias para la obtención de datos, puede brindar recursos que pueden ayudar con el desarrollo de este.

Escollera es un comercio que se ubica en el espacio donde se va a realizar la experimentación, son los dueños del espacio y su preocupación está en conservar y mejorar la naturaleza que rodea el comercio.

La comunidad hace referencia a las personas que habitan y trabajan alrededor del espacio de experimentación por lo que pueden afectar los dispositivos, su interés está en que estos no interfieran en el día a día de su trabajo. También está la posibilidad de que afecten los dispositivos por desconocimiento.

La UNAL como universidad pública muestra en el proyecto un interés académico y empresarial debido a las oportunidades laborales que pueden suceder del mismo, estas oportunidades pueden beneficiar al estudiantado en forma de prácticas y pasantías.

| Actores | Tipo de organización | Roles de actores | Interés principal | Capacidades | Tipo de actitud |
|-------------|-----------------------------|--------------------------|---|---|-----------------|
| Sven Zea | Investigador | Co-director del proyecto | Mejorar la adquisición de datos | Conocimiento y recursos | + |
| CECIMAR | Pública | Patrocinador | Apoyar desarrollo científico de tecnologías marinas | Proporcionar recursos | + |
| La Esollera | Privada | Propietario del espacio | Mejorar el ambiente alrededor de la esollera | Proporcionar el espacio de trabajo | + |
| Comunidad | Organizaciones comunitarias | Población adyacente | Conservación del atractivo turístico del lugar | Robo de dispositivos, dañar dispositivos, apoyar como simpatizantes | / |
| UNAL | Pública | Patrocinador | Alianza académico-empresarial | Proporcionar financiamiento | + |
| Microlink | Privada | Proveedor y fabricante | Trabajo en su línea de trabajo | Proporciona materiales, ensamble, laboratorios y conocimiento | + |

Figura 3. Tabla de actores

2.4. La problemática, objetivos y modalidad

Considerando los antecedentes presentados y la investigación desarrollada en “*Caracterización de variables físicas en La Esollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano*” [2]. Se encontró que no se dispone de información confiable y en tiempo real de variables fisicoquímicas que afectan la biodiversidad de ecosistemas marinos de la costa del caribe colombiano (La Esollera, Santa Marta), como: pH, Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto. Esta falta de información se debe principalmente a que no existe una independencia energética de los sensores y poco presupuesto para la realización de estos. Es de vital importancia, disponer de datos confiables y en tiempo real que permitan profundizar en el entendimiento y conservación de estos ecosistemas pues son de especial interés estatal y cruciales desde el punto de vista económico y ecológico.

OBJETIVOS

- Diseñar un circuito que permite el sensado y transmisión de variables fisicoquímicas de interés (temperatura, conductividad y oxígeno disuelto) en un ecosistema de manglar como lo es La Esollera, Santa Marta.
- Diseñar un prototipo de boya flotante que permita la contención y protección del circuito eléctrico encargado de la medición de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto en La Esollera, Santa Marta.
- Proponer un análisis energético del circuito y una alternativa sostenible que permita la independencia energética del circuito.

MODALIDAD: Innovación

Actualmente existe información de referencia respecto a la problemática encontrada y respecto a herramientas claves para el planteamiento de las soluciones, además se cuenta con un equipo de trabajo con habilidades técnicas variadas que contribuye proporcionando puntos de vista desde distintas disciplinas de ingeniería. La innovación respecto a las tecnologías investigadas en los antecedentes presenta una ventaja comparativa con respecto a la obtención de datos de calidad y en tiempo real de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto, que posteriormente podrían ser adaptadas y utilizadas en otras ubicaciones con condiciones y problemáticas similares. Razones por las cuales se escogió la modalidad de innovación.

2.5. Análisis de la pregunta esencial

Pregunta Esencial: ¿Cómo podemos implementar un desarrollo tecnológico que contribuya a suplir la falta de información confiable y en tiempo real de variables fisicoquímicas que afectan la biodiversidad de ecosistemas de manglar como La Esollera, con el propósito de monitorear adecuadamente los ambientes marinos aportando al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 14: Vida submarina)?

Metodología utilizada para el planteamiento de la pregunta esencial: Inicialmente se desarrolló una matriz Vester en la que se tuvieron en cuenta factores como las problemáticas identificadas, en donde se decidió priorizar la falta de información confiable y en tiempo real de variables fisicoquímicas como las ya mencionadas, además se identificó la ubicación en donde se desarrolla la problemática, La Esollera, Santa marta. Posteriormente se realizó un análisis de los actores y actividades afectadas por la problemática y se encontró que afecta actividades económicas y la conservación de la biodiversidad del ecosistema tratado y por ende es una problemática de interés estatal. Por último, se consideró el tema central de las posibles soluciones y se determinó un posible desarrollo tecnológico.

2.6. Posibles soluciones (3.1. Propuesta de alternativas)

| Item | Metodos | | |
|--------------------------|--|---|---|
| | 1. Toma de muestras y analisis por personas | 2. Toma de muestras y analisis asistido por dispositivos | 3. Toma de muestras automatizadas |
| Descripcion | Toma de muestras del agua en el manglar tomadas por personas para posteriormente ser analizadas en un laboratorio. | Analisis de variables directamente en el cuerpo de agua utilizando sensores manuales. | Analisis por medio de dispositivos remotos ubicados en lugares particulares del cuerpo de agua que no requieren participacion constante humana. |
| Tiempo de muestreo | Semanas | Dias | Minutos |
| Personal capacitado | Toma de muestras y analisis de muestras y datos. | Uso y mantenimiento de los dispositivos y analisis de datos | Analisis de datos y mantenimiento de los dispositivos |
| Participación humana | Alta | Media | Baja |
| Nivel de inversión | Ninguno | Media | Alta |
| Mantenimiento | Ninguno | Calibración y limpieza de los dispositivos cada 30 dias | Calibración y limpieza de los dispositivos cada 15 dias |
| Perdida de equipo | Ninguno | Por desgaste natural, robos, desastres naturales. | Por desgaste natural, robos, desastres naturales. |
| Consumo energetico | Ninguno | Medio | Alto |
| Confiabilidad | Media | Media | Alta |
| Costos de funcionamiento | Movilización por cada muestra | Movilización por los datos y mantenimiento | Movilización por mantenimiento cada dos semanas |
| | Costos de laboratorio | Costos de mantenimiento | Costos de mantenimiento |
| | Personal | Personal | Personal |
| | | Consumo electrico | Consumo electrico |

Figura 4. Tabla posibles soluciones, mejores características resaltadas.

3. Formulación del proyecto

3.1. Propuesta de alternativas

Para las propuestas alternativas se encontró que hay 3 métodos de recolección de datos al tener en cuenta la toma y análisis de datos hecha por personas, asistida por dispositivos o automatizada. En la actualidad se generan proyectos de este tipo utilizando las 3 alternativas. La toma de datos hecha por personas es caracterizada por un tiempo de muestreo muy largos, la necesidad de personal capacitado y de una participación alta de personas, lo más interesante de esta alternativa es que no necesita de altos niveles de inversión inicial y la mayoría de los gastos irían al personal, y a los laboratorios.

Para asistir a las personas con dispositivos necesitamos una mayor inversión inicial, esto nos permitirá disminuir los tiempos de muestra de semanas a días, a diferencia de la primera opción esta requiere de personal especializado capaz de hacer mantenimiento a los dispositivos a utilizar. Finalmente tenemos un proceso de obtención de datos completamente automatizado, esta solución requiere el menor tiempo, pero necesita de la mayor inversión en términos económicos. Requiere un nivel de recursos humanos bajos y aumenta la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

La diferencia más importante para nuestro análisis es la diferencia marcada en el tiempo, que disminuye a medida que automatizamos el proceso. Pero de la misma forma, la tecnificación de la solución implica costes de inversión altos. Implicamos que los mejores resultados pueden verse reflejados en la automatización del proceso, ya que esta no solo disminuye el tiempo de muestreo necesario para el análisis, sino que aumenta la confiabilidad del proyecto, está, a su vez, tiene una repercusión directa sobre las probabilidades de inversión del proyecto. Las repercusiones de esta solución son bajas, ya que la variable que se ve más afectada por la misma (el recurso humano) se vería reflejado en el alto nivel de mantenimiento requerido por la solución. Para mayor detalle remitirse al Anexo 3.

3.2. Evaluación de alternativas

En la tabla de métodos en el apéndice se comparan de manera clara características relevantes de cada método. Desde la perspectiva en que se aborda el proyecto, es decir desde el ánimo investigativo, se tienen 3 ítems de mayor relevancia. Para mayor detalle remitirse al Anexo 3.

3.3. Definición de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)

En la estructura de desglose de trabajo se presenta la división del proyecto de manera organizada y categorizada por fases, subfases y tareas, mediante un gráfico WBS, se presenta el tiempo destinado (109 días), y las relaciones de precedencia en cada una de ellas. El gráfico WBS se encuentra en el Anexo 4.

3.4. Planteamiento del diseño preliminar

Dadas las alternativas para este problema el desarrollo específico para cada metodología sería el siguiente:

Método 1: Se selecciona personal capacitado para tomar muestras en diferentes puntos de la escollera, estas muestras se trasladan a un laboratorio especializado donde se analizan las muestras y finalmente se obtienen los datos de las variables requeridas. Una vez hecho esto a través del tiempo se hace un análisis de los datos para monitorear el estado del ambiente.

Método 2: Se dimensionan y cotizan los diferentes tipos de sensores para su posterior instalación. Los sensores se instalan en el puerto de la Escollera para la recolección de datos, estos datos se almacenan en el sensor y cada dos semanas además del mantenimiento rutinario del sensor se recolectarán. Una vez hecho esto a través del tiempo se hace un análisis de los datos para monitorear el estado del ambiente.

Método 3: Se dimensionan y cotizan los diferentes tipos de sensor para su posterior instalación, de igual manera se procede con los componentes eléctricos, se evalúan en base a los sensores escogidos y las necesidades de comunicación inalámbrica. Una vez escogidos los componentes se hace un análisis energético para determinar la fuente de alimentación. Se debe programar el microcontrolador para leer los sensores y enviar los datos a un Gateway en tiempo real.

Las variables que medirán de acuerdo con lineamientos obtenidos de la investigación y de la guía obtenida de los expertos durante la fase investigativa se tiene que las variables de interés son: Oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura. Puesto que estas variables son indicadores fehacientes y suficientes sobre el estado del ecosistema.

3.5. Conceptos preliminares de ciencias, matemáticas e ingeniería para aplicar en el diseño.

3.5.1. Conceptos de sensores

La información propuesta se encuentra con mayor profundidad en el Anexo 5.

Medición de oxígeno disuelto: Para la medición de OD hay dos métodos usuales: sensores amperométricos y sensores ópticos. Los sensores amperométricos de oxígeno disuelto utilizan una membrana permeable al oxígeno que permite una reacción de reducción química, que produce una señal eléctrica para capturar el valor de concentración de oxígeno disuelto. Estos sensores amperométricos de OD ofrecen mediciones de alta exactitud incluso con niveles bajos de oxígeno en diversos entornos industriales. Por su parte, los sensores ópticos de OD utilizan la tecnología de desactivación de la fluorescencia, que es el resultado de una transferencia de energía entre un cromóforo fluorescente y las moléculas de oxígeno.

Medición de temperatura: Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico. Esta señal conlleva determinados cambios en ese sistema electrónico para la regulación de la temperatura. Los sensores de temperatura más comunes son los termistores, una resistencia cuyo valor varía en función de la temperatura, dentro de los termistores podemos encontrar dos tipos, termistores NTC (Negative Temperature Coefficient) y PTC (Positive Temperature Coefficient).

