



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
LABORATORIO DE ROBÓTICA SUBMARINA

INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL
PROYECTO:

“DISEÑO DE ARQUITECTURA ELECTRÓNICA DE UN
ROBOT SUBMARINO”

PRESENTA:
ALEJANDRO GORDILLO PINTO

ASESOR INTERNO:
M.C. OSVALDO BRINDIS VELAZQUEZ

ASESOR EXTERNO:
DR. TOMAS SALGADO JIMENEZ

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, DICIEMBRE 2016

Agradecimientos

A Dios:

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mi madre:

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi padre:

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A mi hermana:

Por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles.

A mis asesores:

Por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto.

A mis amigos:

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

Índice general

1. Introducción	9
1.1. Introducción	9
1.2. Descripción de la empresa	10
1.2.1. Antecedentes	10
1.2.2. Misión y visión	11
1.2.3. Logros	11
1.2.4. Organigrama general	12
1.2.5. Área donde se realizó el proyecto	12
1.3. Planteamiento del problema	14
1.4. Hipótesis	14
1.5. Objetivos	15
1.6. Justificación	15
2. Marco teórico	17
2.1. Robótica submarina	17
2.1.1. Por su nivel de autonomía	18
2.1.2. Por su tipo de misión	18
2.1.3. Por su sistema de propulsión	19
2.2. Estado del arte	22
2.3. Estructura de los robots submarinos	23
2.4. Sistemas principales	24
2.4.1. Sistema de navegación	24
2.4.2. Mediciones de estado interno	25
2.4.3. Mediciones oceanográficas	26

3. Metodología	27
3.1. Cronograma de actividades	28
3.2. Recursos	29
3.3. Procedimientos	29
4. Resultados	41
4.1. Resultados	41
4.2. Actividades sociales	46
4.3. Conclusiones	47
4.4. Competencias desarrolladas	47
5. Anexos	49
6. Bibliografía	66

Índice de figuras

1.1. CIDESI sede Querétaro	10
1.2. Logotipo CIDESI	11
1.3. Estructura organizacional de CIDESI	12
1.4. Laboratorio de Robótica Submarina	13
2.1. Robot submarino con impulsor de hélice	19
2.2. Sistema de propulsión por inyección	20
2.3. U-CAT, un submarino inspirado en una tortuga marina	20
2.4. Conductos de salida de MHD del Yamato I	21
2.5. SMX 26, un submarino capaz de «aterrizar» en el fondo del mar	21
2.6. Planeador submarino	22
3.1. Estanque de pruebas	29
3.2. Curva característica sensor de gas MQ-02	33
3.3. Curva característica sensor de gas MQ-08	34
3.4. Arquitectura general del sistema de monitoreo	35
3.5. Tarjeta electrónica - Versión 1	36
3.6. Tarjeta electrónica - Versión 2	37
3.7. Realización de pruebas	37
3.8. Tarjeta electrónica - Versión final	38
3.9. Manufactura de la PCB	38
3.10. Manufactura de la PCB	39
4.1. Gráfica de Corriente - Batería primaria	41
4.2. Gráfica de Corriente - Batería secundaria	42
4.3. Gráfica de Voltaje - Batería primaria	42

4.4. Gráfica de Voltaje - Batería secundaria	43
4.5. Activación del pin digital	45
4.6. Descargador de baterías	46
4.7. Laboratorio de Robótica Submarina	47
5.1. Diagrama esquemático de conexión	49

Índice de cuadros

2.1. Clasificación de los robots submarinos	17
2.2. Comparativa de características de los gliders	23
2.3. Materiales utilizados para la fabricación de cabinas	24
3.1. Cronograma de actividades del proyecto	28
3.2. Consumo total del sistema	30
3.3. Caracterización sensor ACS711x12A	31
3.4. Caracterización sensor ACS711x25A	31
3.5. Caracterización sensor ACS711x12A”	32
3.6. Caracterización sensor SHT-166	32
3.7. Caracterización sensor de gas MQ-02	33
3.8. Caracterización sensor de gas MQ-08	34
3.9. Límites de seguridad	36
4.1. Datos sensor de temperatura - Prueba 1	43
4.2. Datos sensor de temperatura - Prueba 2	44
4.3. Datos sensor de temperatura - Prueba 3	44
4.4. Resultados sensor de Humedad	45

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

A continuación, se abordaran diversos conceptos que deben ser tomados en cuenta durante el diseño y desarrollo de un glider submarino [Joe et al., 2012], empleado como dispositivo de adquisición de datos en entornos marinos. También se explicará la importancia que tiene este tipo de robots submarinos, y porque es una herramienta de gran utilidad para todas aquellas empresas que se dedican a la realización de estudios oceanográficos. Este tema ha sido objeto de diversas investigaciones, que se mencionan con detalle mas adelante y de las cuales se basa este proyecto.

En este reporte se desarrolla el proceso de diseño del sistema de emergencia de un glider submarino, cuyo objetivo es conseguir mediciones del estado interno para prevenir fallas en el interior del casco que pongan en riesgo el funcionamiento del vehículo. También se muestra el estado del arte sobre robots submarinos que existen actualmente en el mercado, para ofrecer un panorama general del desarrollo actual en este campo.

1.2. Descripción de la empresa

El proyecto del que trata este reporte, esta siendo desarrollado actualmente en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI sede Querétaro, cuyas instalaciones se pueden observar a continuación.



Figura 1.1: CIDESI sede Querétaro

1.2.1. Antecedentes

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI, se fundó el 9 de marzo de 1984. Pertenece al Sistema de Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

CIDESI contribuye al desarrollo del sector productivo del país, a través de proyectos de Investigación e Innovación, así como servicios tecnológicos especializados de alto nivel, en sus sedes ubicadas en los Estados de Querétaro, en Nuevo León dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, en el Estado de México y en Tijuana dentro del Consorcio Tecnológico de Baja California.

Ofrece programas de posgrado incorporados en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad, PNPC.

CIDESI mantiene alianzas estratégicas efectivas en investigación y desarrollo, así como en formación de capital humano, con instituciones nacionales como: el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma de Querétaro y el Centro Nacional de Metrología y alianzas estratégicas con instituciones internacionales como: la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, la Universidad de Ciencias Aplicadas de Aachen de Alemania, las Universidades de Lehigh, Texas A&M, Team Technologies y la Anderson School of Management de la Universidad de Nuevo México de Estados Unidos, la Universidad de Sheffield de Inglaterra, el Centro de Tecnologías Aeronáuticas y Tecnalia de España.

1.2.2. Misión y visión



Figura 1.2: Logotipo CIDESI

Misión

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial es un centro de investigación cuyo propósito es crear soluciones de alto valor para nuestros clientes basadas en investigación aplicada y desarrollo experimental.

Visión

Ser una institución de clase mundial, autosuficiente, con reconocimiento nacional e internacional por sus productos y servicios de alto impacto.

1.2.3. Logros

Actualmente CIDESI está certificado bajo la norma ISO-9001:2008 y bajo estándares específicos de importantes empresas, es el primer Centro CONACYT que se certifica bajo la norma aeroespacial AS-9100 B.

Ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología y con el Premio Estatal de Exportación del Estado de Querétaro. Proveedor de la industria automotriz, auto-partes, aeroespacial, energía, petroquímica, electrónica, electrodomésticos y alimenticia, entre otros sectores. CIDESI es Miembro de Alianza de National Instruments, Casa de Diseño de Texas Instruments y Freescale.

1.2.4. Organigrama general

A continuación se muestra el organigrama actual del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

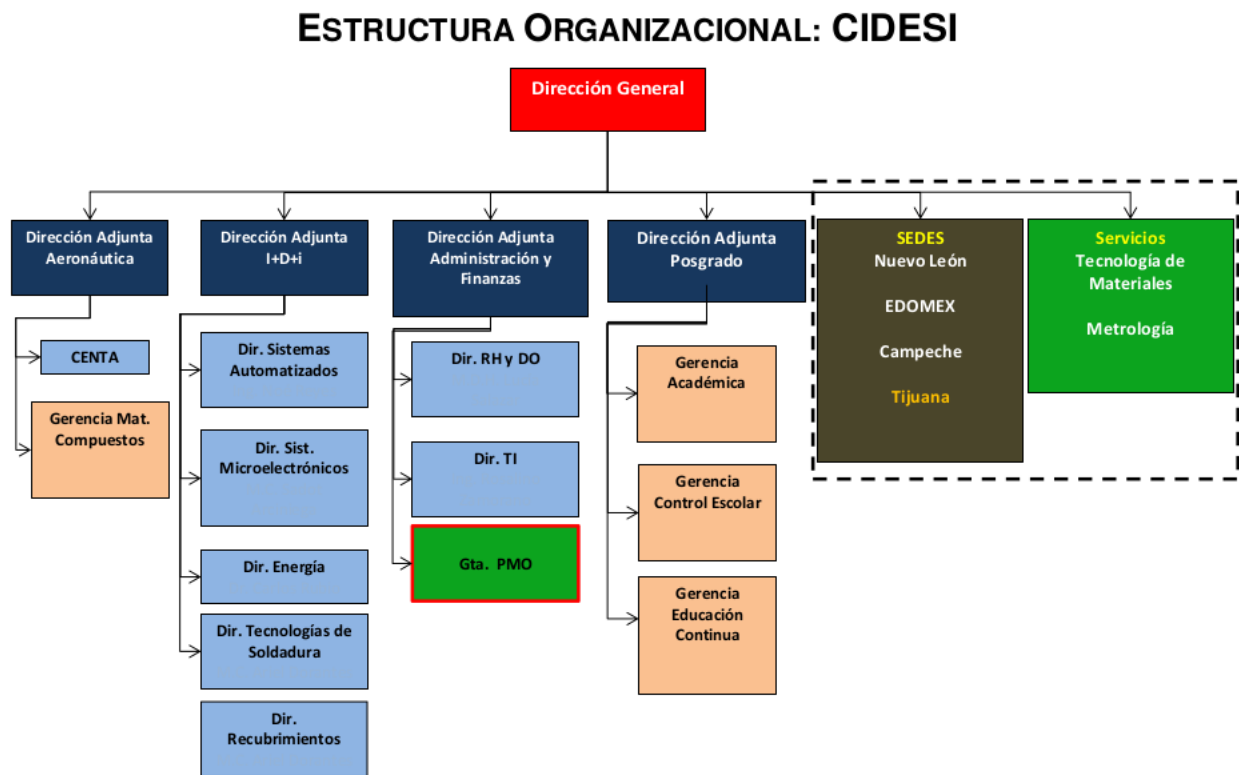


Figura 1.3: Estructura organizacional de CIDESI

1.2.5. Área donde se realizó el proyecto

Dirección adjunta I+D+i:

Dentro del Área de Energías, se encuentra el Laboratorio de Robótica Submarina, cuyo equipo multidisciplinario esta conformado por investigadores y estudiantes de posgrado enfocados al desarrollo de la ciencia y la tecnología en y con sistemas robóticos submarinos.



Figura 1.4: Laboratorio de Robótica Submarina

El objetivo de este es desarrollar y aplicar los conocimientos del área de la robótica e instrumentación submarina para la solución de necesidades específicas de servicios y desarrollos tecnológicos e investigación aplicada, de los sectores industriales, paraestatal y de investigación científica.

Entre las actividades desarrolladas por el Laboratorio de Robótica Submarina, se encuentran:

Investigación aplicada: En esta área se realiza el modelado matemático de robots submarinos, confrontación de resultados teóricos - prácticos, la creación de prototipos submarinos y el control de estos,

Servicio técnico: Servicio de mantenimiento correctivo y preventivo a vehículos autónomos, así como también se realizan servicios de inspección con ROVs.

Desarrollo tecnológico: Programación de interfaces de simulación virtual para comprender principios de funcionamiento y desarrollar pruebas de concepto, desarrollo de sistemas de instrumentación submarina y robots submarinos a la medida de la aplicación.

