



María Fernanda Martínez Zapata

# PROPUESTA PROYECTO DE GRADO

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE PROYECTO DE GRADO**

**SEMESTRE:** 2021-20  
**FECHA:** 2021-08-09

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniera Electrónica

**ESTUDIANTE:** María Fernanda Martínez Zapata      **CODIGO:** 201716576

**TÍTULO DEL PROYECTO:** CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DEL CARBONATO DE CALCIO ( $CaCO_3$ ) PARA USO COMO SENSOR EN LA MEDICIÓN DE BIOEROSIÓN DE LOS ARRECIFES CORALINOS

**DECLARACION:**

1 - Soy consciente que cualquier tipo de fraude en esta Tesis es considerado como una falta grave en la Universidad. Al firmar, entregar y presentar esta propuesta de Tesis o Proyecto de Grado, doy expreso testimonio de que esta propuesta fue desarrollada de acuerdo con las normas establecidas por la Universidad. Del mismo modo, aseguro que no participé en ningún tipo de fraude y que en el trabajo se expresan debidamente los conceptos o ideas que son tomadas de otras fuentes.

2- Soy consciente de que el trabajo que realizaré incluirá ideas y conceptos del autor y el Asesor y podrá incluir material de cursos o trabajos anteriores realizados en la Universidad y por lo tanto, daré el crédito correspondiente y utilizaré este material de acuerdo con las normas de derechos de autor. Así mismo, no haré publicaciones, informes, artículos o presentaciones en congresos, seminarios o conferencias sin la revisión o autorización expresa del Asesor, quien representará en este caso a la Universidad.

*Maria Martinez*

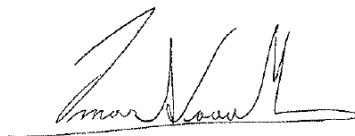
Firma  
Código: 201716576  
CC: 1036967481



---

*Firma*

Nombre: Fredy Enrique Segura-Quijano



---

*Firma*

Nombre: Omar Ariel Nova Manosalva

---

*Firma*

Nombre: Lorena Neira Ramirez



---

*Firma*

Nombre: Juan Armando Sanchez Muñoz

# Contenido

<b>1</b>	<b>PRESENTACIÓN PROPUESTA PROYECTO DE GRADO. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
1.2.1	Antecedentes externos .....	6
1.2.2	Antecedentes locales .....	7
<b>1.3</b>	<b>CARACTERIZACION DEL PROYECTO</b>	<b>7</b>
1.3.1	Objetivos generales .....	7
1.3.2	Objetivos específicos .....	8
1.3.3	Alcance (compromisos) .....	8
<b>1.4</b>	<b>CONTEXTO Y TRATAMIENTOS</b>	<b>8</b>
1.4.1	Supuestos .....	8
1.4.2	Restricciones .....	8
1.4.3	Factores de riesgo .....	9
<b>1.5</b>	<b>CRONOGRAMA</b>	<b>9</b>
1.5.1	Identificación y descripción de hitos .....	10
1.5.2	Cronograma .....	11
<b>1.6</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>11</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>13</b>

## CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

### MARCO TEÓRICO

- Antecedentes externos
- Antecedentes locales

### CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

- Objetivos generales
- Objetivos específicos
- Alcance (compromisos)

### CONTEXTO Y TRATAMIENTOS

- Supuestos
- Restricciones
- Factores de riesgo

### CRONOGRAMA

- Identificación y descripción de hitos
- Cronograma

### RECURSOS

# 1. PRESENTACIÓN PROPUESTA PROYECTO DE GRADO.

MARIA F. MARTINEZ

Desde el avance de la ciencia de materiales y la ingeniería ha crecido la implementación de materiales funcionales por la naturaleza de su respuesta a estímulos eléctricos. Esta característica permite por ejemplo aplicar dispositivos funcionales que pueden medir los estímulos del ecosistema marino sobre los arrecifes coralinos.