Medición de conductividad: Los sólidos se encuentran en la naturaleza en forma disueltos. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas.

Internet de las cosas (IoT): Es una red de objetos físicos o personas llamada “cosas” que está integrada con software, electrónicos, red y sensores que le permite a estos objetos recolectar e intercambiar información. El objetivo de IoT es extender la conectividad de internet de aparatos estándar como celulares, tablets y computadoras a aparatos con menor importancia como lo serían una tostadora.

Baterías: Existen múltiples baterías en el mercado, dependiendo de su composición química poseen diversas limitaciones y ventajas. Dependiendo de la aplicación hay diversas características que se deben evaluar, entre las más importantes están: si la batería es de un solo uso (primaria) o si es recargable (secundaria), densidad de energía, densidad de potencia, dimensiones, ciclo de vida, rango de temperatura, voltaje, costo y seguridad. Las baterías de ión de litio son las más populares para aplicaciones de IoT, esto debido a su capacidad de integración con sistemas solares, sus rangos de voltaje, su bajo ritmo de descarga con un mayor ciclo de vida.

Guía de panel solar: Para elegir correctamente un panel solar se debe tener conocimiento sobre la potencia que consume el dispositivo. Esto se realiza primero observando el consumo que consumen los componentes mediante su datasheet.

3.6. Especificaciones del diseño, posibles restricciones, fuentes de incertidumbre y normas específicas a aplicar en la construcción y el diseño de la solución a la problemática.

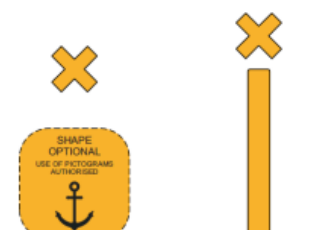
Por lo que la diagonal sería de aproximadamente 213.5 m, la mitad del rectángulo sería de 106.7 m. Se parte de estas distancias iniciales para decidir sobre el protocolo de

comunicación que se debe elegir. Los puntos de lectura específicos y las variables que se desean medir:

La implementación y el control de cualquier sistema de generación fotovoltaico en Colombia tienen que ser llevados a cabo con concordancia a lo establecido dentro del RETIE y de la NTC 2050. Algunos de los reglamentos, limitaciones y requerimientos a notar establecidos dentro de la NTC 2050 NTC 2050.pdf (armada.mil.co), son:

- Se permite que el circuito de la fuente tenga hasta 600 V nominales
- Se deben instalar medios que desconecten a los equipos como lo son baterías, controladores de carga o inversores.
- En todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar de más de 50 V nominales y el conductor del neutro de un sistema trifilar que estén sólidamente puestos a tierra.

Respecto a la normativa para la inclusión de boyas en cuerpos de agua, contamos con el apartado “Marcas especiales” del capítulo “SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA, FLUVIAL Y OTRAS AYUDAS A LA NAVEGACIÓN” del libro “Dirección general marítima” desarrollado por la Autoridad Marítima Colombiana, donde se denotan todas las boyas de propósito no se encuentra dentro de una carta náutica, como Marcas Especiales. Estas marcas especiales, vienen definidas por los parámetros particulares mostrados en la siguiente tabla, extraída directamente de la publicación:



Marcas Especiales

Descripción de las marcas especiales

| | Descripción |
|---------------------------------|--|
| Color | Amarillo |
| Forma de la boya | Cilíndrica con cuerpo visible (marca diurna relacionada con el alcance visual) |
| Marca de tope | Forma de una "X" amarilla |
| Luz Led (cuando está instalada) | |
| Color | Amarillo |
| Ritmo | Grupo de destellos Fl (5) 20 s |
| Pictograma | El uso de pictogramas está autorizado, según lo definido por una autoridad competente. |

Figura 5. Marcas especiales. Tomado de SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA, FLUVIAL Y OTRAS AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

3.7. Aspectos claves del proyecto

3.7.1. Alcance

Con el propósito de contribuir a suplir la falta de información confiable y en tiempo real de variables fisicoquímicas que afectan la biodiversidad de ecosistemas de manglar como La Esollera, se presenta un diseño de un desarrollo tecnológico que se centra en la modelación de los componentes en una herramienta CAD como lo es Inventor Autodesk, además del presupuesto necesario para la construcción del prototipo diseñado (sensores, componentes electrónicos, la carcasa de la boya y el circuito impreso). Cabe aclarar que no se entregará el prototipo construido y funcional, solo la modelación de los componentes de la capa física de una red IoT. El tiempo presupuestado de ejecución de este proyecto son quince semanas y se cuenta con el trabajo de 4 estudiantes de ingeniería (Mecatrónica, Eléctrica y Química). Si se desea obtener información más detallada de las actividades desarrolladas se sugiere revisar el punto 3.7.2 Cronograma.

3.7.2. Tiempo (Cronograma)

El cronograma se presenta acorde al EDT desarrollado, llevando el mismo código de color y manejando espacios por semanas dado el tiempo de desarrollo. El cronograma se encuentra en el Anexo 6.

3.7.3. Costos

A continuación, se hace un cálculo aproximado del costo de una boya prototipo tomando los sensores de la marca WINMORE que entre las marcas que se estudiaron tienen las características más apropiadas. Se considera también el transporte de los sensores desde China para los sensores, para el resto no se considera transporte debido a la posibilidad de conseguirlos en el mercado nacional, por lo que el precio de transporte no se compara al de las sondas. En general tenemos un costo total de \$6572433 COP. *Ver Anexo 7.*

3.8. Viabilidad del proyecto

A continuación, se tratan las alternativas 2 y 3 presentados en el literal 3.4:

3.8.1. Estudio técnico

Se evaluó los rangos de sensado de los dispositivos escogidos para la alternativa 3 (Fabricante WINMORE), *Ver Anexo 9*, de acuerdo con los valores típicos de variables fisicoquímicas para la esollera reportados por [1] se estableció que estos se encuentran dentro de los rangos de medición de los sensores escogidos, además se evaluó el material de construcción de la boya de tal forma que se asegurara su flotabilidad. Con respecto a la alternativa 2 en esta alternativa se tienen sensores que poseen capacidad de almacenamiento de datos, pero no el protocolo rs485 que permite la transmisión de los datos, razón por la cual la alternativa 3 sería más viable con respecto a la alternativa 2.

3.8.2. Estudio de mercado

No se encontró productos similares que estén en comercialización, en el mercado se ofrecen los sensores de pH, conductividad, temperatura y la boya por separado y aunque

el alcance de este proyecto no establece un plan de mercadeo para el producto mencionado en la alternativa 3 se estima que puede representar una ventaja competitiva en el mercado si se resaltan sus ventajas, como la posibilidad de en un desarrollo futuro poder obtener los datos de interés en tiempo real, un dispositivo con sensores integrados e independencia energética. Además, se consideran planes de acompañamiento técnico en caso de comercialización futura, con respecto a la alternativa 2, no presenta las ventajas anteriormente mencionadas y por ende no presentaría una ventaja competitiva.

Aunque el dispositivo desarrollado responde a una necesidad local, como lo es en este caso el sensado de variables fisicoquímicas en la laguna la escollera, se encontraron antecedentes de investigaciones en dispositivos similares y por lo tanto indicios de una necesidad global de estos mismos, pero se aclara que se requiere un estudio más exhaustivo de la demanda global real del producto.

3.8.3. Estudio organizacional y legal

De acuerdo con el marco legal expuesto en el *Anexo 1*, se encontraron disposiciones que establecen este tipo de proyectos enfocados en innovación y vigilancia ambiental como aceptados y promovidos legalmente, no se encontraron restricciones legales para la realización del proyecto. Con respecto a las implicaciones legales de la importación de los sensores se encuentra que esta se debe realizar de acuerdo con el estatuto aduanero (Decreto 2685/99) ante la DIAN. En este caso tampoco se encuentran restricciones legales para la importación de los componentes del prototipo.

3.8.4. Estudio de impacto ambiental

Según la comparación hecha de las tecnologías de sensado *Ver Anexo 9*, se encontró que tanto la alternativa dos como la alternativa tres, presentan ciclos de vida similares para sus componentes. En este sentido el impacto ambiental que generan ambas alternativas son similares.

3.8.5. Estudio de riesgos

En el estudio de riesgos se contempla la posibilidad de que las tapas o baterías de los sensores no sean cambiadas a tiempo y esto represente la pausa o daño de estos mismos, además de otros factores de riesgo sociales, como la posibilidad de hurto de los dispositivos.

3.8.6. Estudio financiero

Para el estudio financiero se obtuvo una comparación de distintos sensores *Ver Anexo 9* de las marcas Atlas Scientific, Vernier, Thermofisher Scientific, Winmore (Alternativa 3) y ONESET (Alternativa 2). Teniendo en cuenta los costos, sus características técnicas y el tipo de sensor (óptico). Se decidió utilizar los sensores de Oxígeno disuelto, temperatura y conductividad del Fabricante WINMORE, los cuales representan menor costo y se adecuan a las necesidades técnicas del proyecto. Por esta razón la alternativa 3 es más viable financieramente.

3.8.7. Conclusión sobre viabilidad

Teniendo en cuenta los estudios de viabilidad hechos anteriormente se concluye que la alternativa mas viable financieramente, a nivel de mercadeo y tecnológicamente es la alternativa 3.

3.9. Matriz del Marco Lógico

| Factor | Lista de factores que afectan el proyecto | Impacto | | | | |
|----------------|--|--------------|----------|-------------|----------|--------------|
| | | Muy Negativo | Negativo | Indiferente | Positivo | Muy Positivo |
| Medioambiental | Pérdida del área total de manglares a nivel mundial durante las últimas dos décadas. | X | | | | |
| | Gestión de Residuos. | | | | X | |
| | Estrategias de Conservación. | | | | | X |
| | Residuos generados por las actividades de monitoreo de variables fisicoquímicas en ecosistemas de interés. | | | | X | |
| Político | Política Nacional de humedales. | | | | X | |
| | Política de turismo sostenible. | | | | X | |
| | Plan de Ordenamiento Territorial (Santa Marta 2020-2032) P.O.T 500. | | | X | | |
| | Proceso de Inflación de Colombia. | | X | | | |
| Económico | Organizaciones y entes interesados en el patrocinio del proyecto y/o Patrocinio de universidades e institutos investigación. | | | | | X |
| Tecnológico | Baja independencia de los sensores empleados actualmente para medir variables fisicoquímicas en la escollera. | X | | | | |
| | Baja disponibilidad de información confiable en tiempo real de las variables fisicoquímicas censadas en la escollera. | X | | | | |
| | Disponibilidad de tecnología de sensado. | | X | | | |
| | Capacidad productiva, regional y del país: empresas y/o talleres especializados. | | X | | | |
| | Paradigma tecnológico: Internet of Things in Marine Environment Monitoring. | | X | | | |
| | Consumo energético. | | | X | | |
| | Soporte Técnico, control y mantenimiento. | | X | | | |
| Sociológico | Aprobación de la comunidad a sistemas de monitoreo marino-costeros. | | | | X | |
| | Evaluación de zona de conflicto. | | | | X | |
| | Factor cultural (Mitos, leyendas, etc). | | | | X | |
| | Opinión pública. | | | | X | |
| Legal | Resolución MADS 157 DE 2004. | | | | | |
| | Decreto 1449 de 1977. | | | | | |
| | Resolución MADS 196 DE 2006. | | | | | |
| | Decreto 3600 de 2007. | | | | | |
| | Resolución 869 de 2013. | | | X | | |
| | Ley 1450 de 2011. | | | | | |
| | Ley 2068 de 2020 | | | | | |
| | Decreto 1875 de 1979. | | | | | |

Figura 6. Matriz de Marco Lógico.