Algunos de los proyectos realizados por el LRS son:

- ROV Kaxan - 120 m.
- ROV aguas profundas - 2,000 m.
- Sistema Lancha-ROV.
- Modelado de ROVs CIDESI - Texas A&M University.
- Laboratorio de mantenimiento de gliders.
- Diseño de un glider prototipo modelo CIDESI.
- Nucleador para toma de muestras de fondo marino hasta 1,500 m.

1.3. Planteamiento del problema

Con la finalidad de apoyar la investigación oceanográfica que se realiza en el país, en 2014 el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) adquirió un robot submarino: el Sea Glider. Esto derivado a la relación laboral que dicha institución tiene con la paraestatal PEMEX desde el 2007 para la investigación del lecho marino, ya que la información que estos vehículos recaban, son aspectos oceanográficos que son prácticos para PEMEX y de gran interés científico para el CICESE.

Desde la implementación del Sea Glider en las costas del país, surgió la necesidad de mantenerlo en buenas condiciones, ya que como dijo el Dr. Emilio Beier:

“Hay problemas que no sabemos, como la rapidez con la que se adhieran los organismos marinos al aparato en esta zona tropical, lo cual puede entorpecer su movimiento si no se le da mantenimiento permanente.”

Debido a esto, se originó este proyecto en 4 fases.

- Mantenimiento preventivo y correctivo a los Sea Glider adquiridos por el CICESE.
- Elaboración de un simulador virtual para la conducción de los gliders submarinos.
- Diseño y elaboración de un glider prototipo modelo CIDESI.
- Nucleador para toma de muestras de fondo marino hasta 1,500 m.

En la actualidad existen diversos gliders comerciales en el mercado, pero a pesar de ello, se tiene la necesidad de tener un dispositivo más eficiente en cuestiones energéticas y con la posibilidad de añadir más módulos para la adquisición de datos durante las misiones.

1.4. Hipótesis

Una de las características que se quieren implementar en el sistema de instrumentación del glider prototipo, es la implementación del módulo de control y monitoreo de sensores internos, con la que se monitoreara el estado interno del mismo, con el fin de evitar alguna fuga del casco, sobrecalentamiento de las baterías y el estado de carga de estas. Para esto se diseñó un sistema que monitorea la presión, humedad relativa y temperatura dentro del casco de glider, de tal forma que si alguno de estos valores se encuentran fuera de un límite de seguridad, el glider entre en un estado de alerta con el cual se aborte la misión inmediatamente para garantizar su supervivencia. De igual forma, al conocer un estimado del consumo eléctrico en tiempo real, nos da la opción de conocer la duración de la misión en la que participara el glider, previendo una falla en la alimentación durante el desarrollo de esta. Se pretende que con la implementación de sensores de bajo consumo, así como el uso de baterías con mayor capacidad, se logre una mayor autonomía del vehículo, esto sin comprometer su correcto funcionamiento.

1.5. Objetivos

General:

Proponer una arquitectura electrónica para el prototipo de glider en conjunto con los investigadores del CIDESI, que sea capaz de monitorizar el estado interno del mismo.

Específicos:

- Conocer el funcionamiento básico de los robots submarinos.
- Realizar el proceso de selección (y todo lo que implica) de los sensores a utilizar en el prototipo de glider.
- Conocer los fundamentos de operación de los sensores.
- Diseñar y fabricar la arquitectura electrónica.
- Conocer e implementar el protocolo de comunicación I2C.
- Integrar el sistema electrónico diseñado a la electrónica actual para tener los resultados deseados.

1.6. Justificación

La razón principal para desarrollar un glider submarino es que son una herramienta económica (comparado al modo en que se realizan los estudios oceanográficos tradicionalmente), reutilizable y que logran tener un largo tiempo de vida útil [Davis et al., 2003].

A pesar de la existencia de gliders comerciales en la actualidad, para realizar las operaciones de mantenimiento correctivo y preventivo de estos, es necesario enviar el vehículo con el fabricante, lo que implica costos de traslado al extranjero, o bien el pago a técnicos especializados de la marca para supervisar dicho proceso, es por ello que se propone desarrollar un glider propio, como se observa en [Guo and Kato, 2008], tomando en cuenta algunas consideraciones como las que menciona [French, 2010] para así obtener un prototipo eficaz y funcional.

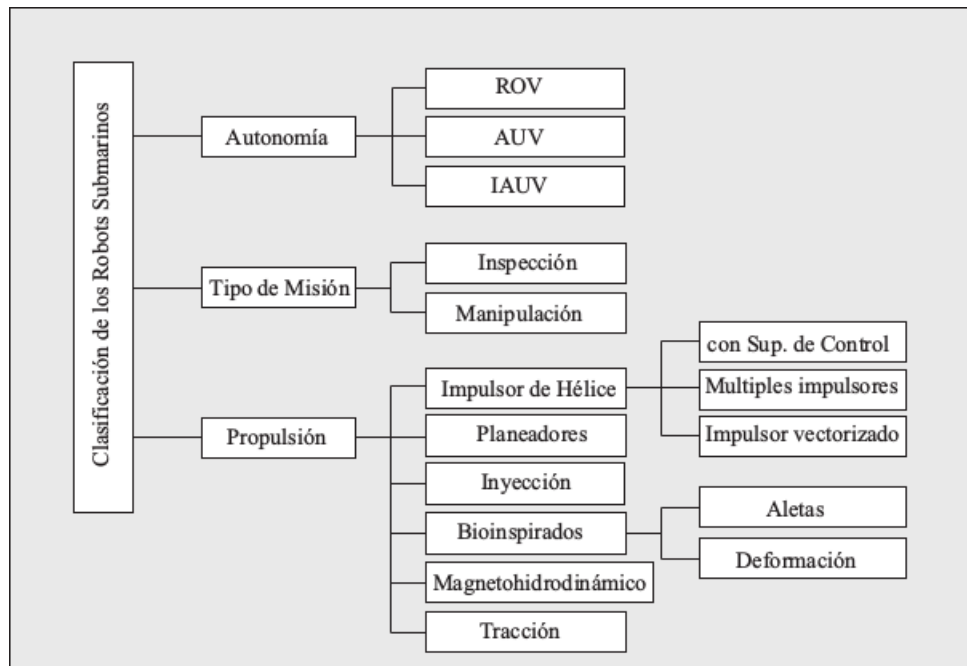
Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Robótica submarina

Antes de comenzar, se deben definir algunos conceptos básicos en cuanto a robótica submarina se refiere.

Primeramente, es necesario definir los tipos de vehículos submarinos que hay, y que estos se pueden clasificar por su nivel de autonomía, el tipo de misión para el que son utilizados y su sistema de propulsión, todo esto se muestra en el cuadro siguiente.



Fuente:[[Moreno et al., 2014](#)]

Cuadro 2.1: Clasificación de los robots submarinos

Como podemos observar, la clasificación con la que parte el cuadro, es tomando en cuenta su nivel de autonomía.

2.1.1. Por su nivel de autonomía

Existen principalmente robots completamente autónomos, como son los AUVs (Autonomous Underwater Vehicle) y otros que deben ser controlados por un operador, los ROVs (Remotely Operated Vehicle). Por otra parte, están también los IAUVs (Autonomous Underwater Vehicle for Intervention) que podrían considerarse en un nivel intermedio de autonomía, esto debido a que los vehículos de este tipo requieren de un control supervisado por un operador, quien decide las acciones que este debe realizar para completar la misión. Se pretende que estos últimos lleguen a ser completamente autónomos y el operador solo se les tenga que definir la misión a realizar.

2.1.2. Por su tipo de misión

Las tareas a realizar para las que los robots submarinos están diseñados pueden ser de dos tipos:

Inspección

Este tipo de misiones, son todas aquellas que se realizan durante la navegación del robot submarino. Para este tipo de misiones, no se necesita que el robot sea dotado de algún mecanismo para interactuar con el ambiente. Las misiones de inspección mas comunes son:

- La adquisición de imágenes (ya sean fotografías o vídeos) por medio de cámaras mientras el robot navega.
- La observación del lecho marino mediante la adquisición de datos (pueden ser físicos, químicos, entre otros).
- La revisión de instalaciones submarinas tales como estructuras, tuberías, cables, etc.

Manipulación

A diferencia de lo anteriormente mencionado, en este tipo de misiones si es necesario que el robot submarino posea algún tipo de mecanismo que le permita intervenir, y en el caso de los ROVs también es necesario que posean sistemas de visión en tiempo real para que el operador pueda maniobrar.

Para este caso, las misiones de manipulación mas usuales son:

- El mantenimiento de estructuras subacuáticas.
- La apertura y cierre de válvulas en instalaciones bajo el agua.

- La desactivación de minas.
- La recolección de muestras para estudios geológicos, ecológicos, arqueológicos, entre otros.

2.1.3. Por su sistema de propulsión

Por ultimo se tiene la clasificación dependiendo del sistema de propulsión que el vehículo utiliza para navegar en el entorno acuático.

Aunque la mayoría de los robots submarinos hacen uso de impulsores de hélice, aletas móviles, y sistemas de lastre, existen otras formas para que los vehículos puedan realizar sus movimientos dentro del agua.

Impulsor de hélice

Este sistema es el mas utilizado en la mayoría de los robots submarinos. Consiste en un motor eléctrico, que hace girar una hélice, y debido a la diferencia de presión producida por este movimiento, provoca un efecto de empuje al vehículo.



Figura 2.1: Robot submarino con impulsor de hélice

Inyección

Este sistema consiste en recoger agua del medio, para posteriormente expulsarla mediante una bomba, inyectándola a una alta presión de vuelta al medio acuático a través de una boquilla, lo que produce una fuerza de empuje y por consiguiente, el movimiento del vehículo.

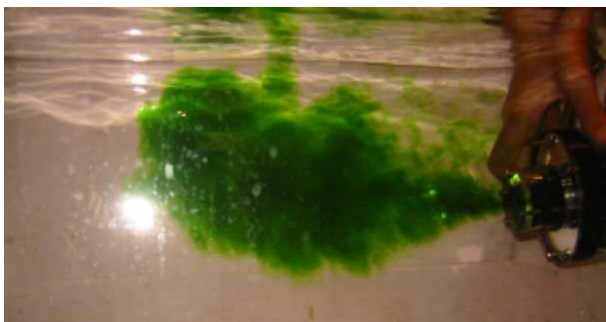


Figura 2.2: Sistema de propulsión por inyección

Bioinspirados

Este sistema de propulsión está inspirado en la fisiología de los peces y con ello, su forma de desplazarse en el agua. El sistema más simple consiste en una aleta con un grado de libertad colocada vertical u horizontalmente en la parte trasera del vehículo. Esta produce ondas de agua que lo impulsan hacia adelante cuando se realiza su movimiento cíclico perpendicular en relación al plano de las aletas.



Figura 2.3: U-CAT, un submarino inspirado en una tortuga marina

Magnetohidrodinámicos

El principio de funcionamiento de este tipo de impulsores, consiste en hacer circular corriente eléctrica a través de un fluido conductor, el cual es atravesado por un campo magnético, de este modo, el impulsor magnetohidrodinámico genera el movimiento del fluido debido a este campo.



Figura 2.4: Conductos de salida de MHD del Yamato I

Tracción

Esta técnica de desplazamiento es similar a la de un vehículo terrestre, y de igual modo se pueden mover mediante el uso de patas, ruedas o sistemas de oruga que tengan una interacción con el fondo marino.