## 1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático es típicamente medido utilizando la temperatura promedio de la superficie del planeta. Sin embargo, los océanos absorben aproximadamente el 30% de las emisiones acumuladas de  $CO_2$  y el 80% del calor generado por el creciente aumento de los gases efecto invernadero [1]. Lo anterior, ha llevado al aumento del nivel global del mar, la disminución en el pH del océano, es decir un aumento de la acidez oceánica, afectando la salud de los arrecifes coralinos.

Al ritmo actual, dos terceras partes de los corales de aguas profundas podrían estar en un medio corrosivo a finales de siglo y casi un 30% de los corales tropicales del mundo han desaparecido desde 1980, principalmente por el calentamiento global. De igual forma, la desaparición de los arrecifes de coral supondría un coste de miles de millones de dólares anuales, debido a las pérdidas en la pesca, el turismo y los servicios de protección costera.

Es necesario reducir el impacto en especies dependientes del carbonato como corales y pterópodos, ya que son vitales para contrarrestar el cambio climático, eliminan y reciclan el dióxido de carbono. Aun más, los datos disponibles sobre salinidad y bioerosión como indicadores de cambio climático son escasos, ya que comúnmente no son monitoreados o regulados.



## 1.2 MARCO TEÓRICO

La evaluación no destructiva (NDE) es definida como la que comprende las pruebas y métodos utilizados para examinar un objeto, material o sistema sin afectar su utilidad futura. Para materiales estructurales y funcionales de baja conductividad, NDE se ha convertido en un área interdisciplinaria que abarca la ingeniería aeroespacial, eléctrica y mecánica, así como la ciencia de materiales.

Para esta tesis, se desarrollan métodos NDE para estructuras de baja conductividad, específicamente el enfoque consiste en caracterizar las propiedades dieléctricas del  $\text{CaCO}_3$  como material funcional. Aún más, los sensores capacitivos coplanares son desarrollados para medir la permitividad de estructuras laminares mediante un acceso unilateral.

Por otro lado, esta investigación se sustenta en trabajos previos enfocados al monitoreo del medio marino cuya importancia incrementa debido a la creciente preocupación por el cambio climático. Luego, se diseñan sensores de fibra óptica y biosensores para mediciones de salinidad, temperatura, presión, entre otras variables para la exploración del ecosistema oceánico. En estos, se abarca el diseño y la construcción del sistema de medición y en algunos casos se proponen sistemas de comunicación novedosos para la recolección de datos como la creación de una red de sensores inalámbricos híbridos (WSN), que permita la integración de los sensores de fibra óptica cableados.

Finalmente, se utilizan estudios que miden los cambios eléctricos de compuestos similares al  $\text{CaCO}_3$  como el aluminato de calcio, dando un indicio del protocolo de caracterización que se necesita para este proyecto de grado.

### 1.2.1 Antecedentes externos

Para los propósitos y el enfoque de este proyecto de grado, se tiene en cuenta la referencia [Che12] para todo el fundamento teórico del mismo, ya que aquí se abarca el uso de métodos de evaluación no destructiva (NDE) para materiales con estructura de baja conductividad y funcionales. Además, se divide en secciones específicas para la caracterización dieléctrica del material según el diseño y configuración del sensor capacitivo requerido. Las propiedades dieléctricas de los materiales incluyen la rigidez dieléctrica y la constante dieléctrica o permitividad compleja.

Por otro lado, para la propuesta preliminar de diseño de la posible instrumentación electrónica de este proyecto de grado, inicialmente se usan las referencias [ZG14], [Kua08], [MF12] y [XS19], ya que proveen un primer acercamiento al monitoreo del ecosistema marino mediante sensores de fibra óptica dispuestos en una red de sensores inalámbricos híbridos (WSN), que permita la integración de estos sensores cableados.

Además, el anterior enfoque ha mostrado ventajas sobre otras tecnologías al ser de tamaño pequeño y peso ligero, inmune a interferencias electromagnéticas, resistente a condiciones adversas y capaz de detección distribuida con capacidad de detección remota (in situ), las cuales son características requeridas para el desarrollo de un sistema electrónico embebido en este proyecto. En la referencia [SD16] se tienen en consideración los métodos de campo tradicionales para la medición de bioerosión, con esto es posible determinar el factor diferencial de este proyecto de grado.