4. Avance del proyecto en TPI1

4.1. Descripción de objetivos, entregables y actividades realizadas

A través de este proyecto se abordarán los siguientes factores que afectan al proyecto: en primera instancia factores tecnológicos como la baja independencia energética de las tecnologías utilizadas actualmente para sensar las variables fisicoquímicas de interés y la disponibilidad de información de estas mismas. Para esto se anexan el diseño del prototipo, un análisis energético y un resumen de los costos de construcción.

4.2. Productos para entregar

Se entregará un modelo CAD de la boya junto con el componente electrónico, imágenes de esto pueden encontrarse en el *Anexo 8*. También se hizo un análisis del consumo energético de los componentes y finalmente un panel solar que se acople a esos cálculos para asegurar la autonomía de la boya. Para detalle extra se tienen todo lo utilizado en el proyecto en el siguiente repositorio: <https://github.com/Denalix/sdfasdfsdfasdfsdf>

4.3. Descripción del prototipo

El prototipo de boya está compuesto por el cuerpo de la boya rellena con poliuretano recubierto por fibra de vidrio la cual requiere flotabilidad y estabilidad con el peso tanto de la boya como de los componentes extra, esta boya tiene un espacio en el cual se posiciona la caja eléctrica donde está el circuito y un techo donde se ubica el panel solar. Finalmente, desde la caja eléctrica se tendrán cables que se vayan hasta los sensores sumergidos. Funciona mediante la toma de datos de interés desde los sensores mediante el circuito, una vez obtenidos los datos se envían a un gateway mediante protocolo LoRa.

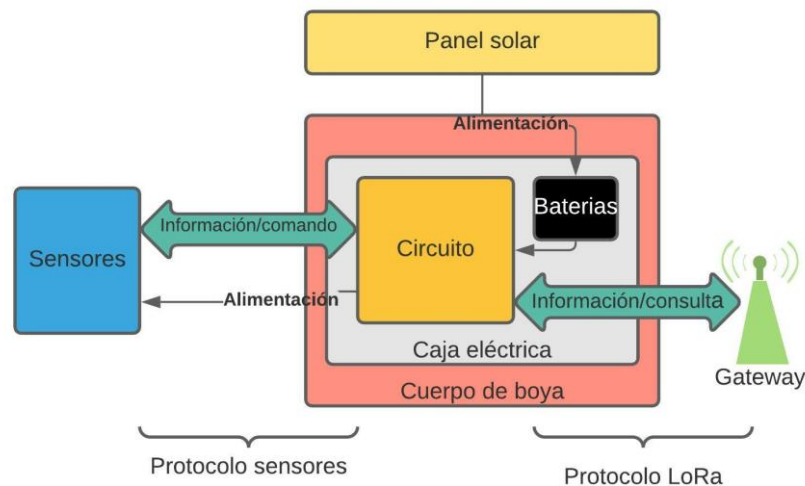


Figura 7. Diagrama de funcionamiento.

Este diseño soluciona el problema de la falta de información confiable y en tiempo real de las variables fisicoquímicas de interés en el ambiente mediante la obtención de estos datos desde los sensores y enviándolos al gateway donde serán visualizados por el usuario. El uso de la energía solar para brindarle independencia la obtener el carácter de sustentabilidad, además de evitar la contaminación con el uso de baterías recargables; se puede afirmar la sostenibilidad de nuestro producto dada su dependencia mínima de acción humana para mantenerse, no genera ninguna disrupción a los procesos sociales de la zona. Se debe resaltar que su uso en ambientes marinos es único en el mercado, es un producto innovador que integra un paradigma tecnológico novedoso (IoT).

4.4. Identificación y diseño de subsistemas

El prototipo está compuesto por un subsistema de transmisión de datos, un subsistema de transmisión eléctrico y un sistema electrónico: el primero conecta a los sensores y al circuito permitiendo el intercambio de información desde el circuito al gateway mediante el protocolo LoRa.; el segundo está compuesto por el panel solar, la batería los cables de alimentación que van desde el panel solar a la batería, de la batería al circuito y del circuito a los sensores; el tercer subsistema se refiere a los componentes eléctricos en el circuito mismo, principalmente el microcontrolador que controla todos los procesos.

4.5. Aplicación de los principios matemáticos, de las ciencias y la ingeniería

Para la decisión del protocolo de comunicación se tuvo que tener en cuenta que las dimensiones del espacio son de 167x133m, por lo que la diagonal sería de 213,5 metros, dividiéndola en 2 dado que se toma el punto central del rectángulo con el lugar donde se colocará el gateway, se tiene que el protocolo debe ser alrededor una distancia igual o mayor a 106,7 metros.

Para el cálculo de consumo energético se utilizaron las siguientes ecuaciones junto con los datos que ofrece cada componente en su respectivo datasheet:

$V_{bateria}$: voltaje batería[V]; $I_{bateria}$: corriente batería [Ah]; $I_{circuito}$: corriente necesaria [Ah]

$$W_{bateria}: potencia\ batería = V_{bateria} * I_{bateria};$$

$$W_{circuito}: potencia\ necesaria = \sum potencia\ de\ cada\ componente$$

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = \frac{W_{bateria}}{W_{circuito}}$$

Se desea que se tenga una autonomía de batería de 24 horas, suficiente para que el sol las recargue

$$24\ horas = \frac{14,8V \cdot I_{bateria}}{3,8874W} \Rightarrow I_{bateria} = \frac{24 \cdot 3,887}{14,8} = 6,3Ah$$

Se necesitan unas baterías con una corriente mayor a 6,3 Ah.

Para el panel solar se hicieron los siguientes cálculos, se utiliza un factor de seguridad recomendado se 1,3:

Consumo diario = 93,3Wh

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{consumo\ diario}{Hora\ solar\ mínima} = \frac{93,3Wh}{3,3h} * 1,3 = 36,75W$$

Se debe tener solo un panel solar por la limitación del espacio en el techo de la boya:

$$Número\ de\ módulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ módulo}$$
$$\Rightarrow Potencia\ del\ módulo = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Número\ de\ módulos} = \frac{36,75W}{1} = 36,75W$$

Por lo tanto, se elige un panel solar de 40W y baterías de 7 Ah.

4.6. Especificaciones, restricciones y requerimientos del producto final

- Criterio de flotabilidad: densidad total mayor a la densidad del agua.
- Baterías con capacidad mayor a 6,3 Ah.
- Panel solar con potencia mayor a 36,75 W.
- Protocolo para una distancia alrededor de 106,7 m, debe tener bajo consumo de energía y de ser posible bajo costo de uso.
- Protección de la caja eléctrica de la menos IP67.

4.7. Avance del cronograma (Diagrama de Gantt)

En el anexo 10 se encuentra el cronograma usado en el semestre junto con el diagrama de gantt. Se llegó a concluir el objetivo y el alcance que se propuso.

4.8. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones se ven en los siguientes tres puntos:

4.8.1. Las implicaciones teóricas y prácticas del proyecto.

El proyecto implica cumplir con requerimientos teóricos propios de cada subsistema, estos también requieren una extensa documentación para la aplicación del proyecto, pero al final no requerirá de este conocimiento para ser operado. Las implicaciones prácticas son el desarrollo del cuerpo y del circuito, pero principalmente la aplicación del paradigma IoT en ambientes marinos, esta es la mayor implicación práctica.

4.8.2. Sus posibles aplicaciones prácticas a eventos de los entornos reales.

El proyecto es muy versátil, la mayor inversión fue en los sensores por lo que añadir o quitar sensores es lo que representa mayor influencia en los costos, la boya propiamente puede adaptarse para medir variables meteorológicas. Sus principales aplicaciones son para entornos investigativos.

4.8.3. Las limitaciones del proyecto.

Está limitada a entornos calmos, sería difícil que soportara las fuerzas de las corrientes en mar abierto sin tumbarse. Otra limitación posible sería una falta de luz solar que no permitiera la recarga de las baterías, esta es una preocupación pues el lugar goza de iluminación solar adecuada y los cálculos se realizaron tomando como referencia los valores en la época con menos luz solar en la zona.

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Laguna la Esollera, Santa Marta (Colombia). Tomada de Google Earth..... | 2 |
| Figura 2. Matriz PESTAL..... | 4 |
| Figura 3. Tabla de actores | 5 |
| Figura 4. Tabla posibles soluciones, mejores características resaltadas. | 6 |
| Figura 5. Marcas especiales. Tomado de SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA, FLUVIAL Y OTRAS AYUDAS A LA NAVEGACIÓN” | 10 |
| Figura 6. Matriz de Marco Lógico..... | 13 |
| Figura 7. Diagrama de funcionamiento..... | 14 |

Referencias

[A. B. S. G. T. V. Q. S. D. Claudia Kuenzer, «Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A
1 Review,» *mdpi*, 2011.
]

[N. E. G.-L. Sven Zea, «Caracterización de variables físicas en La Esollera, una laguna
2 costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano,» *Boletín de Investigaciones Marinas y*
] *Costeras*, vol. 40, nº 2, pp. 25-48, 2020.

[«Connected Mangroves’ project in Kampung Dato Hormat, Sabak Bernam, Selangor,» [En
3 línea]. Available: [https://www.ericsson.com/en/press-releases/2/2019/3/ericsson-and-edotco-](https://www.ericsson.com/en/press-releases/2/2019/3/ericsson-and-edotco-malaysia-partner-to-grow-connected-mangroves-project)
] [malaysia-partner-to-grow-connected-mangroves-project](https://www.ericsson.com/en/press-releases/2/2019/3/ericsson-and-edotco-malaysia-partner-to-grow-connected-mangroves-project).

[G. N. d. Colombia, «Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la
4 equidad,» 2018-2022. [En línea]. Available:
] <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>.

[A. d. S. Marta, «Plan de Ordenamiento Territorial (Santa Marta 2020-2032) P.O.T 500,» 2020-
5 2032. [En línea]. Available:
] https://www.santamarta.gov.co/sites/default/files/diagnostico_anexodimensionambiental.pdf.