Figura 2.5: SMX 26, un submarino capaz de «aterrizar» en el fondo del mar

Planeadores acuáticos

También conocidos como gliders, los planeadores acuáticos al no tener propulsores de ningún tipo, el movimiento de estos consiste en modificar su flotabilidad [Davis et al., 2002], y a la forma hidrodinámica que pueda tener [Paster, 1986, Geisbert, 2007]. Este tipo de vehículos basan su navegación en algoritmos en los que bajo el agua se orientan mediante sensores de presión, de

inclinación y compás magnético, y realiza salidas periódicas a superficie para capturar su posición mediante un GPS. El ángulo de inclinación (pitch) se puede controlar mediante un peso movable interno (normalmente las baterías), y el ángulo de orientación (roll) se controla mediante un segundo paquete de baterías. Por otro lado, la flotabilidad se ajusta mediante un pistón que permite inundar o evacuar el compartimento con agua de mar o moviendo aceite al exterior o al interior de una vejiga. Los comandos de control y los datos almacenados son enviados entre el Glider y la estación de control en tierra, a través de sistemas de comunicaciones satélites.



Figura 2.6: Planeador submarino

2.2. Estado del arte

Los gliders submarinos han sido objeto de estudio desde hace ya algunos años, y esto ha revolucionado la exploración del lecho marino desde que estos aparecieron. [Rudnick et al., 2004]

Se considera a Henry Stommel como un visionario en el campo de la oceanografía, ya que en [1989] publicó un artículo muy avanzado a su época (con ciertos tonos de ciencia ficción), titulado «The Slocum Mission», en el que narraba como un oceanógrafo en 2021 veía el mundo. En este artículo describía el funcionamiento y la estructura física de lo que hoy en día conocemos como gliders submarinos.

Los primeros pasos significativos que se dieron en el campo de la robótica submarina fueron el ALBAC [Kawaguchi et al., 1993], el SLOCUM [Simonetti, 1998] y el EPSONDE-Glider [Greenan and Oakey, 1997]. Las mayores diferencias entre estos, eran que los primeros dos eran autónomos y medían las propiedades del lecho marino tales como la temperatura y conductividad, guardando el registro de las mediciones en su memoria interna, mientras que el último, funcionaba dejándolo caer de una embarcación con una línea de guía o cordón umbilical, y este iba midiendo y enviando datos en tiempo real de los perfiles marítimos (micro-estructura oceánica).

En el 2001, surgen los mayores exponentes de esta rama de la robótica:

- El Seaglider [Eriksen et al., 2001]
- El Spray [Sherman et al., 2001]

- El Slocum (en sus versiones *electric* y *thermal*) [Webb et al., 2001]

A continuación se presenta una tabla comparativa de las características principales de estos tres gliders:

Característica	Slocum (<i>electric</i>)	Spray	Seaglider
Casco (Long. x Diam.)	1.5 m, 21.3 cm	2 m, 20 cm	1.8 m, 30 cm
Alas (Long. x Espesor)	98 cm, 14 cm	120 cm, 10 cm	100 cm, 16 cm
Peso total	52 Kg	51 Kg	52 Kg
Profundidad máxima	200 m	1500 m	1000 m
Velocidad máx. (<i>Horizontal</i>)	0.40 m/s	0.45 m/s	0.45 m/s
Tiempo de misión	30 dias (2300 Km)	330 dias (7000 Km)	220 dias (4500 Km)
	20° @ 0.25 m/s	18° @ 0.25 m/s	18° @ 0.25 m/s

Fuente: [Bender et al., 2008]

Cuadro 2.2: Comparativa de características de los gliders

También la marina de los Estados Unidos, ha desarrollado su propio planeador, el Libertade XRay [Navy, 2004], considerado como el glider mas largo del mundo, utiliza una forma aerodinámica para conseguir mayor eficiencia hidrodinámica. Este glider fue diseñado para maniobrar de forma silenciosa y seguir submarinos en aguas litorales.

Por su parte, la empresa GraalTech desarrolló un submarino híbrido, el Folaga [Alvarez et al., 2009, Caffaz et al., 2010]. Este robot submarino tenia las capacidades de un glider y de un AUV (Autonomous Underwater Vehicle), con el propósito principal de realizar actividades relacionadas con el monitoreo ambiental, pero en sus versiones posteriores, también podía ser aplicado en cuestiones de seguridad e inspección gracias a su autonomía y a la capacidad de poder integrar mas módulos. Con una longitud de 2 metros y un diámetro de 15.5 centímetros, este híbrido tiene un peso de 31 Kg, lo que lo hace muy practico a la hora de transportarlo, pero como consecuencia la autonomía es de 6 horas (a la máxima velocidad).

2.3. Estructura de los robots submarinos

Los robots submarinos tienen una estructura básica, independientemente del tipo que se trate. Físicamente tienen una estructura compuesta por el casco o cabina, que consiste en el material que reviste al robot submarino. Esta contiene al equipo eléctrico y electrónico, así como también los elementos mecánicos del robot y debe ser construido de un material resistente. Los materiales mas empleados para la construcción de cascos, son:

Material	Densidad (Kg/dm ³)	Resistencia al flujo (MPa)	Modulo de tensión (GPa)	Resistencia especifica (kNm/Kg)
Acero de alta resistencia	7.86	550	207	70
Aleación de aluminio	2.9	503	70	173
Aleación de titanio	4.5	830	120	184
CFRP	2.1	1200	65	571
GFRP	1.7	1200	210	706
Acrílico	1.2	103	3.1	86
PVC	1.4	48	35	34

Fuente: [Wang et al., 2011]

Cuadro 2.3: Materiales utilizados para la fabricación de cabinas

2.4. Sistemas principales

Los robots submarinos están equipados con sistemas especializados para determinar la localización, velocidad, aceleración y el estado del vehículo, adicionalmente a los dedicados para la adquisición de datos del entorno marino. Estos sistemas se pueden clasificar en:

- (1) **Posicionamiento.** Estos sensores, como su nombre lo indica, permiten determinar la posición, orientación, velocidad y aceleración del robot submarino con respecto a un marco de referencia inercial o con respecto a otros objetos.
- (2) **Mediciones de estado interno.** Son una serie de dispositivos que permiten conocer el estado de funcionamiento en que se encuentra el robot. Estos están constantemente monitorizando las señales en el interior del vehículo y cualquier cambio de estas que cruza un umbral especificado indica un significativo aumento de la probabilidad de fallas durante la misión. Si estos detectan una falla antes o durante la misión, el robot debe ser capaz de notificar al operador mediante una señal indicadora para su inmediata atención.
- (3) **Sistema de navegación.** Estos permiten controlar el movimiento del robot, y a su vez logran que pueda realizar la misión para la que fue programado.
- (4) **Mediciones oceanográficas.** Son aquellos que se utilizan para determinar las características del agua que rodea al vehículo, algunos de estos comúnmente miden las siguientes variables: conductividad, pH, densidad, turbiedad, oxígeno disuelto, temperatura, presencia de metales, entre otras, dependiendo de el propósito que tenga la misión.

A continuación se presentan algunos de los sensores que son comúnmente utilizados por la mayoría de los robots submarinos.

2.4.1. Sistema de navegación

En este apartado se tratara sobre los sensores que se utilizan para conocer la ubicación del glider, así como también los que este emplea para controlar el movimiento del mismo.

GPS. Un sistema de posicionamiento global permite determinar la ubicación de un objeto en cualquier parte del planeta, es por ello que estos dispositivos son utilizados en los robots submarinos, ya sea en las embarcaciones que ayudan durante las misiones de los ROVs, o bien en los gliders para localizarlos una vez que emergen a la superficie marina (ya que estos dispositivos no pueden ser usados bajo el agua).

IMU. La unidad de medición inercial es la que brinda información sobre la aceleración lineal del vehículo y su velocidad angular. Estos dispositivos incluyen giroscopios, acelerómetros e incluso brújulas, y son empleados en los robots submarinos para conocer las mediciones de los ángulos en cabeceo, guiñada y alabeo (pitch, yaw y roll respectivamente).

Brújula. Las brújulas de estado sólido se basan en la detección de campos magnéticos. Su funcionamiento se basa en colocar 3 sensores de efecto Hall a 90° entre ellos y mediante un cálculo vectorial se determina la posición en la que se encuentra el vehículo. Estos dispositivos ofrecen resultados con una exactitud de 1° , pero deben estar calibradas correctamente ya que las variaciones causadas por el propio vehículo podrían provocar mediciones erróneas.

Sensor de profundidad. El funcionamiento de este dispositivo es muy sencillo, ya que se basa en la utilización de un sensor de presión absoluta cuyo punto de medición se pone en contacto con el agua. La presión ejercida en dicho sensor es proporcional a la columna de agua que se encuentra sobre este, multiplicada por su densidad más la presión atmosférica, de este modo se puede calcular el valor de la profundidad a la que el robot submarino se encuentra.

Sistemas de visión. Dependiendo del tipo de robot submarino, es la forma en que los sistemas de visión son empleados, pero en sí el funcionamiento es el mismo. Las cámaras son integradas al vehículo de tal modo que pueda obtener imágenes del lugar donde los ROVs están realizando la operación, o bien, que los AUVs puedan tomar fotografías durante las misiones. Estos sistemas se incluyen normalmente en robots que van a ser utilizados en lugares donde el nivel de turbiedad del agua no es muy elevado, ya que a pesar de que la tecnología de los sistemas de visión se encuentra muy desarrollada, los objetos submarinos son difícilmente distinguibles en estas condiciones.

2.4.2. Mediciones de estado interno

Estos sensores monitorizan el estado interno del vehículo, como el consumo de energía, una posible filtración del casco, la temperatura interna, entre algunas otras medidas para asegurar el correcto funcionamiento del robot. Los sensores comúnmente empleados para estas tareas son:

Voltímetros y amperímetros. Estos son dispositivos que permiten la medición de consumo eléctrico que tienen los motores y el estado de las baterías.

Un voltímetro consiste en un convertidor analógico-digital y suele estar integrado a un procesador digital de señales, mientras que un amperímetro está formado por una resistencia de posición en serie al circuito que se desea analizar, o bien, en algunos casos la corriente eléctrica se puede determinar también por medio de sensores de efecto Hall que se colocan en los cables de alimentación.

Estas mediciones son muy importantes, ya que esto permite conocer el consumo que tiene el robot y así poder gestionar la distribución energética del mismo.

Detector de inundación. Mediante este dispositivo, se informa al operador si hay problemas por filtración en el robot submarino. Existen tres tipos de sensores para este fin.

- **Humedad:** El mas sencillo de todos, pero con la desventaja que su tiempo de respuesta no es muy adecuado.
- **Conductividad:** Aunque su tiempo de respuesta es mejor que el sensor de humedad, este tipo de sensor no es muy empleado debido a la exposición que tiene con el ruido eléctrico del interior del vehículo (causado por los componentes del mismo robot, como motores y fuentes de alimentación). Así que se debe considerar un margen de error en las mediciones que realiza este tipo de dispositivos en caso de emplearlos.
- **Óptico:** Consiste en colocar un prisma con un índice de refracción similar al del agua en la parte inferior interna del vehículo y emitir una señal óptica mediante un LED, para así determinar si hay o no reflexión dentro del prisma. Este es el mas adecuado para implementar en los robots submarinos debido a su velocidad de respuesta y eficacia.

Sensor de temperatura: Normalmente se utiliza para evitar sobrecalentamiento en los dispositivos internos del robot, o bien para asegurar la temperatura de operación de los mismos. Básicamente consiste en realizar una medición indirecta para detectar los cambios en la resistencia interna del sensor, debido a la temperatura.