Finalmente, dentro de los logros de estas investigaciones, se tienen:



- Un sensor de pH de fibra óptica puede crearse e integrarse con éxito en un módulo WSN como parte integral de una red de sensores inalámbricos híbridos.
- El módulo WSN de los nodos de detección utilizados tiene características avanzadas del WSN, tales como flexibilidad, tolerancia a fallas, alta fidelidad de detección y despliegue rápido usando el protocolo ZigBee.
- Diseño preliminar de una arquitectura física común de sistemas de protección y monitoreo del ambiente marino basado en IoT.
- Resumen de los proyectos y sistemas de seguimiento del medio marino existentes.

### 1.2.2 Antecedentes locales

En [TL17] se puede identificar el desarrollo de un sensor para la detección y medición de concentración de cloruro que se basa en cambios eléctricos de aluminato de calcio (CA) comercial cuando interactúa con soluciones acuosas de cloruro. Para esta investigación desarrollada en conjunto con el grupo CMUA del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de Uniandes, el CA se utiliza como material dieléctrico entre dos condensadores coplanares.

Dentro de los logros de esta investigación se puede resaltar:

- La caracterización eléctrica y estructural de este material ha demostrado que se puede utilizar como capa selectiva en un sensor de conductividad cuyo objetivo es detectar y cuantificar iones de cloruro en el medio ambiente.
- Se propusieron los procesos de diseño y construcción del sensor, considerando las propiedades del aluminato de calcio (CA) y también las de otros materiales de las PCB como los caminos de cobre y placas FR-4.
- El diseño experimental permite determinar que la concentración de cloruro afecta de manera significativa la impedancia relativa medida entre electrodos coplanares.

## 1.3 CARACTERIZACION DEL PROYECTO

Este proyecto de grado propone desarrollar un biosensor novedoso para detectar y medir el desgaste del carbonato de calcio. La viabilidad de este enfoque se abordará al realizar una caracterización eléctrica y estructural del  $\text{CaCO}_3$ , donde se miden los cambios eléctricos del material cuando interactúa con agua de mar bajo parámetros de acidificación específicos. El  $\text{CaCO}_3$  se utiliza como material dieléctrico entre una estructura capacitiva. De esta manera, es posible medir cambios en la permitividad del material y utilizar esta caracterización para el diseño de una instrumentación electrónica. El dispositivo propuesto es un sensor conductimétrico que consta de dos electrodos y una capa selectiva ( $\text{CaCO}_3$ ) que reacciona con agua de mar.

### 1.3.1 Objetivos generales

A continuación, se presentan los objetivos generales del proyecto.

- Caracterizar eléctricamente el compuesto de  $\text{CaCO}_3$  mediante análisis de impedancia, espectroscopía dieléctrica y la respuesta a variaciones en la acidez del agua marina utilizada.
- Usar las mediciones obtenidas sobre una estructura capacitiva utilizando el  $\text{CaCO}_3$  como material dieléctrico con el fin de caracterizarlo eléctricamente.



### 1.3.2 Objetivos específicos

A continuación se presentan los objetivos específicos del proyecto.

- Diseñar y ensamblar una estructura capacitiva utilizando electrodos de cobre para los biosensores de  $\text{CaCO}_3$
- Implementar un banco de pruebas adecuado para las mediciones de  $\text{CaCO}_3$  con condiciones marinas similares.
- Diseñar la instrumentación electrónica preliminar que permita interconectar una red de sensores para mediciones in situ de bioerosión coralina.

### 1.3.3 Alcance (compromisos)

Los alcances del proyecto, para cada una de las etapas, son:

- Funcionamiento estructural del banco de pruebas para la caracterización eléctrica del  $\text{CaCO}_3$ .
- Desarrollo sensor capacitivo para medir propiedades dieléctricas como la permitividad de la estructura.
- Documento con un diseño preliminar de la instrumentación electrónica propuesta.
- Documento análisis de caracterización eléctrica del  $\text{CaCO}_3$  teniendo en cuenta todas las mediciones obtenidas.

La planificación detallada para conseguir estos alcances durante el desarrollo del proyecto se encuentra de manera detallada en el cronograma propuesto, donde se tienen en cuenta dependencias y factores externos que puedan retrasar e incluso impedir el alcance de los mismos.