Anexos técnicos

Anexo 1

Cuadros y preguntas Guía para el análisis PESTEL

| Factor | Lista de factores que afectan el proyecto | Impacto | | | | |
|----------------|--|--------------|----------|-------------|----------|--------------|
| | | Muy Negativo | Negativo | Indiferente | Positivo | Muy Positivo |
| Medioambiental | <i>Pérdida del área total de manglares a nivel mundial durante las últimas dos décadas.</i> | x | | | | |
| | <i>Gestión de Residuos:</i> plan de gestión de residuos peligrosos, plan gestión de residuos de envases y empaques (No se encuentran inscritos gestores transformadores de envases o empaques en la jurisdicción de CORPAMAG. (2021/09/29)) y gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). https://www.corpamag.gov.co/informacion-ambiental/gestion-de-residuos | | | | x | |
| | <i>Estrategias de Conservación:</i> | | | | | x |
| | <i>Residuos generados por las actividades de monitoreo de variables fisicoquímicas en ecosistemas de interés: Fibra de vidrio, sensores, circuito, baterías, materiales poliméricos, entre otros.</i> | | x | | | |
| Político | Política Nacional de humedales (MinAmbiente 2002): Por medio de la cual se establece la estrategia de conservación y manejo de pantanos, ciénagas, lagunas, lagos y demás ecosistemas hídricos continentales. http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/polit_nal_humedales_int_colomb | | | | x | |

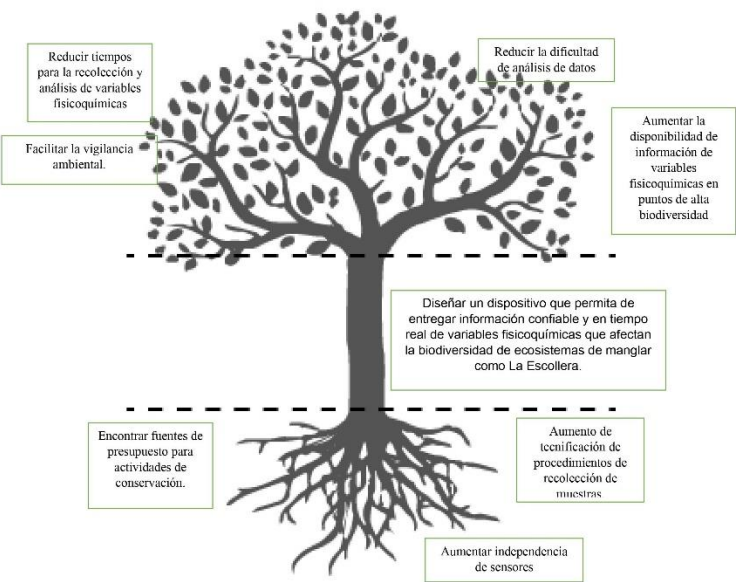
| | | | | | | |
|-------------|--|---|---|---|--|---|
| | ia.pdf Política de turismo sostenible: Considera la dimensión ambiental de la sostenibilidad, por considerar al turismo como un servicio ecosistémico. https://www.mincit.gov.co/minturismo/calidad-y-desarrollo-sostenible/politicas-del-sector-turismo/politica-de-turismo-sostenible/documento-de-politica-politica-de-turismo-sostenib.aspx | | | | | |
| | Plan de Ordenamiento Territorial (Santa Marta 2020-2032) P.O.T 500: En este se considera una recopilación de la normativa ambiental relacionada a la conservación de los manglares y se definen los sistemas de manglar como suelos de protección ambiental, pero no se encuentra definida la ronda hídrica de los humedales. (https://www.santamarta.gov.co/sites/default/files/diagnostico_anexodimension_ambiental.pdf) | | | x | | |
| Económico | <i>Organizaciones y entes interesados en el patrocinio del proyecto y/o Patrocinio de universidades e institutos investigación:</i> Comisión Colombiana Del océano (https://cco.gov.co/), Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Ministerio de ambiente de Colombia. | | | | | x |
| | Inflación de Colombia: Este proceso económico que provoca la pérdida de poder adquisitivo del peso colombiano impacta directamente en la capacidad de compra de equipos de sensado que actualmente son principalmente equipos de importación. Según lo estimado por los entes correspondientes la inflación del peso colombiano superó el 5%. | | x | | | |
| Tecnológico | <i>Baja independencia de los sensores empleados actualmente para medir variables fisicoquímicas en la escollera.</i> | x | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|--|
| | <i>Baja disponibilidad de información confiable en tiempo real de las variables fisicoquímicas censadas en la escollera.</i> | x | | | | |
| | <i>Disponibilidad de tecnología de sensado:</i> Actualmente los equipos de sensado son equipos de importación de fabricantes como: Thermo Fisher Scientific, Atlas Scientific, Winmore y Vernier. | | x | | | |
| | <i>Capacidad productiva, regional y del país: empresas y/o talleres especializados:</i> No se encuentran antecedentes de proveedores nacionales directos de tecnología de sensado marina. | | x | | | |
| | <i>Paradigma tecnologico: Internet of Things in Marine Environment Monitoring</i> | | x | | | |
| | <i>Consumo energético</i> | | | x | | |
| | <i>Soporte Tecnico, control y mantenimiento:</i> | | x | | | |
| | <i>Dimensionamiento (pequeño, grande):</i> | | | x | | |
| Sociológico | <i>Aprobación de la comunidad a sistemas de monitoreo marino-costeros:</i> No se encontró un antecedente de desaprobación. | | | | x | |
| | <i>Evaluación de zona de conflicto:</i> Según informes del centro de memoria histórica no se cataloga como zona de conflicto. | | | | x | |
| | <i>Factor cultural (Mitos, leyendas, etc):</i> Hasta el momento no se ha encontrado un factor cultural que dificulte la aplicación de la tecnología de monitoreo. | | | | x | |
| | <i>Opinión pública:</i> La opinión pública favorece las tecnologías que facilitan el monitoreo de factores ambientales. | | | | x | |

| | | | | | | |
|-------|---|--|--|---|--|--|
| Legal | <p><i>Resolución MADS 157 DE 2004:</i> A través de la cual se reglamenta el uso sostenible, manejo y conservación de los humedales.</p> <p><i>Decreto 1449 de 1977:</i> En donde se señala que los humedales deben tener un área forestal protectora de 30 metros de ancho como mínimo.</p> <p><i>Resolución MADS 196 DE 2006</i> En la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.</p> <p><i>Decreto 3600 de 2007</i> A través del cual se definen como suelo de protección a las áreas de especial importancia ecosistémica como los manglares, entre otros.</p> <p><i>Resolución 869 de 2013:</i> A través del cual se identifican y declaran zonas de interés ambiental a los humedales existentes dentro del perímetro urbano del Distrito de Santa Marta.</p> <p><i>Ley 1450 de 2011:</i> Según la cual se pueden restringir las actividades agropecuarias, mineras o de exploración de alto impacto con base en estudios ambientales, económicos, sociales y técnicos, adoptados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o quien haga sus veces.</p> <p>https://www.santamarta.gov.co/sites/default/files/diagnostico_anexodimension_ambiental.pdf</p> <p><i>Ley 2068 de 2020:</i> Por medio de la cual se fomenta la sostenibilidad e implementan mecanismos para la conservación, protección y aprovechamiento de los destinos y atractivos turísticos.</p> <p><i>Decreto 1875 de 1979:</i> En el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y</p> | | | x | | |
|-------|---|--|--|---|--|--|

| | | | | | | |
|--|---------------------|--|--|--|--|--|
| | otras disposiciones | | | | | |
|--|---------------------|--|--|--|--|--|

Árbol de Objetivos



Anexo 2

Escollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano [2], se desarrolló una investigación de la laguna La Escollera, respecto a variables características como temperatura, salinidad, oxígeno, pH, extinción de la luz y nivel del mar y se encontró características que la hacen una zona ideal de estudio como, su conexión con el mar, su ecosistema con manglares y su estatus de propiedad privada, lo que facilita condiciones de seguridad para los equipos involucrados en el estudio.

En “*Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review*” [1] se hace una revisión de distintos trabajos que tratan el tema de sensado remoto de manglares sus métodos y resultados que muestran la reducción de ecosistemas de manglares en el mundo, la distribución de estos ecosistemas en oriente y occidente, además de explicar de manera muy comprehensiva la importancia medioambiental y económica de estos ecosistemas.

En el proyecto “*Connected Mangroves’ project in Kampung Dato HORMAT, Sabak Bernam, Selangor*” [3] liderado por la compañía Ericsson se utiliza tecnología IoT y de computación en la nube en las regiones de Filipinas y Malasia, con la intención de ayudar a las comunidades a manejar de mejor manera el crecimiento de nuevos manglares. Toma muestras regularmente de la tierra, la humedad, incendios entre otros, y envía esta información en tiempo real a una plataforma que permite su visualización.

Anexo 3

Alternativas de solución propuestas

| Item | Metodos | | |
|----------------------------|--|---|---|
| | 1. Toma de muestras y analisis por personas | 2. Toma de muestras y analisis asistido por dispositivos | 3. Toma de muestras automatizadas |
| Descripcion | Toma de muestras del agua en el manglar tomadas por personas para posteriormente ser analizadas en un laboratorio. | Analisis de variables directamente en el cuerpo de agua utilizando sensores manuales. | Analisis por medio de dispositivos remotos ubicados en lugares particulares del cuerpo de agua que no requieren participacion constante humana. |
| Tiempo de muestreo | Semanas | Dias | Minutos |
| Personal capacitado | Toma de muestras y analisis de muestras y datos. | Uso y mantenimiento de los dispositivos y analisis de datos | Analisis de datos y mantenimiento de los dispositivos |
| Participación humana | Alta | Media | Baja |
| Nivel de inversión | Ninguno | Media | Alta |
| Mantenimiento | Ninguno | Calibración y limpieza de los dispositivos cada 30 dias | Calibración y limpieza de los dispositivos cada 15 dias |
| Perdida de equipo | Ninguno | Por desgaste natural, robos, desastres naturales. | Por desgaste natural, robos, desastres naturales. |
| Consumo energetico | Ninguno | Medio | Alto |
| Confiabilidad | Media | Media | Alta |
| Costos de funcionamiento | Movilización por cada muestra | Movilización por los datos y mantenimiento | Movilización por mantenimiento cada dos semanas |
| | Costos de laboratorio | Costos de mantenimiento | Costos de mantenimiento |
| | Personal | Personal | Personal |
| | | Consumo electrico | Consumo electrico |

Tiempo de muestreo: El tiempo de muestreo es esencial pues tiempos prolongados entre muestras lleva a una mala aproximación de los datos en el tiempo. Las variaciones instantáneas del método 3 son muy deseadas ya que se podría saber si los sensores se descalibran de manera rápida. La dificultad que implica el método 1 y la poca cantidad de muestras que se podrían obtener en un tiempo determinado lo convierten en un método poco deseable. El método 2 y el método 3 tienen la misma cantidad de muestras.

Personal capacitado: es difícil y costoso entrenar personal por lo que cualquier opción que reduzca la cantidad de personal capacitado requerido es deseable, esto se relaciona con el ítem de participación humana en general, entre menor sea el número de personas necesarias menor es la probabilidad de error humano y de igual manera se reduce la complejidad de la operación. El método que involucra más personal es el método 1 pues involucra una lancha y personal capacitado en toma de muestras por cada muestra, para el método 2 se requiere un tratamiento de los datos que aportan los sensores por personal capacitado, mientras que en el método 3 este tratamiento puede hacerse digitalmente

Confiabilidad: Es de vital importancia la confiabilidad de los datos para asegurar la robustez de la investigación, entre mayor confiabilidad menor es el error respecto a los datos reales. Todos los sensores se descalibran con el tiempo, el método 1 asegura que se calibra el sensor en cada toma de muestras, mientras que tanto el método 2 como el 3 se

deben recalibrar cada 15 días (dos semanas), una ventaja del método 3 sobre el 2 es que al tener valores en tiempo real se apreciarían datos atípicos de manera más rápida.

Otros ítems que se analizan son:

Consumo energético: El consumo energético es más relevante desde el punto de vista económico por la inversión en paneles solares y en las baterías para el método 3, mientras que el método 2 requiere corriente directa y el método 1 no requiere electricidad.