Sensor de presión:

2.4.3. Mediciones oceanográficas

Dependiendo del tipo de misión a la que es enviado un robot submarino, se determinan los sensores especializados para los datos que se desean adquirir. Entre los estudios oceanográficos realizados con mas frecuencia, se encuentran:

- Oceanografía biológica: Estudia todos los organismos marinos y su relación con el medio ambiente, ya sea en el mar cercano a la costa (nerítica), en mar abierto fuera de la plataforma continental (pelágica), o bien sobre la superficie del fondo marino (bentónica).
- Oceanografía física: Estudiando los procesos físicos que ocurren en el mar, tales como las propiedades del agua de mar (descriptiva), las corrientes marinas (dinámica), las mareas y el oleaje (meteorológica).
- Oceanografía geológica: Estudia los procesos geológicos que afectan a los océanos, ya sea la geomorfología y la dinámica de los cuerpos costeros (procesos costeros), o bien el transporte y deposito de sedimentos, como la erosión y acreción de las playas.
- Oceanografía química: Estudia la composición del agua del mar, los componentes disueltos y particulados, así como sus interacciones y efectos en la hidrosfera, biosfera y atmósfera.

Capítulo 3

Metodología

Dividir el proyecto en etapas que lleven un orden lógico y faciliten la organización del tiempo brinda grandes ventajas durante la realización del mismo. Es por eso que para la realización de este proyecto se plantean las siguientes etapas.

Etapas 1: Leer la problemática.

Etapas 2: Investigar y estudiar las características de los sensores del glider.

Etapas 3: Decidir que sensores son los indicados para la implementación en el proyecto.

Etapas 4: Realizar la propuesta de la arquitectura electrónica.

Etapas 5: Diseñar e implementar la arquitectura electrónica del glider.

Etapas 6: Pruebas de laboratorio.

Etapas 7: Elaborar el reporte.

En la siguiente sección se presenta el cronograma de actividades en forma de tabla, con la información detallada de cada etapa, comenzando a partir del mes de Agosto de 2016 y considerando una duración de 20 semanas.

3.1. Cronograma de actividades

Cuadro 3.1: Cronograma de actividades del proyecto

E	P	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Dic								
		I	II	I	II	I	II	I	II	I								
1	P	■	■	■														
	R	■	■	■														
2	P			■	■	■												
	R				■	■	■											
3	P			■	■	■												
	R					■	■	■	■									
4	P					■	■	■	■	■	■	■						
	R							■	■	■	■							
5	P					■	■	■	■	■	■	■						
	R									■	■	■	■					
6	P									■	■	■	■					
	R							■				■	■	■	■			
7	P																■	■
	R		■					■									■	■

1.- Lectura de la problemática: Lectura de reportes y artículos relacionados, así como la integración al estado actual del proyecto.

2.- Estudio de las características de los sensores del glider: Investigar las características y realizar un estudio de las hojas de datos de los sensores a emplear en el glider submarino.

3.- Caracterización de sensores: Decidir en base a la investigación previa, cuales son los sensores a implementar en el glider y a su vez, realizar la prueba y caracterización de estos.

4.- Proponer la arquitectura electrónica del glider submarino: En colaboración con electrónicos del CIDESI proponer una arquitectura electrónica para la monitorización y control del glider.

*5.- Diseñar e implementar la arquitectura electrónica del glider: Diseño y manufactura de tarjetas electrónicas y ensamble de componentes.

*6.- Pruebas y correcciones: Realizar pruebas y en base a los resultados obtenidos, hacer las correcciones necesarias para el correcto funcionamiento de la arquitectura propuesta.

7.- Elaboración del reporte.

***Nota:** En esta tarea CIDESI cuenta con equipos, materiales y personal experto.

3.2. Recursos

Recursos humanos

A demás de el personal del CIDESI que se encuentra actualmente trabajando en el proyecto, se necesitaran tres residentes siendo estos de la carrera de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica, para la realización del prototipo en el área de acción de cada uno.

Instalaciones

Las instalaciones con las que cuenta el Centro de Investigación son las indispensables para la realización de cada una de las etapas del proyecto. Se cuenta con los laboratorios necesarios y área de pruebas especializada.

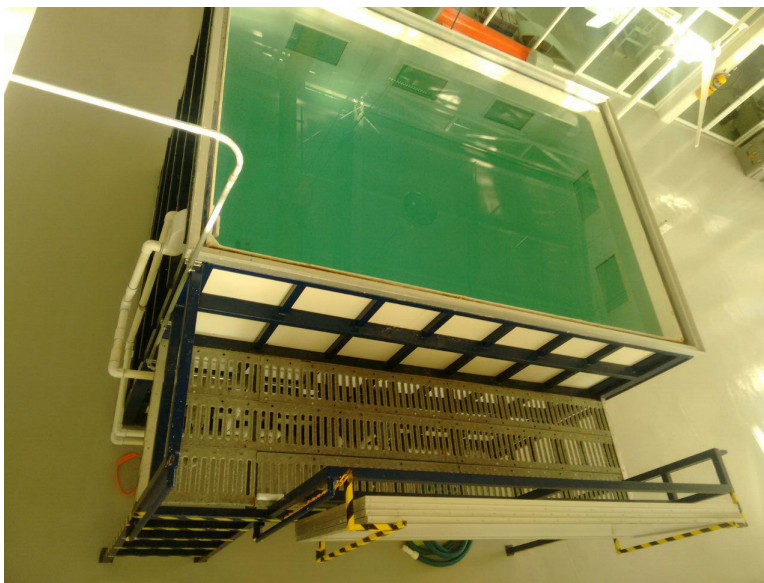


Figura 3.1: Estanque de pruebas

Equipo

Se utilizara equipo básico de laboratorio, como son osciloscopios, multímetros, generador de funciones, fuentes de alimentación, CNC para la elaboración de las PCBs, que son parte de la instrumentación con la que cuentan los laboratorios de CIDESI.

Recursos económicos y materiales

Los recursos necesarios para la realización de cada etapa (mecánica y electrónica), así como también los materiales que se emplearan, se obtendrán de un proyecto que actualmente se realiza para PEMEX.

3.3. Procedimientos

Durante las primeras 3 semanas, tal como marca el cronograma de actividades, se realizó la lectura de reportes y artículos con información referente al proyecto, parte de esta información ya fue citada

anteriormente. También durante esta primer etapa el responsable encargado de la parte electrónica me puso al tanto del progreso de este y la asignación de tareas a realizar. Entre estas se encontraba la investigación y lectura de información referente a los sensores que se iban a emplear, así como la elección de estos tomando ciertas consideraciones, principalmente el consumo de cada uno de ellos. Esto por que no se desea afectar en gran manera la autonomía de las baterías. Como resultado de lo anterior, los sensores que fueron propuestos son:

- Temperatura/Humedad/Presión: BMP180, HTU21D(F), HIH-4030, TMP102
- Corriente: ACS711 / 12A, ACS711 / 25A, INA169
- Voltaje: SHT-166, Phidgets 1135

Con el propósito de realizar un mayor numero de mediciones, con un numero reducido de sensores, se eligieron los siguientes:

El sensor BMP180 para monitorizar la presión y la temperatura, este sensor cuenta con un consumo máximo de 0.032 mA y un voltaje de alimentación de 3.3 V.

El sensor HTU21D(F) para medir la humedad y la temperatura, este sensor consume 0.5 mA máximo, siendo alimentado con 3.3 V.

El ACS711 en su versión de 12A, para medir la corriente de las baterías, el consumo máximo de este sensor es de 5.5 mA, pero al ser necesario el uso de un sensor para cada batería, se considera un consumo máximo total de 11 mA.

El sensor de voltaje SHT-166, con un consumo de 16 mA, y en este caso, similar al de la corriente, se considera un sensor por batería, resultando un consumo máximo total de 32 mA.

Por otro lado, el microcontrolador que se eligió para adquirir los datos y que este pudiera enviarlos al sistema principal es el PIC18F25K22, esto debido a que se necesitaba el uso de 2 puertos I2C, uno para comunicarse con la red principal y otro para comunicarse con la red de sensores, y este PIC cuenta con dichas especificaciones, a demás de ser de muy bajo consumo (0.0055 mA).

En el siguiente cuadro se muestra el consumo de cada elemento y el total del sistema.

Elemento	Medición	Corriente (mA)	Alimentación (V)	Consumo (mW)
BMP180	Presión/Temperatura	0.032	3.3	0.1056
HTU21D(F)	Humedad/Temperatura	0.5	3.3	1.65
ACS711 / 12A	Corriente	5.5	3.3	18.15
SHT-166	Voltaje	16	3.3	52.8
PIC18F25K22	Microcontrolador	0.0055	3.3	0.01815
TOTAL		43.5375		72.72375

Cuadro 3.2: Consumo total del sistema

Durante esta etapa y la siguiente, a demás de realizar la investigación y selección de los sensores a utilizar, también se realizo la caracterización de estos, esto para realizar mediciones mas precisas.

Primeramente se hizo la caracterización de los sensores de corriente, comenzando con el INA169 debido a que este sensor permite medir voltaje y corriente al mismo tiempo, pero durante este proceso se observó que en la salida se obtenían voltajes negativos, y el puerto ADC del microcontrolador no puede hacer uso de este tipo de señales, por ello el sensor INA169 se descartó para su uso.

Posteriormente se caracterizó el ACS711X (en sus versiones para 12A y 25A), cuyo principio de funcionamiento es medir el efecto Hall. Para la caracterización de estos sensores se realizó un arreglo de resistencias en paralelo para poder medir una corriente conocida (en este caso de 0 A, 100 mA y 200 mA) con el sensor y así medir el voltaje en la salida del sensor para realizar el cálculo de la sensibilidad y el offset de cada sensor. Esto se realizó dos veces con cada sensor, cuando la alimentación era de 3.3 V y alimentando con 5 V.

ACS711x12A	@ 3.3V	@ 5V
I _{in} (mA)	V _{out} (V)	V _{out} (V)
0	1.682	2.598
100	1.693	2.618
200	1.704	2.635

m1	0.110 V/A	0.200 V/A
m2	0.110 V/A	0.170 V/A
m(datasheet)	0.110 V/A	0.167 V/A
m(obtenido)	0.100 V/A	0.185 V/A

Cuadro 3.3: Caracterización sensor ACS711x12A

ACS711x25A	@ 3.3V	@ 5V
I _{in} (mA)	V _{out} (V)	V _{out} (V)
0	1.682	2.598
100	1.693	2.618
200	1.704	2.635

m1	0.070 V/A	0.110 V/A
m2	0.050 V/A	0.090 V/A
m(datasheet)	0.055 V/A	0.083 V/A
m(obtenido)	0.050 V/A	0.100 V/A

Cuadro 3.4: Caracterización sensor ACS711x25A

ACS711x12A”	@ 3.3V	@ 5V
I _{in} (mA)	V _{out} (V)	V _{out} (V)
0	1.673	—
100	1.686	—
200	1.696	—

m1	0.130 V/A	— V/A
m2	0.100 V/A	— V/A
m(datasheet)	0.110 V/A	0.167 V/A
m(obtenido)	0.115 V/A	— V/A

Cuadro 3.5: Caracterización sensor ACS711x12A”

Para el análisis de la señal de salida con el ADC del microcontrolador se utiliza la siguiente formula:

$$I = (ADC - b)/m, \text{ Donde } \mathbf{b: Offset} \text{ y } \mathbf{m: Sensibilidad} \text{ dada por: } m = (V2 - V1)/(A2 - A1)$$

Los sensores que se implementaron son ambos ACS711x12A, alimentados a 3.3V debido a las recomendaciones del fabricante.

En el caso del sensor SHT-166 de voltaje, al ser un arreglo de resistencias que hacen la función de un divisor de tensión, solo fue necesario obtener el factor de conversión, midiendo el voltaje resultante cuando se media un voltaje conocido.

V _{in}	V _{out}	Relación
0	0	—
0.5	0.120	0.240
1	0.204	0.204
1.5	0.301	0.200
2	0.410	0.205
2.5	0.502	0.200
5	1.016	0.203
10	2.011	0.201
25	5.021	0.200

Cuadro 3.6: Caracterización sensor SHT-166

Del cuadro anterior resulta que la relación es de 1:5, por lo tanto, el voltaje que el microcontrolador reciba en su puerto ADC, se analizara de la siguiente manera:

$$V = (5/1023) * ADC * 5 \rightarrow V = (25/1023) * ADC$$

También se quería implementar un sensor para la detección de gases, ya que las baterías suelen liberar Hidrógeno dentro del casco del glider, y esto puede ocasionar pequeñas explosiones al abrir el casco (dependiendo de la concentración de gas que exista dentro del mismo).