## 1.4 CONTEXTO Y TRATAMIENTOS

En general, el principal supuesto de esta investigación es que el enfoque propuesto permitirá establecer una relación entre los procesos biológicos (bioerosión de los arrecifes coralinos) con alguna medida eléctrica (cambios en la permitividad del material). Además, se tienen más supuestos al diseñar la posible electrónica submarina con los riesgos biológicos y químicos asociados y con la disponibilidad de equipos e instalaciones para realizar las mediciones.

### 1.4.1 Supuestos

A continuación se presentan los supuestos del proyecto:

- El  $\text{CaCO}_3$  se comporta como un material dieléctrico dentro de un capacitor para que el método de caracterización eléctrica basado en mediciones conductimétricas pueda funcionar.
- Las mediciones de los biosensores de  $\text{CaCO}_3$  se podrán dar de manera continua en el acuario de la universidad para así cumplir con las entregas propuestas.
- La disponibilidad de equipos en la universidad permitirá realizar las mediciones necesarias (análisis de impedancia, espectroscopía dieléctrica, entre otras).

### 1.4.2 Restricciones

En general existe una restricción constante de tiempo, debido a la demora que puede tomar la caracterización de los biosensores. Lo anterior, aunque no limita la investigación en cuanto a posibles soluciones electrónicas, si restringe la implementación de estos diseños o propuestas y





también los datos para el análisis respectivo.

Agregado a esto, dado que para la caracterización se va a utilizar el acuario del edificio J de la universidad, existen restricciones dado el mal estado en el que actualmente se encuentra el acuario, ya que solo puede ser restaurado por externos. Del mismo modo, estamos sujetos a la disponibilidad de préstamo constante de equipos electrónicos especializados por parte del departamento.

### 1.4.3 Factores de riesgo

En esta tesis de grado existen factores de riesgo biológicos y químicos debido a que se trabaja con compuestos expuestos a cambios de pH y temperatura para simular la acidez oceánica, precisamente para poder realizar un paralelo con sus cambios eléctricos.

Del mismo modo, debido a que existen muchas dependencias externas hay factores de riesgo como los tiempos de fabricación de electrónica y de restauración del acuario del edificio J, la disponibilidad de equipos especializados en el laboratorio de IELE, demoras en la fabricación de los biosensores de  $\text{CaCO}_3$ , entre otros. Lo anterior, obedece a la dependencia elevada que se tiene en esta tesis.

## 1.5 CRONOGRAMA

La total ejecución del proyecto tiene una alta demanda de tiempo, especialmente durante la etapa de caracterización, dado que esta etapa tiene muchas dependencias asociadas a su ejecución. Además, al estar monitoreando procesos biológicos como la erosión no se puede acelerar el proceso de medición. A continuación, en las Figuras 1.1 y 1.2 se relaciona cada una de las etapas del proyecto con los días y horas de trabajo requeridos para su ejecución, así como el porcentaje de tiempo requerido por etapa, respectivamente.

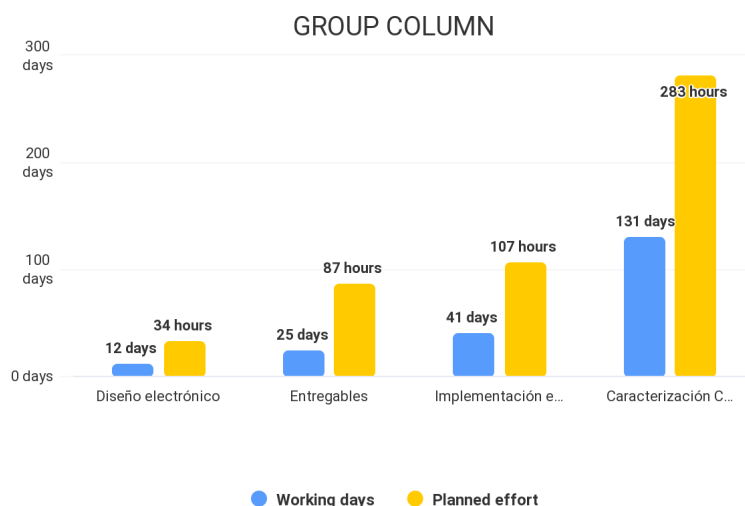


Figure 1.1: Workload: Días y horas de trabajo por etapa

Como se puede evidenciar, la caracterización del  $\text{CaCO}_3$  es la etapa que más requiere tiempo, seguido de los entregables donde se analizarán los resultados de estas mediciones. Por otro lado, el diseño e implementación electrónica son las actividades con menor demanda de tiempo.