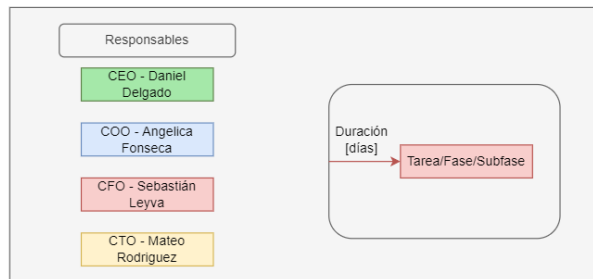
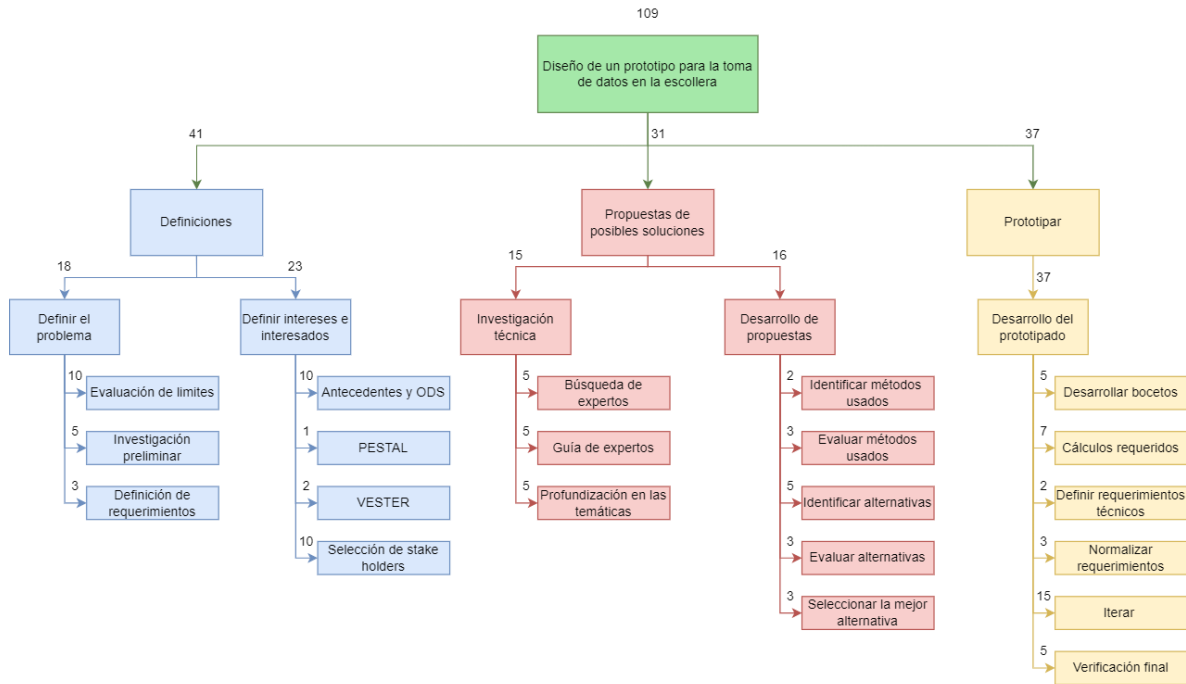
Los ítems respecto a **costos** (costos de funcionamiento, nivel de inversión) se toman como de menor importancia debido a que se asume, dado que es un proyecto de investigación, que se van a tener fondos para gastos altos. Sin embargo se tiene que el método 3 es el más costoso seguido por el método 2 y el más barato el método 1, esto partiendo de la metodología pues si se tomaran desde el precio por muestra el método 1 sería el más costoso.

Los ítems de **pérdida de equipo y mantenimiento** son iguales para los métodos 2 y 3.

Conclusión: Después de analizar todos los ítems propuestos para los métodos que se usan actualmente para la recolección de datos se puede concluir que para las características del proyecto se debe optar por el método 3, especialmente por ser el mejor para los ítems más representativos

Anexo 4

Estructura de desglose de trabajo (EDT)



Anexo 5

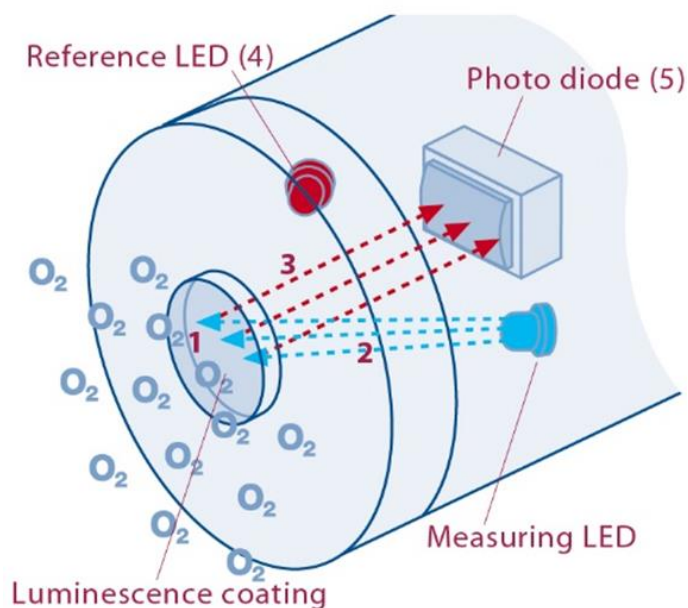
Medición de oxígeno disuelto

Para la medición de OD hay dos métodos usuales: sensores amperométricos y sensores ópticos. Los sensores amperométricos de oxígeno disuelto utilizan una membrana permeable al oxígeno que permite una reacción de reducción química, que produce una señal eléctrica para capturar el valor de concentración de oxígeno disuelto. Estos sensores amperométricos de OD ofrecen mediciones de alta exactitud incluso con niveles bajos de oxígeno en diversos entornos industriales. Por su parte, los sensores ópticos de OD utilizan la tecnología de desactivación de la fluorescencia, que es el resultado de una transferencia de energía entre un cromóforo fluorescente y las moléculas de oxígeno.

La sonda de oxígeno disuelto utiliza el principio de luminiscencia dinámica de oxígeno, mediante la técnica denominada “quenching”.

Mediante la cual se provoca un punto fluorescente activo (1) con una luz azul (2) y se detecta una luz roja luminiscente (3) mediante el diodo fotodetector (5). La presencia de oxígeno modifica el nivel de descomposición fluorescente y la fase cambia, lo que se relaciona directamente con la presión de oxígeno parcial.

El LED de referencia (4) emite impulsos de luz roja de características conocidas en el punto fluorescente (1), que se detectan mediante el diodo fotodetector (5) y se utiliza como señal de referencia. (<https://www.termodinamica.cl/power-dissolved-oxygen>)



Tomado de Medición óptima de oxígeno en centrales de energía, [Medición óptica de oxígeno en centrales de energía / Hach \(termodinamica.cl\)](#)

| | Sensor Amperometrico | Sensor Óptico |
|----------------|--|---|
| Medida | Consume oxígeno en las medidas, se obtienen medidas inestables | Medidas estables, no necesita del consumo de oxígeno durante la prueba |
| Calibración | Polarización de electrodos, calibración frecuente, tiempo de calibración largo | No hay polarización, no debe calibrarse frecuentemente |
| Rendimiento | Respuesta lenta, baja precisión | Tiempo de respuesta de 15 segundos, alta precisión |
| Tiempo de vida | La membrana del electrodo necesita ser reemplazada frecuentemente | No hay una membrana de electrodo, tiempo de servicio mayor a 8000 horas |

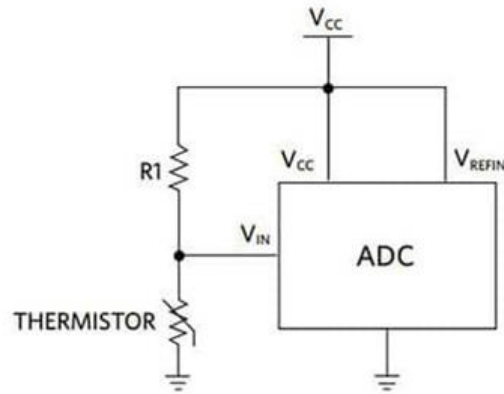
Adaptado de https://aperainst.com/do850-portable-dissolved-oxygen-do-meter-kit?_store=spanish&_from_store=default

Medición de temperatura

Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico. Esta señal conlleva determinados cambios en ese sistema electrónico para la regulación de la temperatura.

También conocido como sonda de temperatura, este sensor se compone principalmente de tres partes. Un elemento sensor, una vaina de material conductor en su interior y un cable que conecta al sistema electrónico en cuestión. Los sensores de temperatura más comunes son los termistores, una resistencia cuyo valor varía en función de la temperatura, dentro de los termistores podemos encontrar dos tipos, termistores NTC y PTC:

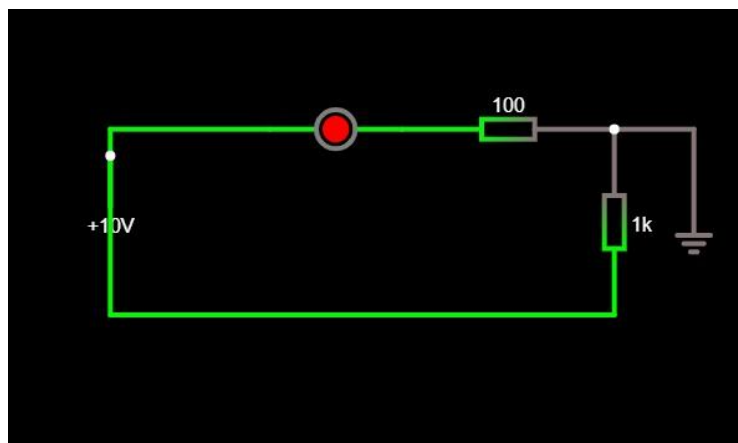
- Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient). La utilización de un sensor de temperatura NTC está especialmente indicada en amplios rangos de temperaturas. A más temperatura, menos resistencia. Suelen estar hechos de magnesio, cobre, níquel o cobalto.
- Termistor PTC (Positive Temperature Coefficient). Estos sensores están indicados para cambios drásticos en la resistencia y la temperatura que se desea controlar. En este caso, a mayor temperatura, mayor será la resistencia. Están contruidos principalmente en titanio de bario.



Tomado de <https://www.digikey.com/en/blog/types-of-temperature-sensors>

Normalmente en un circuito simple podemos implementar un NTC para relacionar directamente la temperatura del ambiente con una led en el circuito.

Se tiene que en una temperatura caliente la resistencia del NTC es baja, al conectar el NTC en un circuito frente a un led podemos ver que la corriente que llega al led es mayor, por lo tanto el brillo del led aumenta, es decir entre más caliente sea la temperatura mayor será el brillo del led.



También podemos determinar el valor que tendrá una resistencia a partir de otra, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

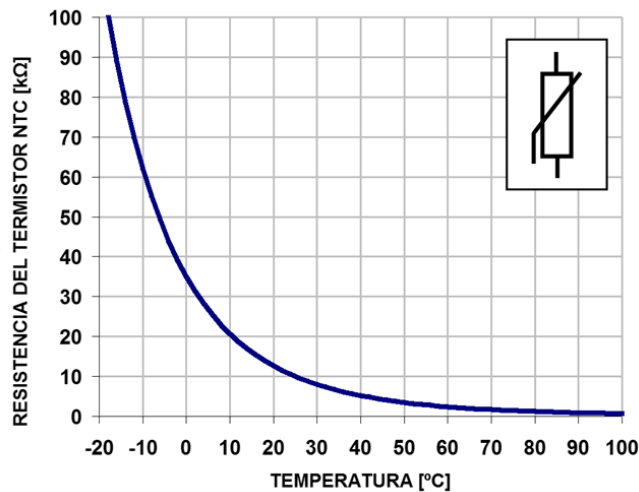
$$R_2 = R_1 e^{\beta \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

Donde e es una constante de valor aproximado a 2.718, y β se calcula a partir de dos valores de resistencia previamente conocidos, tal que

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

Con R_1 y R_2 siendo los valores de resistencia a determinados T_1 y T_2 temperaturas en grados Kelvin.