Los sensores considerados eran los MQ-02 y MQ-08, el primero de estos es un sensor de gases de propósito general (Gas LP, butano, propano, metano, alcohol entre otros), mientras que el segundo es un sensor específico para el gas hidrógeno (H_2). Para realizar la caracterización de la familia de sensores MQ, es necesario realizar una serie de cálculos basados en la curva característica de cada sensor.

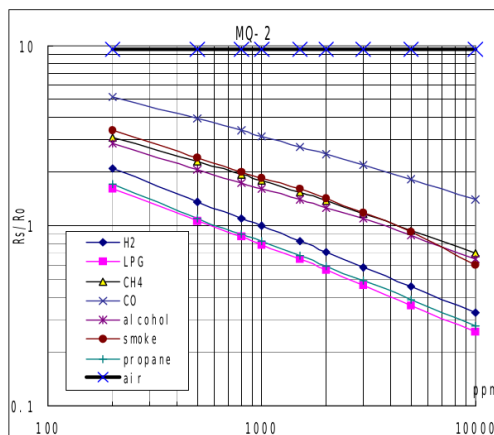


Figura 3.2: Curva característica sensor de gas MQ-02

Sensor MQ-02	
R_s/R_o	PPM
1.80	300
1.47	500
1.25	650
1.00	1000
0.80	1600
0.70	2000
0.60	3000
0.45	5000
0.32	10000

R_o : resistencia del sensor a 1000 ppm de H_2 en el aire a 33 % HR y 20 grados.
 R_s : resistencia del sensor a 1000 ppm de H_2 a diferente temperatura y humedad

Cuadro 3.7: Caracterización sensor de gas MQ-02

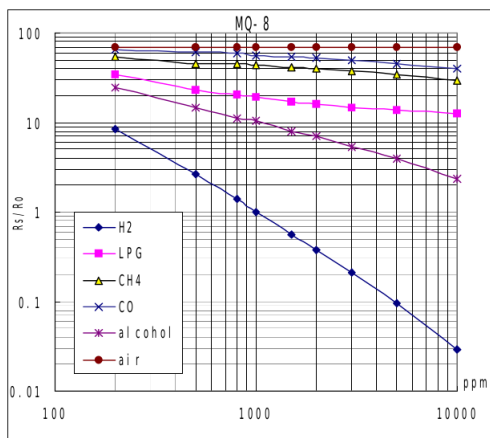


Figura 3.3: Curva característica sensor de gas MQ-08

Sensor MQ-08	
Rs/Ro	PPM
11	100
8.5	200
2.85	500
1.5	800
1	1000
0.57	1750
0.39	2000
0.21	3000
0.1	5000
0.03	10000
0.01	15000

Ro: resistencia del sensor a 1000 ppm de H2 en el aire a 33 % HR y 20 grados.
Rs: resistencia del sensor a 1000 ppm de H2 a diferente temperatura y humedad

Cuadro 3.8: Caracterización sensor de gas MQ-08

En las tablas anteriores se puede observar como el sensor MQ-08 es mucho mas efectivo ya que desprecia el efecto de los demás gases, midiendo específicamente el hidrógeno, teniendo también una sensibilidad en PPM (partes por millón) mucho mas alta, en cuanto a rango se refiere, ya que la sensibilidad de cada sensor se puede ajustar mediante una resistencia **Rp**. A continuación se muestra el diagrama de conexión para todos los sensores de la familia MQ

Este sensor fue considerado pero de acuerdo a la naturaleza del proyecto no fue incluido dentro de la arquitectura electrónica para el glider prototipo

Por otro lado, los sensores de humedad BMP180 y de presión HTU21D(F), tienen sus propias librerías para la programación en la hoja de datos, así como sus factores de calibración entre otras

otras características. Mas adelante se encuentra el código de cada uno de los sensores donde se puede observar con mejor detalle la configuración de estos.

La siguiente etapa «propuesta de arquitectura electrónica» fue realizada en conjunto con el personal de CIDESI.

En la siguiente figura se muestra la arquitectura general del sistema de monitoreo del estado interno del glider, el microcontrolador se comunica, a través del protocolo digital de comunicación I2C, con el microcontrolador maestro, intercambiando con este el valor de las condiciones ambientales (humedad relativa, presión y temperatura) dentro del casco, además de la información del voltaje, corriente y estimado de estado de carga de la batería primaria y secundaria. Si alguna de estas condiciones ambientales y de las baterías se encuentran fuera de un limite de seguridad, el sistema avisa al microcontrolador principal de un estado de emergencia, a través de una señal digital.

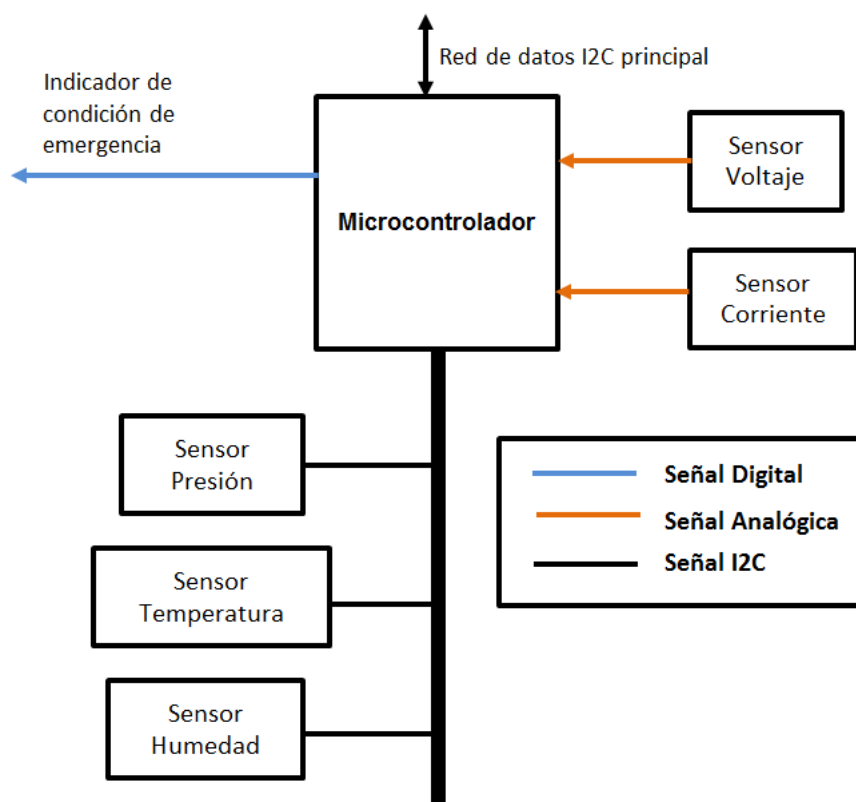


Figura 3.4: Arquitectura general del sistema de monitoreo

Los valores limites de seguridad considerados para activar la condición de alerta, son los siguientes:

Variable	Condición
Presión	> 9.5 psi
Humedad	> 65 %
Temperatura	> 35°C
Batería primaria	
Voltaje	< 21V durante mas de 5 seg
Corriente	> 5A durante mas de 5 seg
Carga	< 80 % de su capacidad
Batería secundaria	
Voltaje	< 10V durante mas de 5 seg
Corriente	> 1A durante mas de 5 seg
Carga	< 80 % de su capacidad

Cuadro 3.9: Limites de seguridad

De igual manera el diseño de la tarjeta electrónica, se hizo procurando que la PCB a implementar fuese de un tamaño contenido para no afectar en el espacio dentro del casco, ni en el peso total del glider. El diseño fue realizado en Altium, un software especializado para la realización de esta tarea.

La primera versión propuesta, se muestra a continuación.

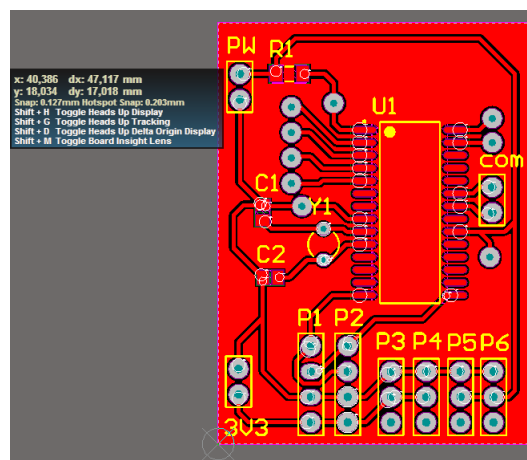


Figura 3.5: Tarjeta electrónica - Versión 1

A esta versión, le fue incluido un puerto de programación y la reorganización de los puertos para los sensores, así como también la implementación de indicadores para dichos puertos, resultando de la siguiente manera.

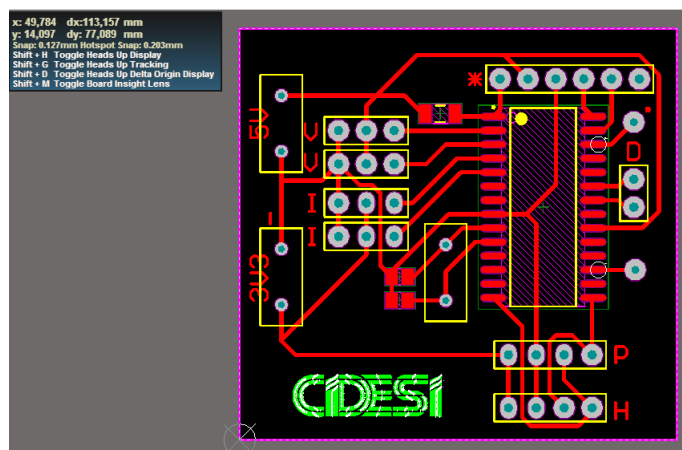


Figura 3.6: Tarjeta electrónica - Versión 2

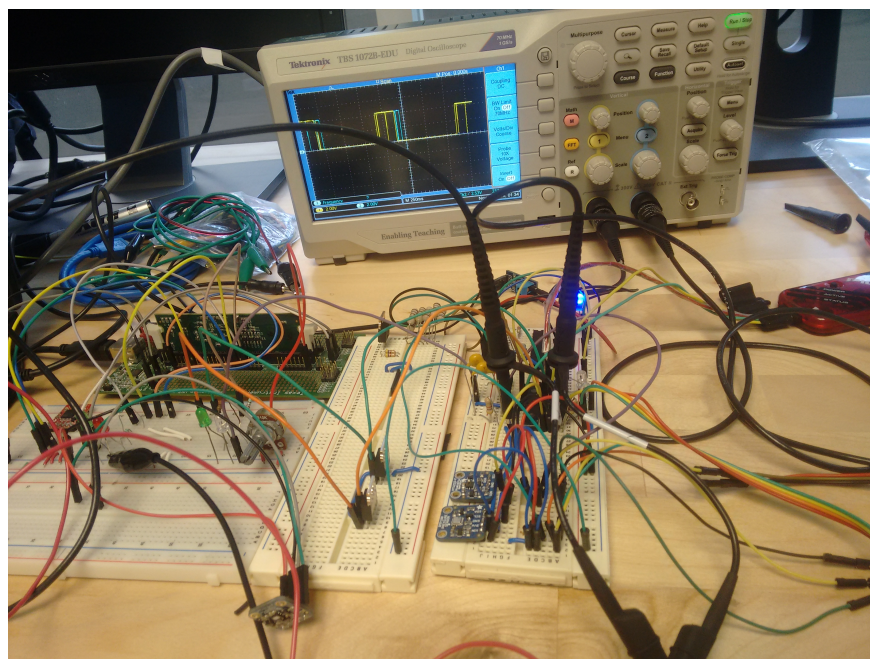


Figura 3.7: Realización de pruebas

En la siguiente etapa se realizaron pruebas para la integración del sistema de seguridad al sistema principal, donde se solicitaba la lectura de los datos adquiridos por este, para ver si los datos se transmitían correctamente. Durante estas pruebas de integración con el sistema principal, se observó que los niveles de voltaje utilizados para la comunicación por I2C por cada una de las partes era diferente, siendo de 3.3 V para el sistema principal y de 5 V para el sistema de emergencia, esto ocasionaba conflictos en la comunicación. Es por ello que se hizo el rediseño de la arquitectura electrónica, añadiendo un arreglo de transistores que cumplen la función de *level shifter*, quedando el diseño de la tarjeta electrónica final como se muestra en la siguiente figura.