GROUP COLUMN

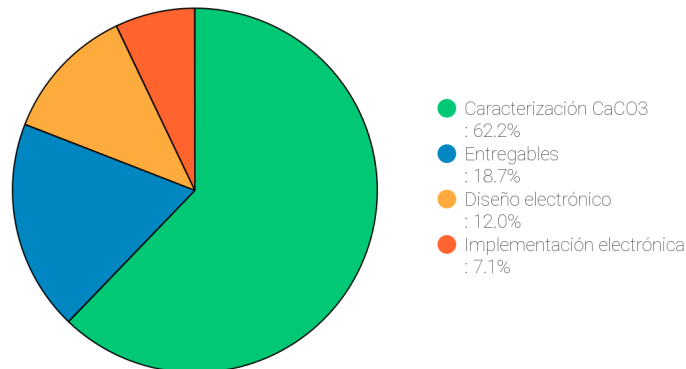


Figure 1.2: Workload: Porcentaje de tiempo requerido por etapa

Lo anterior, es coherente con los objetivos del proyecto, dado que esta tesis de grado está mayoritariamente enfocada a medir y entender el comportamiento eléctrico del  $\text{CaCO}_3$ .

### 1.5.1 Identificación y descripción de hitos

A continuación, se presenta la identificación y descripción de hitos para la realización del proyecto, en este caso se tiene un hito por cada etapa. En las Figuras 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 se organizan las actividades programadas por etapa, en este caso todas las actividades pertenecen a la categoría de planeadas y los hitos están listos para revisión. Sin embargo, a medida que se avanza en el proyecto, el estado de estas actividades se modifica, mientras algunas se cumplen en el tiempo, otras estarán en progreso y en otras habrá demoras.

Lo anterior, influirá en los hitos identificados, que aunque tienen fechas exactas de revisión dependen del avance en cada una de las actividades del proyecto y se pueden modificar de manera automática en la herramienta Monday, donde se le asignan dependencias.