El funcionamiento de un NTC es plasmado en la siguiente gráfica



Tomado de <https://www.picuino.com/es/arduprog/sensor-temp.html>

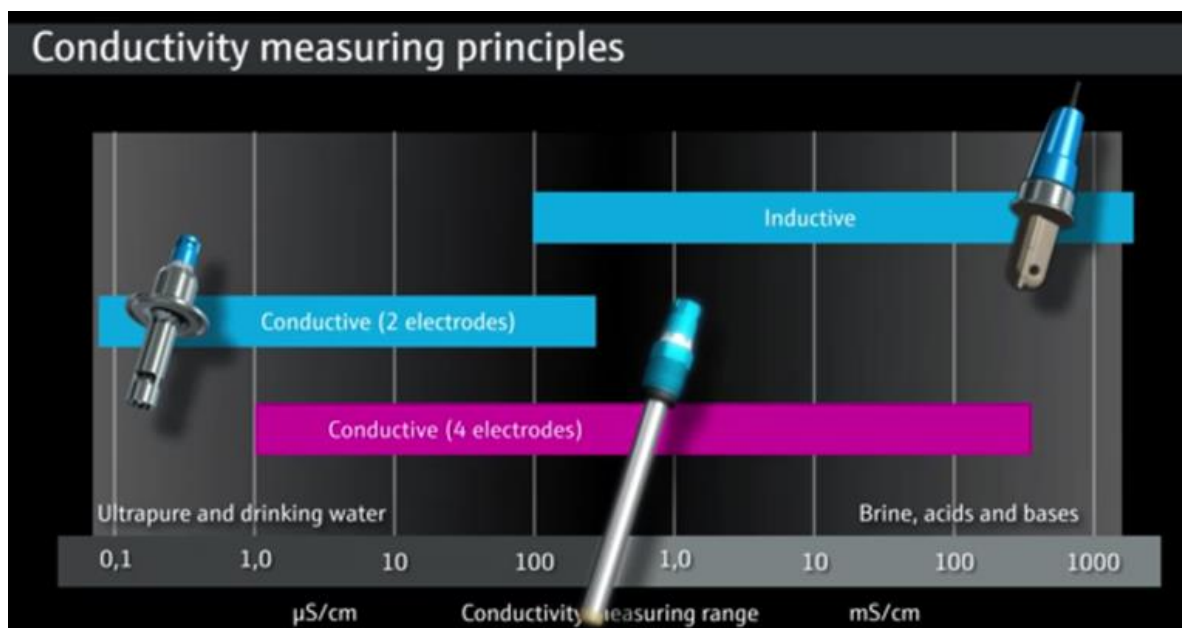
Medición de conductividad

Los sólidos se encuentran en la naturaleza en forma disuelta. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positivamente y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}). Los iones más negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato y bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad, aunque son muy importantes biológicamente.

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Las sales en el mar son principalmente de cloruro de sodio (NaCl). Sin embargo, otras aguas salinas, tales como las de Mono Lake, tienen una salinidad elevada debido a una combinación de iones disueltos como sodio, cloruro, carbonato y sulfato.

En los compuestos iónicos, iones enteros se pueden difundir para conducir la electricidad, aunque estos tienen movilidad muy baja. La aplicación de un potencial de un conductor de líquido hace que la corriente pueda llevarse a través de la solución por partículas disueltas (iones) que tienen cargas eléctricas. Los iones disueltos se mueven más lentamente que los electrones, en función de su geometría, el potencial aplicado, y la temperatura de la solución.

Conductivity measuring principles

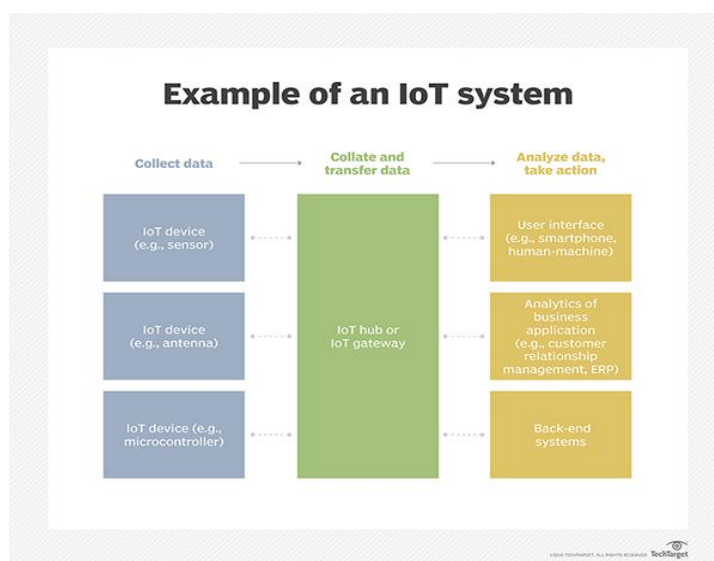


Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=sVcG65dMZfk>

Protocolos de comunicación

¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?

Internet de las cosas (IoT) es una red de objetos físicos o personas llamada “cosas” que está integrada con software, electrónicos, red y sensores que le permite a estos objetos recolectar e intercambiar información. El objetivo de IoT es extender la conectividad de internet de aparatos estándar como celulares, tablets y computadoras a aparatos con menor importancia como lo serían una tostadora.



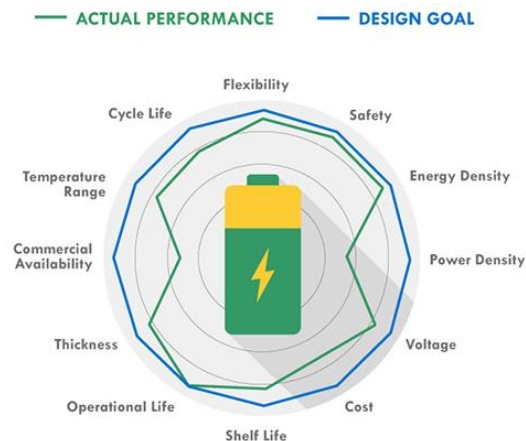
| Attribute | Bluetooth® Low Energy Technology | Wi-Fi | Z-Wave | IEEE 802.15.4 (Zigbee, Thread) | LTE-M | NB-IoT | Sigfox | LoRaWAN |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|----------------|---------------|-------------------|
| Range | 10 m – 1.5 km | 15 m – 100 m | 30 m - 50 m | 30 m – 100 m | 1 km – 10 km | 1 km – 10 km | 3 km – 50 km | 2 km – 20 km |
| Throughput | 125 kbps – 2 Mbps | 54 Mbps – 1.3 Gbps | 10 kbps – 100 kbps | 20 kbps – 250 kbps | Up to 1 Mbps | Up to 200 kbps | Up to 100 bps | 10 kbps – 50 kbps |
| Power Consumption | Low | Medium | Low | Low | Medium | Low | Low | Low |
| Ongoing Cost | One-time | One-time | One-time | One-time | Recurring | Recurring | Recurring | One-time |
| Module Cost | Under \$5 | Under \$10 | Under \$10 | \$8-\$15 | \$8-\$20 | \$8-\$20 | Under \$5 | \$8-\$15 |
| Topology | P2P, Star, Mesh, Broadcast | Star, Mesh | Mesh | Mesh | Star | Star | Star | Star |
| Shipments in 2019 (millions) | ~3,500 | ~3,200 | ~120 | ~420 | ~7 | ~16 | ~10 | ~45 |

Tomado de <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>

Fuentes de alimentación

Baterías

Existen múltiples baterías en el mercado, dependiendo de su composición química poseen diversas limitaciones y ventajas. Dependiendo de la aplicación hay diversas características que se deben evaluar, entre las más importantes están: si la batería es de un solo uso (primaria) o si es recargable (secundaria), densidad de energía, densidad de potencia, dimensiones, ciclo de vida, rango de temperatura, voltaje, costo y seguridad.



Tomado de <https://www.dfrsolutions.com/blog/how-to-select-the-right-battery-for-your-application-part-1-battery-metric-considerations>

Las baterías más comunes se observan en la siguiente tabla, además de sus ventajas, desventajas y aplicaciones usuales:

| A Quick Guide for Common Battery Chemistries | | | |
|--|---|--|---|
| | PROS | CONS | COMMON APPLICATION |
| LEAD ACID | Rechargeable, Extremely Common, High Power Density, Durable, Wide Temperature Range | Low Energy Density, Very Heavy, Large in Size | High Current Demand Applications, Car Batteries, Large Scale Battery Banks |
| ALKALINE | Extremely Common, Cheap, Decent Power Density, Low cost | Susceptible to Natural Rupture, Generally Non-Rechargeable, Short Lifetime | Non-Rechargeable Consumer Electronics, Flashlights, Toys, Household Items |
| NICKEL-METAL HYDRIDE | High Current Ability, Less Susceptible to Memory Issues, Lower Cost | Short Storage Life, Susceptible to Overcharge | Power Tools, RC Airplanes and Drones, Portable Systems |
| LITHIUM ION | Very High Energy Density, Limited Memory Effect, Long Life, Low Maintenance, Rechargeable | High cost, Vulnerable to Stress (and Exploding!), Require Lots of Protection | Space Constrained Products, Weight Constrained Products, Cell Phones, IoT Devices, Electronic Watches |

Tomado de <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/choosing-the-right-battery-for-your-internet-of-things-application>

Las baterías de ión de litio son las más populares para aplicaciones de IoT, esto debido a su capacidad de integración con sistemas solares, sus rangos de voltaje, su bajo ritmo de descarga con un mayor ciclo de vida.

Panel solar

Para elegir correctamente un panel solar se debe tener conocimiento sobre la potencia que consume el dispositivo. Esto se realiza primero observando el consumo que consumen los componentes mediante su datasheet, con esta información se procede mediante las siguientes ecuaciones:

Vb: voltaje batería [V]

Ib: corriente batería [Ah] amperios-hora

Ic: Corriente circuito

Wb: potencia batería

Wc: potencia circuito

$$Wb = Vb \cdot Ib$$

$$Wc = Vb \cdot Ic$$

$$\text{Horas} = Wb / Wc$$

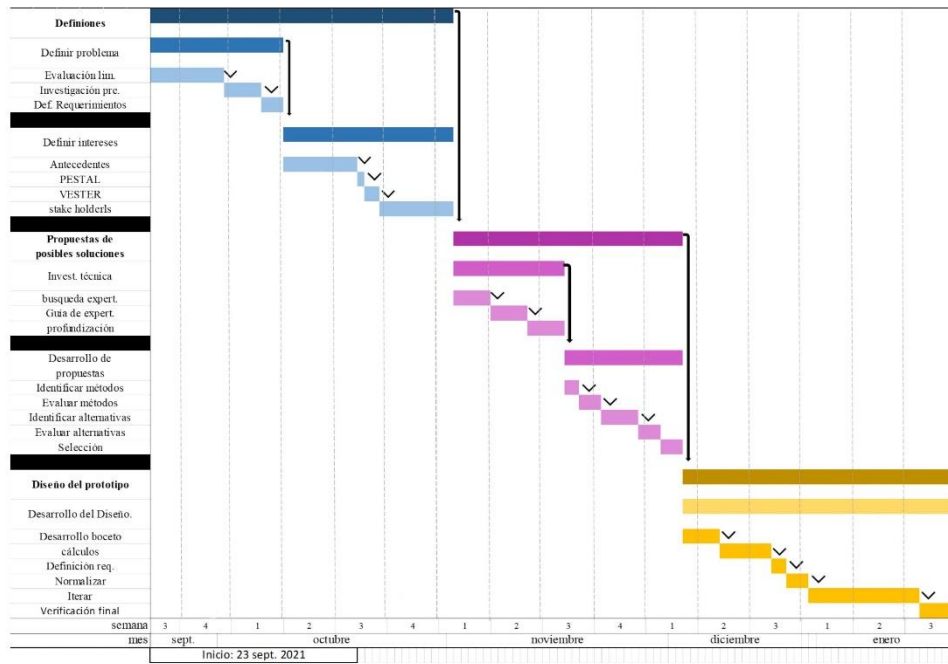
La potencia generada por un panel solar en kilovatios-hora (KWh) depende de la luz que incida en el panel a través del día, la eficiencia del panel y el efecto de la irradiación, la potencia generada por día y por año serían:

$$\text{potencia del panel} \times \text{eficiencia} \times \text{horas de sol al día} = \text{kWh al día}$$

$$\text{kWh al día} \times 365 \text{ días del año} = \text{kWh al año}$$

Anexo 6

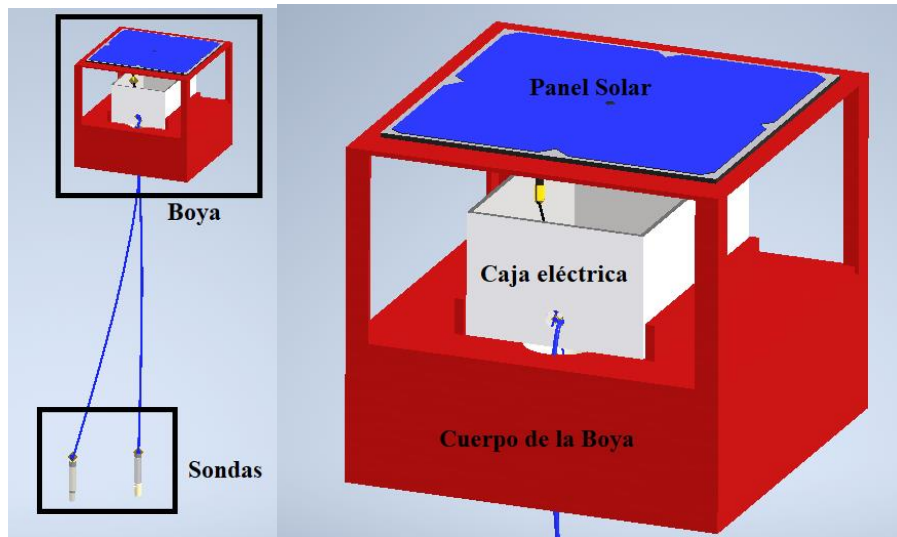
Cronograma de actividades



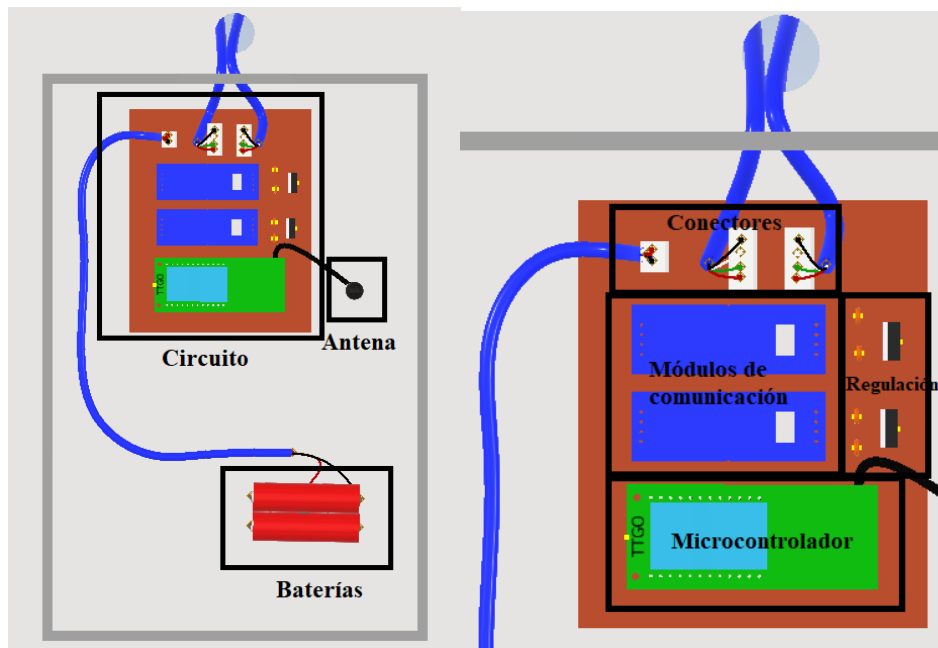
Anexo 7

| Fabricante | Componente | Costo (USD) | cant. | Transporte (USD) | Total (USD) |
|------------|------------------------------------|-------------|-------|------------------|-------------|
| WINMORE | Sensor OD | 554 | 1 | 139 | 693 |
| WINMORE | Sensor conductividad | 357 | 1 | 89 | 446 |
| - | Microcontrolador | 45 | 1 | - | 45 |
| - | Carcasa | 25 | 1 | - | 25 |
| - | Circuito y componentes | 15 | 1 | - | 15 |
| - | Gateway | 518 | 1 | - | 518 |
| - | Panel Solar Policristalino 40w 12v | 33 | 1 | - | 33 |
| | Baterías | 50 | 1 | - | 50 |
| Total | | | | | 1825 |

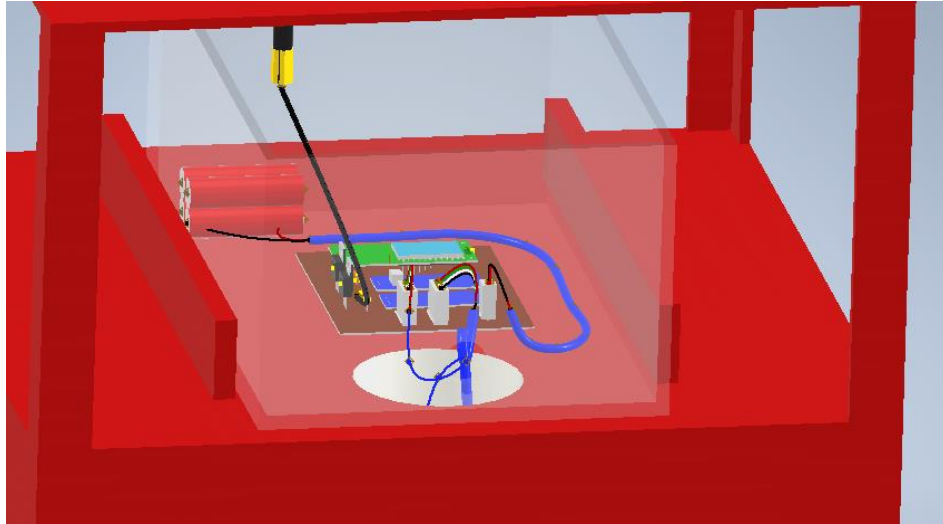
Anexo 8



Izquierda: ensamble general; Derecha: ensamble cuerpo de la boya



Izquierda: Interior caja eléctrica; Derecha: detalle circuito.



Vista de integración entre cuerpo de boya y circuito

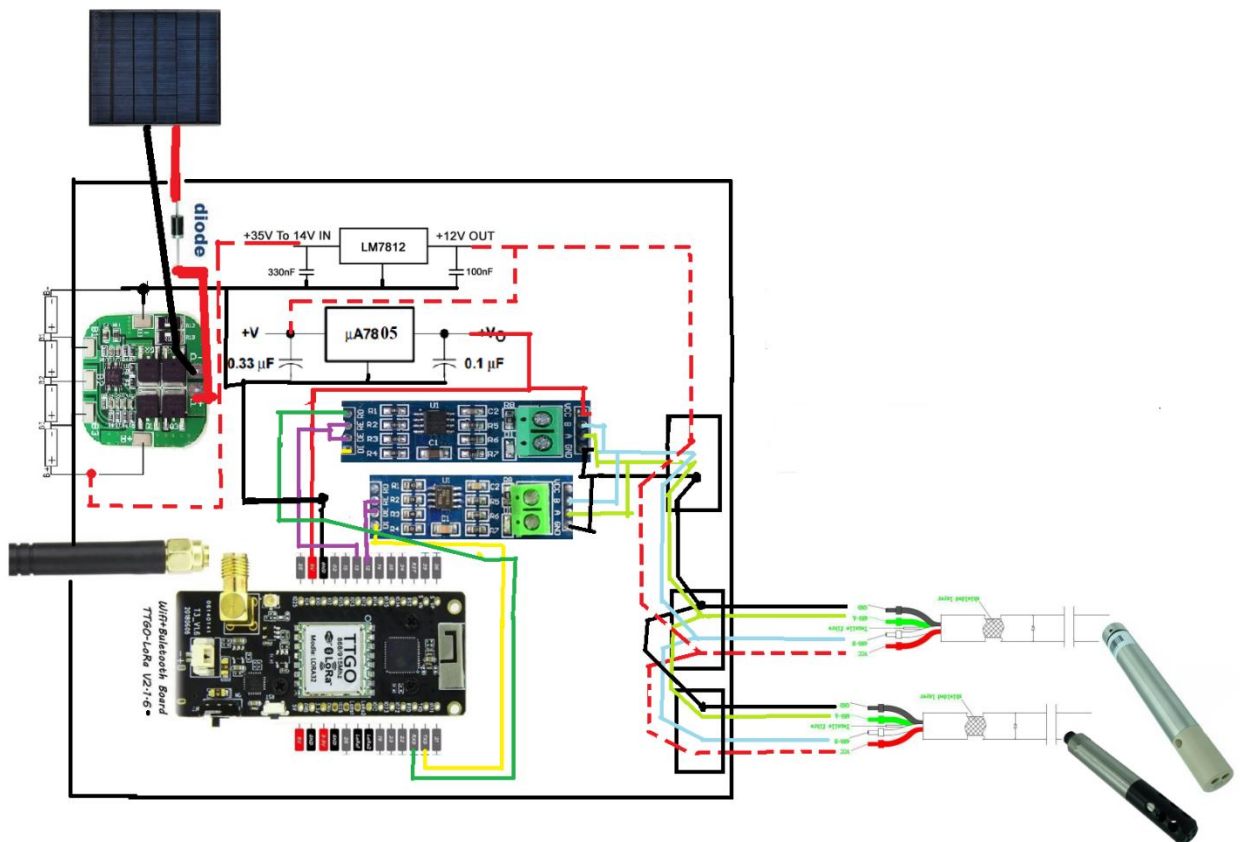


Diagrama de conexiones del circuito

Consumo de energía por boya

| componente | Cant. | Tensión de trabajo | Corriente de trabajo | Potencia de trabajo(Watt) | Horas de uso diario | Consumo diario(Wh/dia) |
|------------------------------|-------|------------------------|---|--|---------------------|------------------------|
| W520 | 1 | DC 5~12V +/- 5% | Current <50mA | 1 W | 24 | 24 |
| W504 | 1 | DC 8-26V ±10% | Current <50mA | 1 W | 24 | 24 |
| LoRa32 ttgo | 1 | 5 V | 10 ~ 14 [mA] | 1 W | 24 | 24 |
| Módulo conversor TTL a RS485 | 2 | 5 V | 500 [uA] (máx) | 830 mW | 24 | 19,92 |
| LM7805 | 1 | 7 – 25 V de entrada* | 5 mA | De 12 a 5 V -> (12-5)*0,005 = 0,035W | 24 | 0,84 |
| LM7812 | 1 | 14 – 35 V de entrada** | -Low standby current only 8mA -Output current is 1.5 Ampere*** | De 14.8 a 12 V -> (14.8-12)*0,008 = 0,0224W | 24 | 0,5376 |
| Total | | | | | | 93,3 |