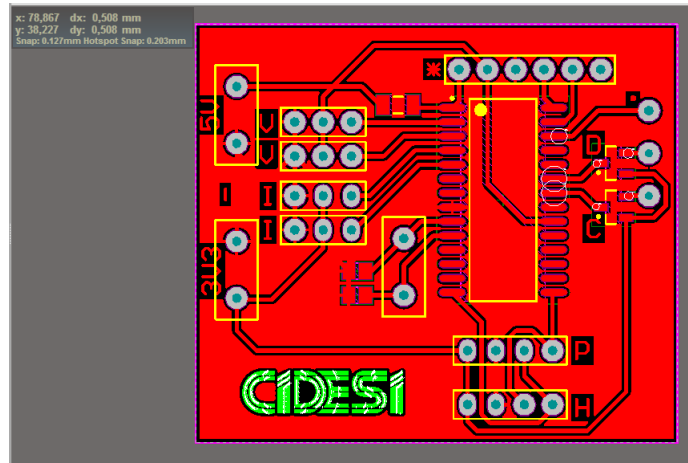


Figura 3.8: Tarjeta electrónica - Versión final

Por ultimo, se procedió a la fabricación de la tarjeta electrónica, con la maquina fresadora CNC para el grabado de rutas en circuitos impresos con la que cuenta el laboratorio de CIDESI. Este proceso es realizado mediante el uso de un software llamado LPF Circuit PRO para operar dicha maquina, en donde se configuran las capas o *layers* a hacer, así como la calibración de la broca para el grabado de las pistas.

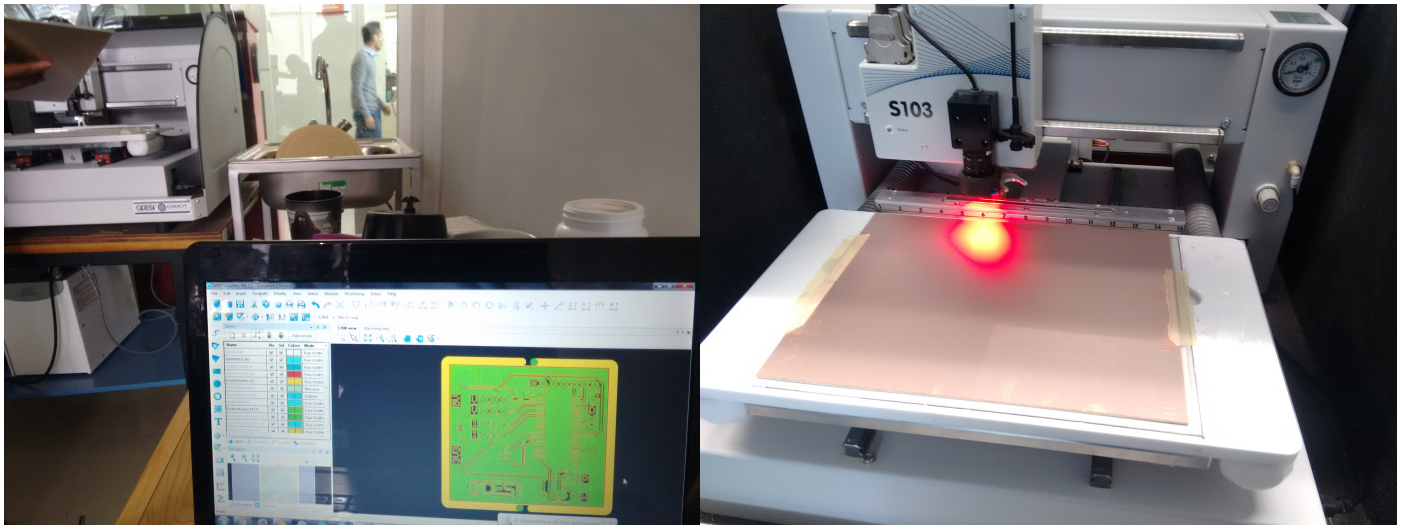


Figura 3.9: Manufactura de la PCB

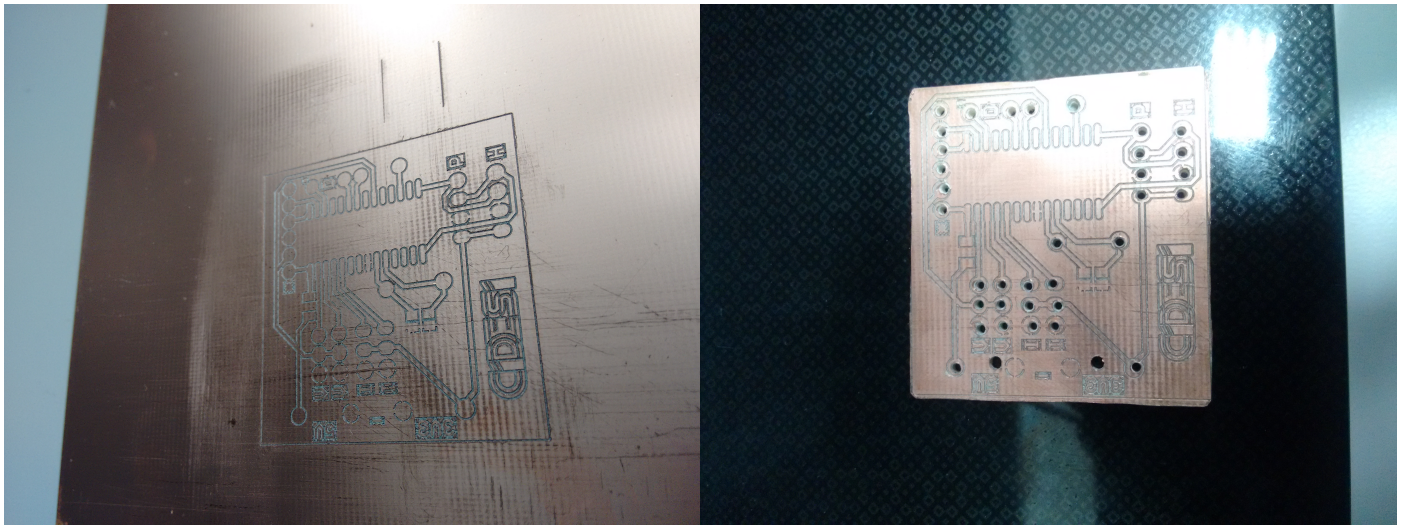


Figura 3.10: Manufactura de la PCB

Capítulo 4

Resultados

4.1. Resultados

Se realizaron mediciones de la corriente que sería empleada durante el funcionamiento del Glider. La batería primaria es la encargada de alimentar los motores que controlan la posición de la masa móvil y en consecuencia el ángulo de inclinación del glider. Por otro lado la batería secundaria es la encargada de alimentar la electrónica del vehículo. La razón principal para separar las fuentes de alimentación es por cuestiones de seguridad, ya que durante una misión no se puede poner en riesgo al vehículo, hay que asegurarse que tenga una fuente de alimentación que permita conocer su ubicación en caso que se quede sin energía. En las siguientes gráficas podemos observar el resultado obtenido con un amperímetro, con el sensor implementado en la instrumentación del glider y el error obtenido en estas mediciones. Los resultados obtenidos durante las pruebas de los sensores de voltaje y corriente se pueden observar a continuación.

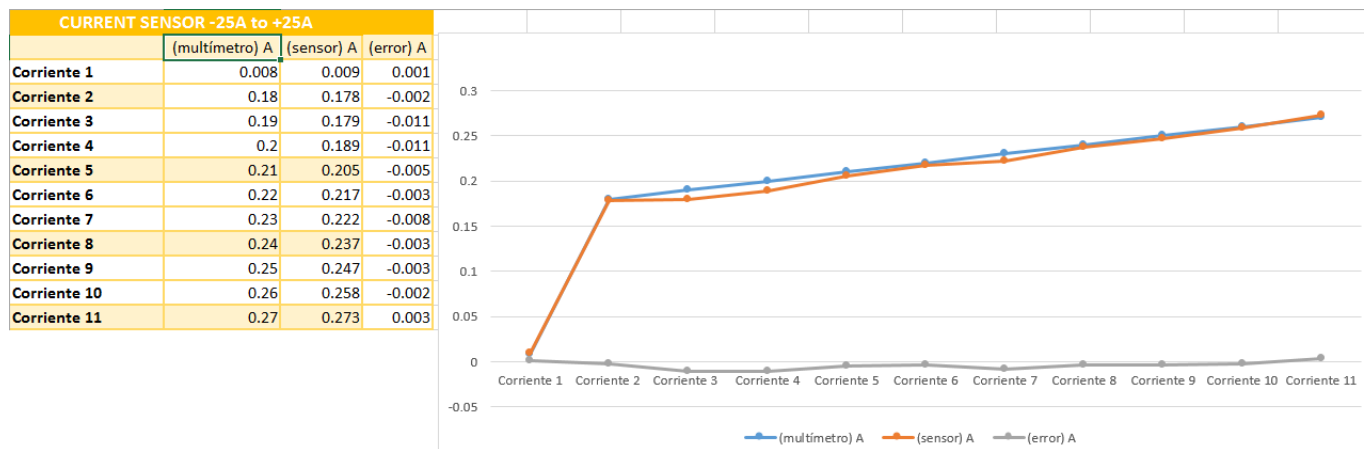


Figura 4.1: Gráfica de Corriente - Batería primaria

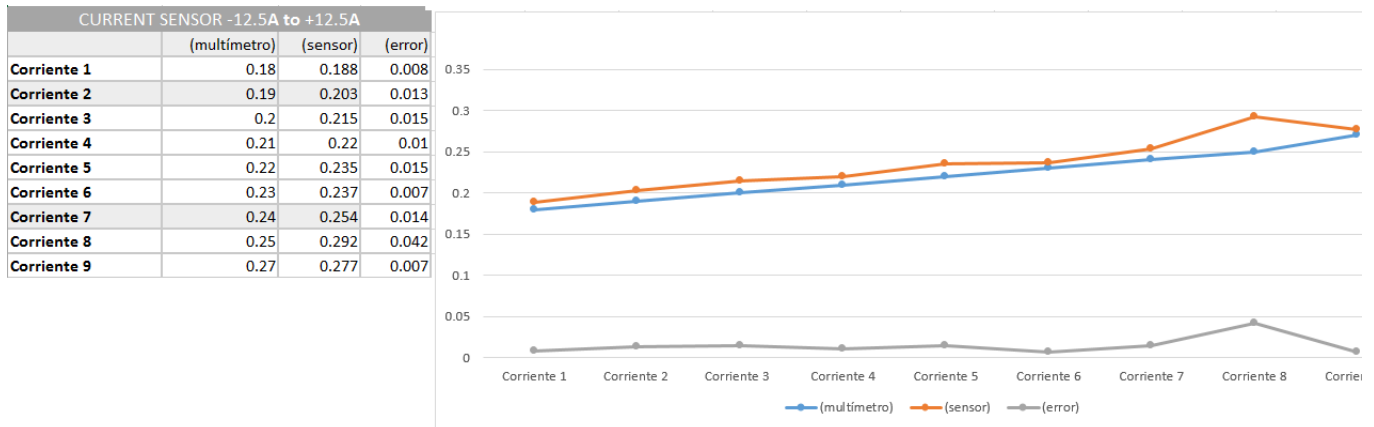


Figura 4.2: Gráfica de Corriente - Batería secundaria

Como se muestra en estas gráficas, los resultados tienen un margen de error mínimo, siendo el error mas grande de 0.01 A y el mas pequeño de 0.001 A para la batería primaria y para la batería secundaria un error máximo de 0.042 A y el mínimo de 0.007 A

Del mismo modo se realizaron pruebas con el voltaje, haciendo mediciones con diferentes magnitudes verificando el rango de operación de los sensores y tomando en cuenta la capacidad de ambas baterías. Dichas capacidades oscilan entre los 25 V y 30 V. Estas pruebas iniciaron con estos voltajes, siendo estos reducidos hasta la proximidad con 0 V.