Figure 1.3: Caracterización del  $\text{CaCO}_3$ : Hito 1- Septiembre 30

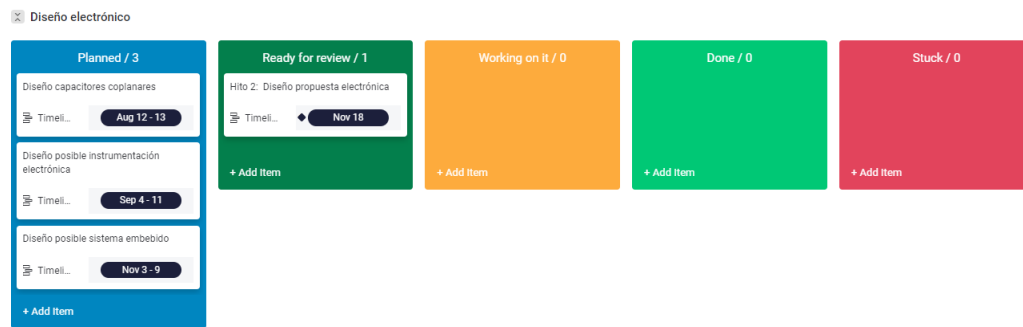


Figure 1.4: Diseño electrónico: Hito 2- Noviembre 18

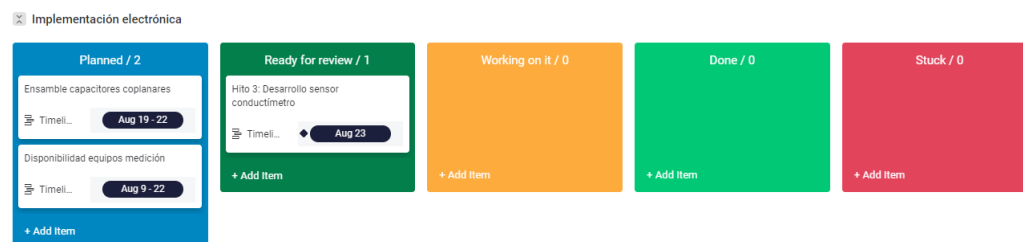


Figure 1.5: Implementación electrónica: Hito 3- Agosto 23

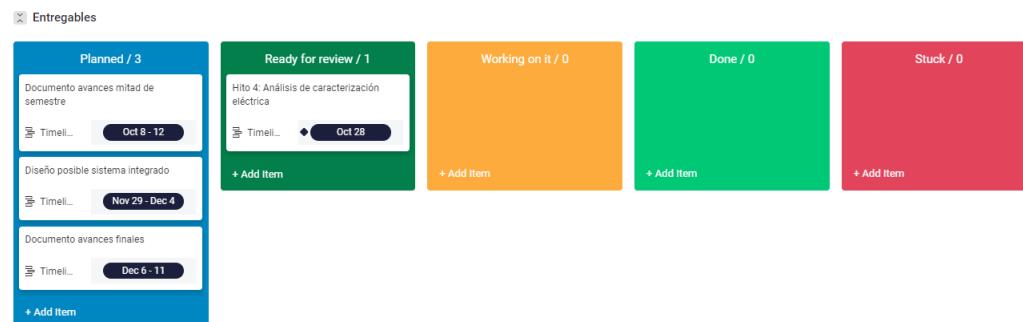


Figure 1.6: Entregables: Hito 4- Octubre 28

### 1.5.2 Cronograma

A continuación se presenta el cronograma para la realización del proyecto, además del cronograma semana a semana para el seguimiento y cumplimiento de la planificación propuesta en el seminario.

## 1.6 RECURSOS

Se requieren equipos de medición eléctrica como analizador de impedancias, medidor de pH, temperatura, entre otros. Además, insumos químicos y biológicos para mantener las condiciones del banco de pruebas adecuadas (nivelador de pH, compuestos especiales para simular el ecosistema marino). Se requiere destinar un presupuesto en la fabricación de circuitos impresos en el laboratorio de IELE y compras nacionales.