Anexo 9

Comparación de sensores

| Fabricante | Atlas Scientific | | | Vernier | ThermoFisher Scientific | Winmore | | ONSET | | |
|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|---|----------------------|--------------|-----------------------------------|------------------|
| Variable | Oxígeno disuelto | Conductividad | Temperatura | Oxígeno disuelto (Sensor óptico) | Oxígeno disuelto (Óptico) | Oxígeno disuelto y Temperatura (Óptico) | Conductividad | Temperatura | Conductividad | Oxígeno Disuelto |
| Rango | 0 - 100 mg/L | 10 μ S/cm-1 s/cm | -200°C – 850 °C | 0 - 100 mg/L | 0 - 20 mg/L | 0 - 20 mg/L | 10 μ S/cm-1 s/cm | -20°C – 70°C | 100 μ S/cm - 55000 μ S/cm | 0 to 30 mg/L |
| Precisión | ±/ 0.05 mg/L | ±/ 2% | ±/ 0.15 | | ±/ 0.04 mg/L | ±/ 1% | 1% | ±/ 0.53 | ±/ 5% | ± 0.5 mg/L |
| | | | | | | ±/ 0.2 °C | | | | |
| Tiempo de respuesta | -0.3 mg/L/per sec | 90% in 1s | 90% in 13s | | -0.006 mg/L/per sec | 10 s | 10 s | 90% in 5 min | 90% in 1 sec | 90% in 2 min |
| Rango de temperatura | 1 – 60 °C | 1 – 110 °C | - | | -5 – 50 °C | 0 – 50 °C | 0 – 60 °C | - | -2 °C – 36 °C | -5 to 40°C |
| Profundidad Máxima | 352 m | 141 m | | | | | | 20 m | 70 m | 100 m |
| Longitud del cable | 1 m | 1 m | 81 cm | | | 10 m | 10 m | | | |
| Vida Útil de la batería | | | | | | 1 Año (Tapa) | 1 Año (Tapa) | 1 Año | 3 años | 3 Años |
| Mantenimiento | -18 meses | | | | | 2 semanas | -1 Mes | 2 Semanas | 2 Semanas | 2 Semanas |
| Precio (USD) | - | - | - | - | - | 693 | 446 | 100 | 800 | 1200 |

Anexo 10

Diagrama de Gantt del proyecto

Calendario de proyecto

Proyecto: IoT por los océanos
Fecha de inicio: 23/9/2021
Días planeados de trabajo: 132
Fecha de fin: 2/2/2022

| Si se completó | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------|----------|--------------------|------------|-----------------------|---------------------------------------|
| N° | Descripción de la etapa | Duración de la etapa (días) | Tarea dependiente | Tipo de Dependencia | Días de dependencia | Comienzo | Fin | Responsable | Estatus | Fecha de finalización | Días que efectivamente llevó la etapa |
| Fase 1 Ambientación | | | | | | | | | | | |
| 1 | Conformación de equipos | | | | | | | | | | |
| 1 | Acta de compromiso | | | | | | | | | | |
| Fase 2 Inspiración: contextualización | | | | | | | | | | | |
| 2 | Reunión Inicial | 2 | No Aplica | No Aplica | +0 | 23/09/21 | 24/09/21 | Todos | Completado | 25/09/21 | 3 |
| 3 | Recolección de información | 2 | 1 | FC | +3 | 12/10/21 | 13/10/21 | Todos | Completado | 15/10/21 | 4 |
| 4 | matriz PESTAL | 2 | 2 | FC | +1 | 13/10/21 | 14/10/21 | Todos | Completado | 14/10/21 | 2 |
| 5 | Contexto del problema: matriz VESTER | 2 | 3 | CC | +1 | 27/10/21 | 28/10/21 | Todos | Completado | 28/10/21 | 2 |
| 5.1 | Arbol de problemas | 2 | 5 | FC | +2 | 02/11/21 | 03/11/21 | Todos | Completado | 04/11/21 | |
| 6 | Dimensionamiento del problema | 2 | 5 | FC | +1 | 03/11/21 | 03/11/21 | Jhon | Completado | 03/11/21 | 2 |
| 6.1 | Actores interesados | 1 | 5 | FC | +1 | 03/11/21 | 03/11/21 | Jhon | Completado | 04/11/21 | 2 |
| 6.2 | Insuno: Mapa de actores | 2 | 6 | FC | +1 | 03/11/21 | 04/11/21 | Jhon | Completado | 04/11/21 | |
| 7 | Estado del arte | 1 | 6.1 | CC | +1 | 05/11/21 | 05/11/21 | Daniel | Completado | 06/11/21 | 2 |
| 7.1 | Búsqueda de conocimiento concerniente al | 2 | | CC | +1 | 06/11/21 | 07/11/21 | angelica | Completado | 07/11/21 | |
| 7.2 | Clasificación | 2 | | CC | +1 | 07/11/21 | 08/11/21 | angelica | Completado | 08/11/21 | |
| 7.3 | Selección de la información | 2 | | CC | +1 | 08/11/21 | 09/11/21 | Daniel | Completado | 09/11/21 | |
| 8 | Expertos | 2 | 7 | CC | +1 | 01/11/21 | 05/11/21 | Daniel, Mateo, Ang | Completado | 02/11/21 | |
| 8.1 | Contactar con expertos | 2 | | CC | +1 | 01/11/21 | 02/11/21 | Todos | Completado | 02/11/21 | |
| 8.2 | Concertar reuniones | 2 | | CC | +1 | 04/11/21 | 05/11/21 | Todos | Completado | 05/11/21 | |
| 8.3 | Retroalimentación con el grupo | 2 | | CC | +1 | 09/11/21 | 10/11/21 | Jhon | Completado | 10/11/21 | |
| 9 | Entregables | 2 | | CC | +1 | 10/11/21 | 11/11/21 | angelica | Completado | 11/11/21 | |
| 9.1 | Pitch | 12 | | FC | +1 | 12/11/21 | 23/11/21 | Mateo y Sebastian | Completado | 13/11/21 | 2 |
| 9.1.1 | Selección de la información | 2 | | CC | +1 | 10/11/21 | 11/11/21 | Mateo y Sebastian | Completado | 11/11/21 | |
| 9.1.2 | Elaboración de guión | 2 | | CC | +1 | 08/10/21 | 09/10/21 | Mateo y Sebastian | Completado | 09/10/21 | |
| 9.1.3 | Edición de video | 2 | | CC | +1 | 08/11/21 | 09/11/21 | Mateo y Sebastian | Completado | 09/11/21 | |
| 9.2 | Documento soporte | 2 | | CC | +1 | 12/11/21 | 13/11/21 | | Completado | 13/11/21 | |
| | Fecha límite | 1 | 1 | CC | +1 | 12/11/21 | 12/11/21 | | | 13/11/21 | |
| Fase 3 Formulación e Inspiración: | | | | | | | | | | | |
| 10 | Retroalimentación anterior pitch | 1 | | CC | +1 | 24/11/21 | 24/11/21 | todos | Completado | 25/11/21 | 2 |
| 10.1 | Ver entregables tercer piso | 1 | | CC | +1 | 24/11/21 | 24/11/21 | todos | Completado | 25/11/21 | |
| 10.2 | discusión de ideas sobre infografía para pitch | 1 | | CC | +2 | 24/11/21 | 24/11/21 | luisa | Completado | 26/11/21 | |
| 10.3 | discusión de ideas sobre infografía de asuntos | 1 | | CC | +1 | 24/11/21 | 24/11/21 | Daniel y Maria | Completado | 25/11/21 | |
| 11 | Reunión preparatoria para pitch | 1 | | CC | +1 | 26/11/21 | 26/11/21 | Juan y Mateo | Completado | 27/11/21 | 2 |
| 11.1 | Hacer la infografía de asuntos de género | 5 | | CC | +5 | 26/11/21 | 30/11/21 | Daniel y Maria | Completado | 01/12/21 | |
| 11.2 | Reunión preparación trabajo escrito | 7 | | CC | +5 | 26/11/21 | 02/12/21 | todos | Completado | 01/12/21 | |
| 11.3 | Hacer cuadro comparativo entre soluciones | 7 | | CC | +7 | 26/11/21 | 02/12/21 | Juan y Mateo | Completado | 03/12/21 | |
| 11.4 | Aprender a hacer infografía pulidas en canva | 5 | | CC | +5 | 26/11/21 | 30/11/21 | todos | Completado | 01/12/21 | |
| | Entrega infografía asuntos de género | 5 | | CC | +5 | 03/12/21 | 07/12/21 | Daniel y Maria | Completado | 08/12/21 | |
| Fase 4 de formulación e implementación | | | | | | | | | | | |
| 13.1 | Implementación | | | | | | | | | | |
| 13.2 | Entrega del avance del trabajo escrito | 2 | | CC | +2 | 12/01/22 | 13/01/22 | Daniel y Maria | Completado | 14/01/22 | |
| 14 | Evaluación de desempeños I | 2 | | CC | +2 | 11/12/21 | 14/12/21 | Juan y Mateo | Completado | 15/12/21 | 3 |
| 15 | Preguntas conversatorio TRL | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | todos | Completado | 12/12/21 | 3 |
| 16 | Preguntas conversatorio innovación para el sector rural | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | Juan y Mateo | Completado | 12/12/21 | |
| 17 | Preguntas conversatorio diseño Y ergonomía | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | Daniel y Maria | Completado | 12/12/21 | |
| 18 | Acta de laboratorio I | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | Juan y Mateo | Completado | 12/12/21 | 10 |
| | Acta de laboratorio II | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | Daniel y Maria | Completado | 12/12/21 | |
| | Pitch diseño e innovación | 2 | | CC | +2 | 10/12/21 | 11/12/21 | Todos | Completado | 12/12/21 | |
| Fase 4 Final o Presentación | | | | | | | | | | | |
| 17 | Presentación Final: | | | | | | | | | | |
| 17.1 | Formulación sólida | 2 | | CC | +2 | 12/01/22 | 13/01/22 | Daniel y Maria | Completado | 14/01/22 | |
| 17.2 | Estratégico | 2 | | CC | +2 | 14/01/22 | 15/01/22 | Juan y Mateo | Completado | 16/01/22 | |
| 17.3 | Funcional | 3 | | CC | +3 | 16/01/22 | 18/01/22 | Daniel y Maria | Completado | 19/01/22 | |
| 17.4 | Operativo | 2 | | CC | +2 | 18/01/22 | 19/01/22 | todos | Completado | 20/01/22 | |
| 18 | Solución Pertinente | 5 | | CC | +5 | 20/01/22 | 24/01/22 | Juan y Mateo | Completado | 25/01/22 | 6 |
| 18.1 | Contexto | 2 | | CC | +2 | 21/01/22 | 22/01/22 | todos | Completado | 23/01/22 | |
| 18.2 | Por qué se hizo | 2 | | CC | +2 | 23/01/22 | 24/01/22 | Daniel y Maria | Completado | 25/01/22 | |
| 18.3 | A quién beneficia | 2 | | CC | +2 | 24/01/22 | 25/01/22 | Daniel y Maria | Completado | 26/01/22 | |
| 18.4 | Aportes al conocimiento | 2 | | CC | +2 | 25/01/22 | 30/01/22 | todos | Completado | 31/01/22 | |
| 19 | Entrega Final | 5 | | CC | +5 | 29/01/22 | 02/02/22 | Daniel y Maria | Completado | 03/02/22 | 6 |