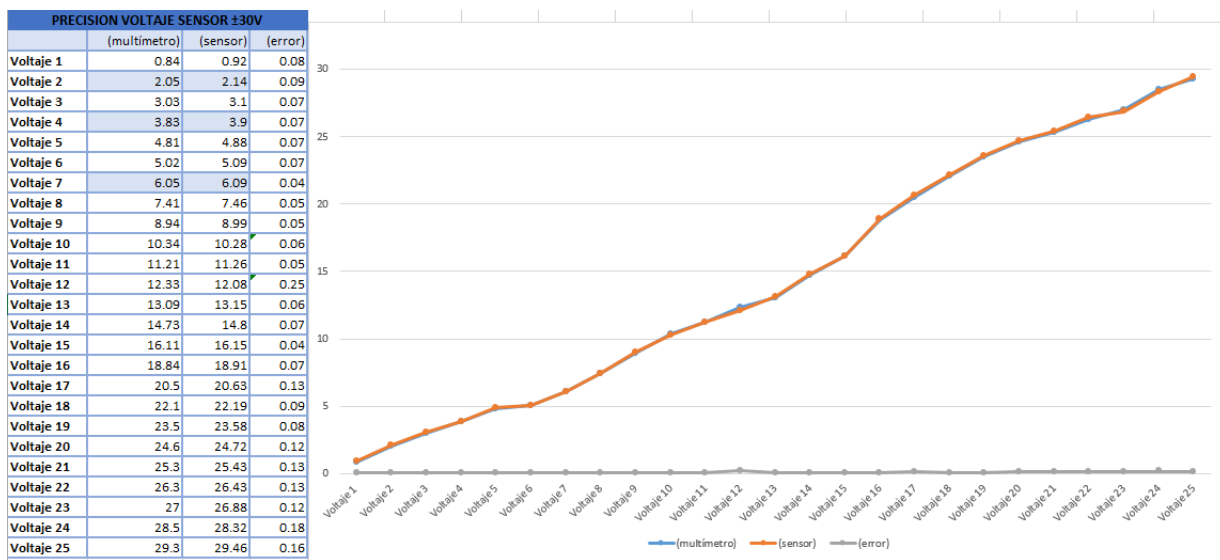


Figura 4.3: Gráfica de Voltaje - Batería primaria

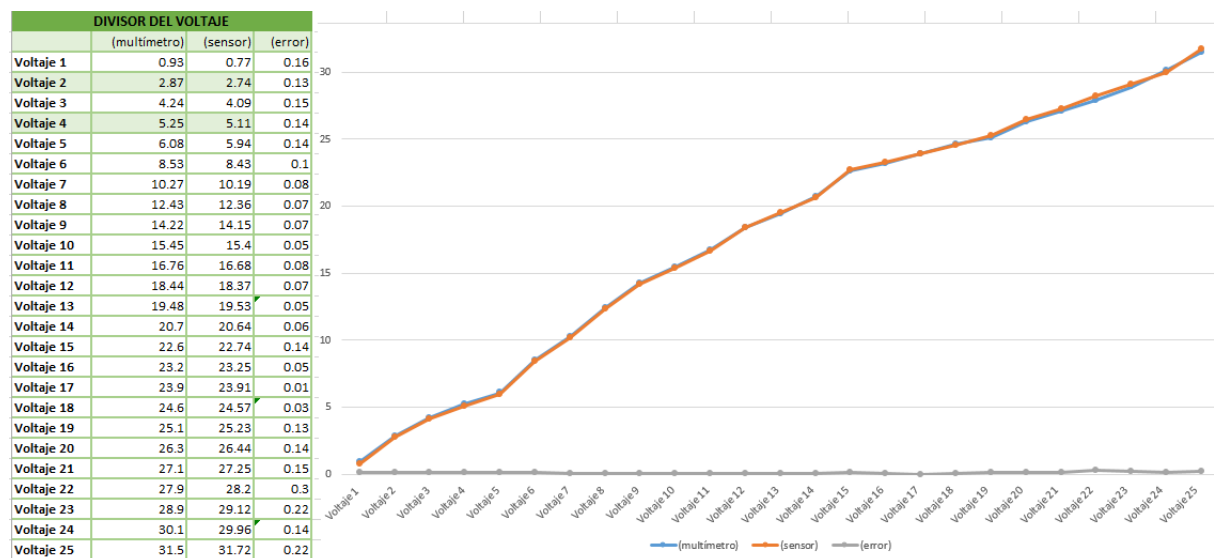


Figura 4.4: Gráfica de Voltaje - Batería secundaria

De igual modo fueron tomadas medidas con un voltímetro para comparar con las mediciones obtenidas con los sensores implementados. Los errores máximos obtenidos fueron 0.25 V y 0.22 V y los mínimos 0.04 V y 0.01 V para la primera y segunda batería respectivamente.

De la misma manera se realizaron pruebas con ambos sensores de temperatura para comparar la fiabilidad de estos resultados. Cada una de las pruebas, se realizó durante el transcurso del día, tomando mediciones cada 5 minutos para su posterior análisis.

Durante la primer prueba, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Dato	BMP180	HTU21D
Prueba a las 9:00 AM		
1	23.22°C	23.23°C
2	23.21°C	23.23°C
3	23.21°C	23.24°C
4	23.21°C	23.26°C
5	23.21°C	23.27°C
6	23.21°C	23.28°C
7	23.17°C	23.29°C
8	23.18°C	23.29°C
9	23.20°C	23.30°C
10	23.20°C	23.30°C

Cuadro 4.1: Datos sensor de temperatura - Prueba 1

Después de esta prueba al ver que los resultados no variaban mucho, se decidió realizar una segunda prueba mas tarde, de modo que la temperatura interna fuera considerablemente mayor. Dicha prueba fue realizada 2 horas después de finalizada la primer prueba.

Dato	BMP180	HTU21D
Prueba a las 12:00 PM		
1	26.26°C	26.40°C
2	26.25°C	26.41°C
3	26.26°C	26.42°C
4	26.26°C	26.40°C
5	26.26°C	26.41°C
6	26.26°C	26.40°C
7	26.25°C	26.41°C
8	26.24°C	26.39°C
9	26.25°C	26.39°C
10	26.25°C	26.40°C

Cuadro 4.2: Datos sensor de temperatura - Prueba 2

Durante la segunda prueba se puede observar una diferencia entre sensores un poco mas grande, siendo de 14° y 15° para todos los datos obtenidos.

Dato	BMP180	HTU21D
Prueba a las 3:00 PM		
1	28.92°C	28.78°C
2	28.93°C	28.83°C
3	28.93°C	28.88°C
4	28.93°C	28.90°C
5	28.94°C	28.94°C
6	28.96°C	28.96°C
7	28.97°C	28.96°C
8	28.99°C	28.99°C
9	28.99°C	29.01°C
10	29.00°C	29.01°C

Cuadro 4.3: Datos sensor de temperatura - Prueba 3

Por ultimo, se realizo una prueba mas, 2 horas después de la ultima medición de la prueba anterior. Como se puede observar, los resultados entre ambos sensores tienen una variación de entre 9° y 10° siendo un error menor al de la segunda prueba.

La Humedad Relativa fue tomada con un sensor de uso especifico como referencia, para comparar con los resultados obtenidos con el sensor a implementar en el Glider submarino.

Humedad		
Dato	HR (Real)	HR (HTU21D(F))
1	42.55	42.53
2	42.39	42.49
3	42.23	42.43
4	42.55	42.41
5	42.39	42.37
6	42.75	42.32
7	42.59	42.33
8	42.43	42.28
9	42.37	42.26
10	42.39	42.24

Cuadro 4.4: Resultados sensor de Humedad

En este caso, el error mínimo obtenido es de 0.02 % y el error máximo es de 0.43 %.

Por ultimo, en la siguiente imagen se puede observar como el pin digital se activa cuando las condiciones reales se salen del margen de seguridad mencionado con anterioridad.

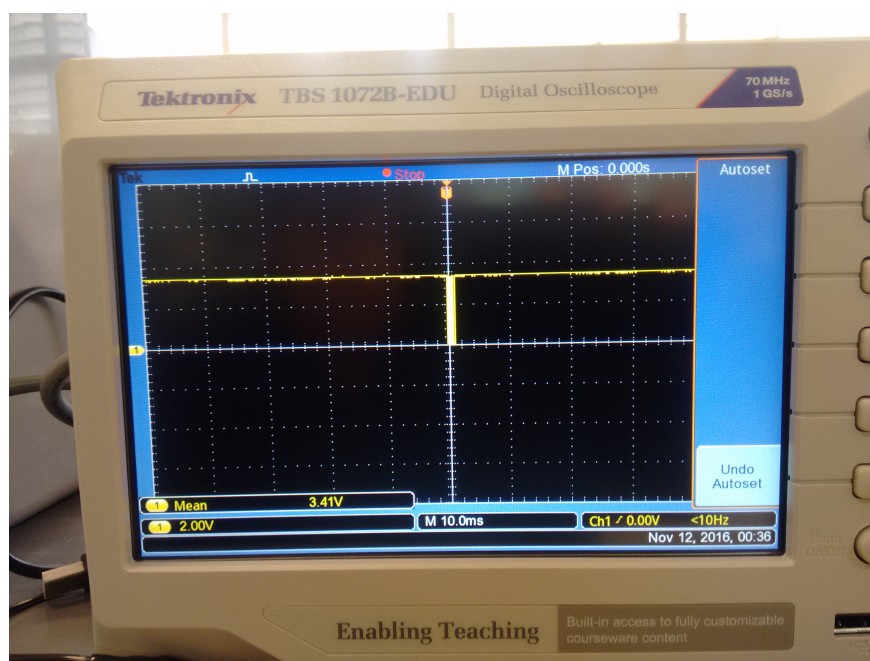


Figura 4.5: Activación del pin digital

Esto fue verificado variando cada una de las condiciones medidas para observar que el pin digital se activara con cada una de las condiciones de seguridad.

4.2. Actividades sociales

Durante mi estancia en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, a la par de las actividades técnicas, también realicé actividades de apoyo administrativo, como fue la elaboración de cotizaciones del material utilizado, ya sea para el mismo proyecto tanto como para otros que se realizan en el Área de Energías.

A demás de la participación en el proyecto del que trata el presente, también tuve la oportunidad de integrarme en la participación de otros proyectos que se realizaron en el Área de Sistemas Dinámicos y de Transferencia, como son:

- Fabricación de una cámara de curado por radiación UV: En este proyecto participé como apoyo para la integración de la parte electrónica con la parte física, en el ensamblado final de la estructura.
- Carrusel LED para la detección de dengue: En este proyecto participé en la integración de componentes durante la manufactura de tarjetas electrónicas.