## Capítulo 1. PRESENTACIÓN PROPUESTA PROYECTO DE GRADO.

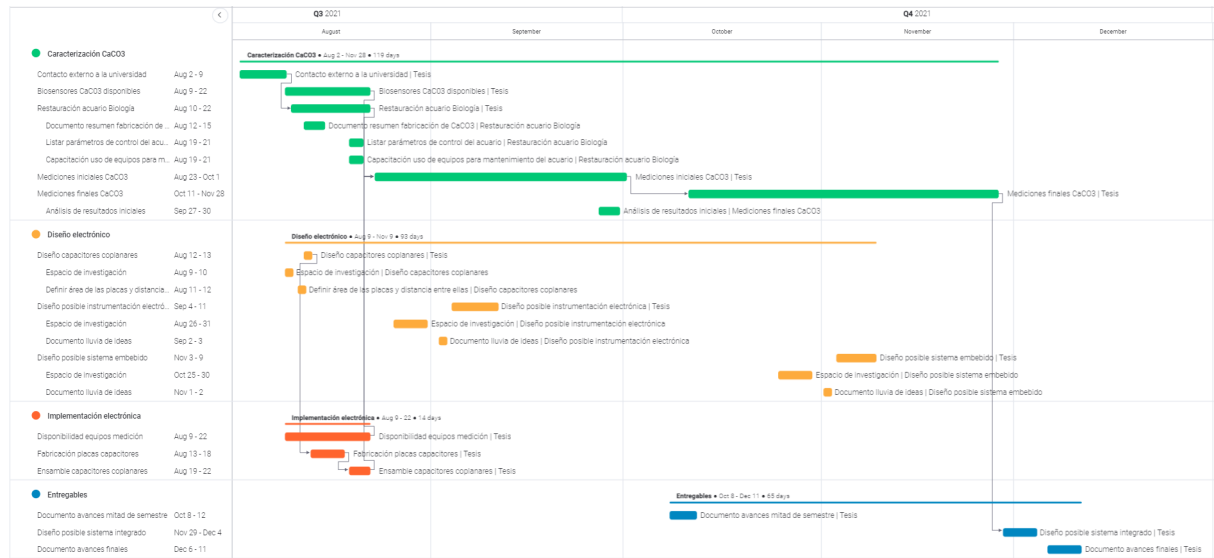


Figure 1.7: Timeline: Cronograma inicial del proyecto

Table 1.1: Cronograma general del seminario.

Semana	Entrega
Semana 1	Estado y seguimiento restauración del acuario
Semana 2	Investigación y diseño capacitores (placas electrodos) para los biosensores
Semana 3	Fabricación y ensamble de las placas de cobre
Semana 4	Restauración total del acuario- Inicio mediciones iniciales biosensores
Semana 5	Investigación y diseño posible instrumentación electrónica
Semana 6	Documento lluvia de ideas propuesta electrónica
Semana 7	Seguimiento mediciones de carbonato de calcio
Semana 8	Funcionamiento estructural caracterización eléctrica- Análisis de resultados mediciones iniciales
Semana 9	Documento entregable análisis primeras mediciones (Parte 1)
Semana 10	Estado y seguimiento mediciones finales biosensores
Semana 11	Documento entregable análisis primeras mediciones (Parte 2)
Semana 12	Investigación y diseño posible sistema embebido
Semana 13	Documento lluvia de ideas propuesta sistema embebido
Semana 14	Análisis preliminar resultados mediciones
Semana 15	Cierre mediciones finales biosensores
Semana 16	Documento entregable caracterización eléctrica del carbonato de calcio

# Bibliografía

## Libros

- [Che12] T. Chen. *Capacitive sensors for measuring complex permittivity of planar and cylindrical structures*. Iowa State University, 2012 (cited on page 6).

## Artículos

- [Kua08] Quek S. Maalej M. Kuang K. “Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres and wireless motes.” In: *Sensors and Actuators A: Physical* 147 (2008), pp.449–455 (cited on page 6).
- [MF12] G. Mills and G. Fones. “A review of in situ methods and sensors for monitoring the marine environment.” In: *Sensor Review* 32(1) (2012), pp.17–28 (cited on page 6).
- [SD16] Guadayol Ò. Thomas F. Silbiger N. and M. Donahue. “A Novel CT Analysis Reveals Different Responses of Bioerosion and Secondary Accretion to Environmental Variability.” In: *PLOS ONE* 11(4) (2016), p.e0153058 (cited on page 6).
- [TL17] Osma J. Sánchez-Silva M. Bastidas-Arteaga E. Schoefs F. Torres-Luque M. “Chlordelect: Commercial Calcium Aluminate Based Conductimetric Sensor for Chloride Presence Detection”. In: *Sensors* 17 (2017), p.2099 (cited on page 7).
- [XS19] Shi Y. Sun X. Xu G. and W. Shen. “Internet of Things in Marine Environment Monitoring: A Review.” In: *Sensors* 19(7) (2019), p.1711 (cited on page 6).
- [ZG14] Yang S. Nguyen T.-Sun T. Zhou B. and K. Grattan. “Wireless Sensor Network Platform for Intrinsic Optical Fiber pH Sensors”. In: *IEEE Sensors Journal* 14 (2014), pp.1313–1320 (cited on page 6).



**TRABAJO DE GRADO  
AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

Yo **Maria Fernanda Martinez Zapata**, mayor de edad, vecino de Bogotá D.C., identificado con la Cédula de Ciudadanía N° **1036967481** de **Rionegro**, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado:

haré entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos del ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, usos en red, internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizará sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y tiene la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

**Maria Fernanda Martinez Zapata**

**EL AUTOR - ESTUDIANTE.**

(Firma) ..... *Maria Martinez* .....

Nombre **Maria Fernanda Martinez Zapata**

C.C. N° **1036967481** de **Rionegro**