Otra de las tareas que realice para el proyecto, fue un «Descargador de baterías con interfaz de MatLAB» para la monitorización de las baterías que se utilizan en este tipo de vehículos. Esta interfaz mostraba el nivel de voltaje y corriente y realizaba una base de datos para el análisis posterior de estos.

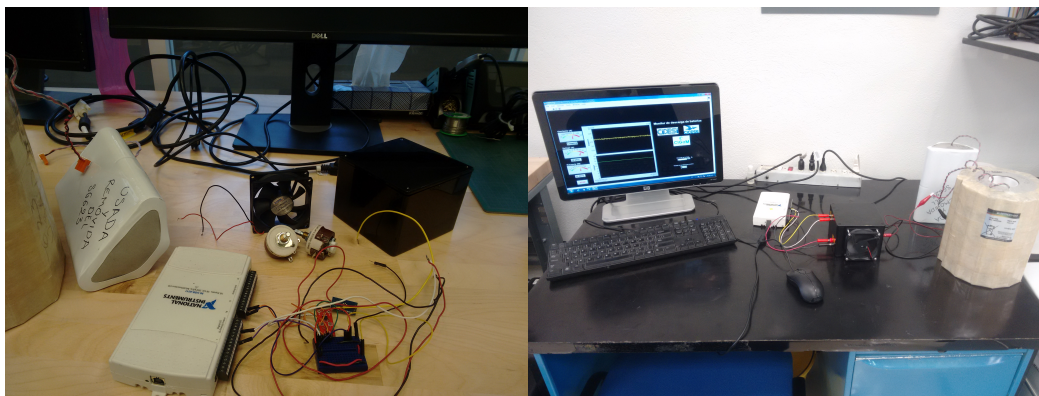


Figura 4.6: Descargador de baterías

También realicé el diseño del logotipo actual del Laboratorio de Robótica Submarina, en colaboración con Fernando Fonseca Navarro, estudiante de Maestría y Luis Fernando Malanche Paredes, Residente de Ingeniería Mecánica, en el proyecto «Nucleador para toma de muestras de fondo marino hasta 1,500 m.».

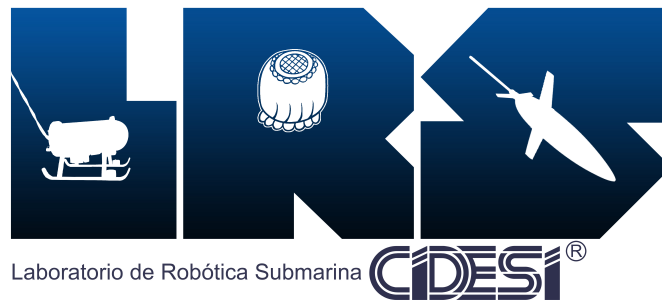


Figura 4.7: Laboratorio de Robótica Submarina

4.3. Conclusiones

Hasta este punto el proyecto logra terminar con los objetivos planteados, ya que la comunicación de cada uno de los sensores con el microcontrolador para promediarlos y tener un registro de los valores medidos funciona, ya que como se puede observar en la sección de resultados, los valores obtenidos durante las pruebas mediante los sensores son precisos y fiables, así como también la comunicación entre el módulo de control y monitoreo de sensores internos y el controlador principal mediante el protocolo I2C fue implementada correctamente, sin embargo aún falta conocer el tamaño del casco para poder adecuar la electrónica a esas dimensiones.

Dado que el tiempo en el que estuve desarrollando este proyecto fue corto, no fue suficiente para poder implementar la electrónica en el prototipo físico, ya que el glider se encuentra aun en la primer etapa de desarrollo y la manufactura de este aun esta en proceso. A pesar de tener un avance importante, aún faltan detalles por corregir en la determinación del estado de carga de las baterías, que solo se pueden realizar haciendo pruebas de mediciones en laboratorio y en campo con las baterías a emplear.

4.4. Competencias desarrolladas

Las competencias desarrolladas durante la Residencia Profesional, además de desarrollarme personalmente, es el aprendizaje e implementación de I2C como protocolo de comunicación, y el manejo de nuevos softwares especializados para el diseño de circuitos impresos, así como también la habilidad de manejar equipo de laboratorio como la maquina fresadora CNC para el grabado de rutas en circuitos impresos y la capacidad de poder trabajar en equipo.

Capítulo 5

Anexos

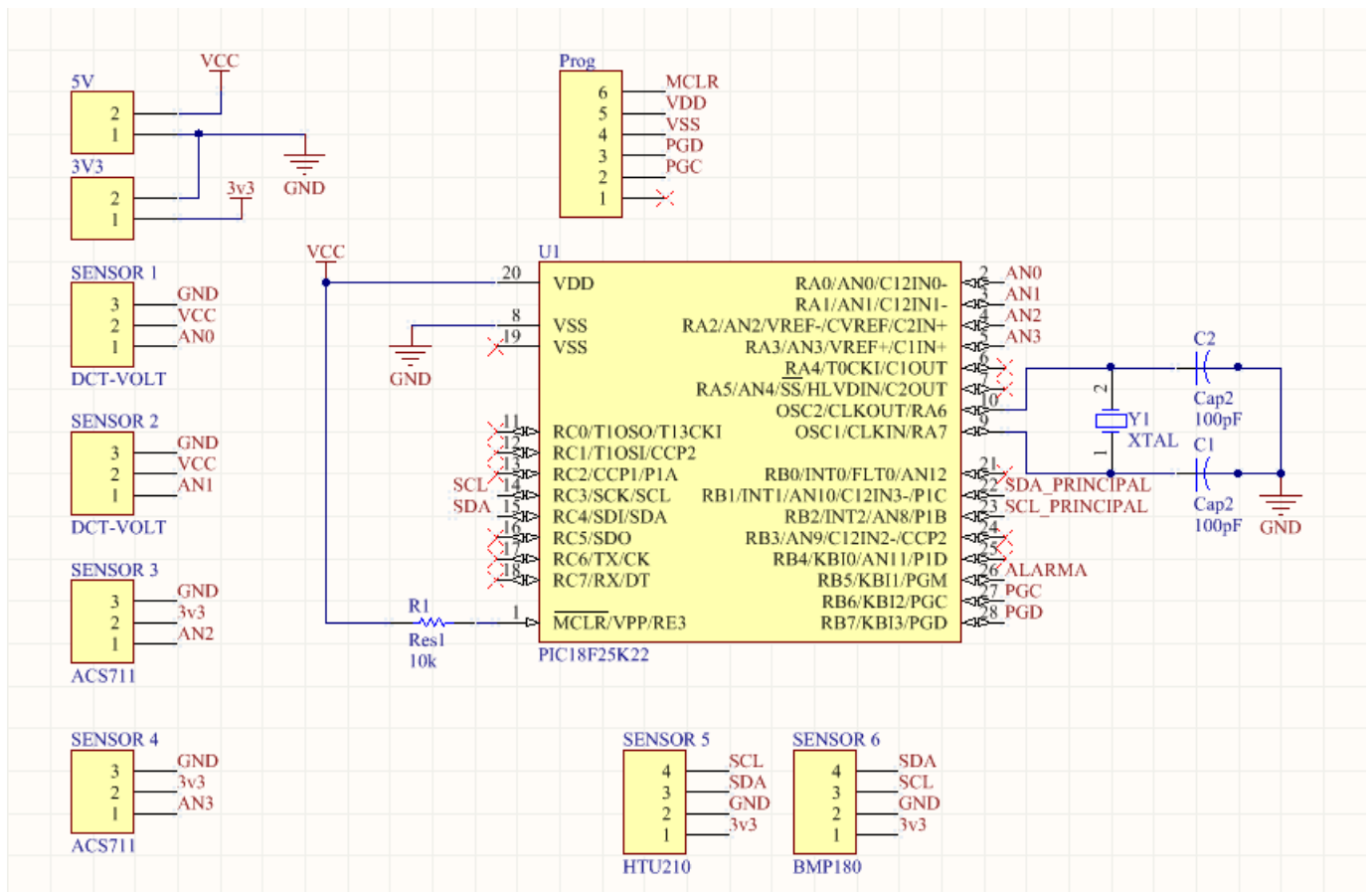


Figura 5.1: Diagrama esquemático de conexión

El código empleado para la programación de la tarjeta electrónica, es el siguiente:

```

/*
 * File: Sistema_interno.c
 * Author: Alejandro Gordillo Pinto
 *
 * Created on 14 de Nov de 2016, 12:35 AM
 */
#include "congif.h"
#include "bmp180.h"
#include <xc.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <stdint.h>
#include <math.h>
#define _XTAL_FREQ 16000000 //cristal de 4Mhz
typedef enum {Vol1=0x02,Vol2,Cor1,Cor2,Hum,Tem1,Tem2,Pres,Todo,inactivo,lectura} comando_;
comando_ comando = inactivo;
unsigned char data,firstdatah,firstdatal,seconddatah,seconddatal,fourthdatah,fourthdatal,fifthdatah,fifthdatal;
char humh,huml,tmp,h,tmp,h,chec;
float promuno,totaldos,totalcuatro[50],sumacuatro,promcuatro,totalcinco[50],sumacinco,promcinco,totalhume
double temp,p,presu,PO;
volatile char *pun,*ptr; unsigned short tx_data, rx_buf;
unsigned humedad,elbueno,tmp,elbuenotmp;
int vol=0; //Variables
int vol2=0; //para el
int corr=0; //sistema
int corr2=0; //de alarma
//I2C Modo maestro//
void i2c_iniciar_mas() { //configuracion de I2C maestro
ANSELCbits.ANSC3 = 0; //configurar entradas digitales

```

```

ANSELCbits.ANSC4 = 0;
TRISCbits. TRISC3 = 1; //pin SCL como entrada dig
TRISCbits. TRISC4 = 1; //pin SDA como entrada dig
SSP1STAT = 0b10000000; //velocidad estandar, especificaciones i2c
SSP1CON1 = 0b00101000; //habilita i2c, en modo maestro
SSP1CON2 = 0b00000000; //comunicación i2c no iniciada
SSP1ADD = 9; //velocidad de 100kbps, osc de 4 MHz
PIR1bits.SSP1IF = 1; //Synchronous Serial Port 1:transmision complete
PIR2bits.BCL1IF = 0; //Bus Collision Interrupt 0:no bus collision occurred
void i2c_espera(){ //función de espera antes de realizar algún trabajo
while( SSP1STATbits.R_nW | SSP1CON2bits.SEN1 | SSP1CON2bits.RSEN1 | SSP1CON2bits.PEN1
| SSP1CON2bits.RCEN1 | SSP1CON2bits.ACKEN1 );
}
void i2c_init_com(){ //funcion de inicio de la comunicación i2c
i2c_espera(); //espera las condiciones adecuadas
SSP1CON2bits.SEN1 = 1; //se inicia la comunicación i2c
}
void i2c_reiniciar_com(){ //funcion de reinicio de la comunicación
i2c_espera(); //espera las condiciones adecuadas
SSP1CON2bits.RSEN1 = 1; //reinicia la comunicación
}
void i2c_detener_com(){ //detener la comunicación
i2c_espera(); //espera las condiciones adecuadas
SSP1CON2bits.PEN1 = 1; //se detiene la comunicación
while(SSP1CON2bits.PEN1);
}
//Función de transmisión de datos del maestro al esclavo esta función devuelve un 0 si el esclavo
a recibido el dato
unsigned char i2c_enviadata(unsigned char dato){
i2c_espera();
SSP1CON2bits.ACKSTAT1 = 1;
SSP1BUF = dato;

```

```

if(SSP1CON1bits.WCOL1 == 1){
SSP1CON1bits.WCOL1 = 0;
while(SSP1STATbits.BF1 == 1); }
if(SSP1CON2bits.ACKSTAT1 == 0) return 1;
else return 0; }

//Función para leer los datos que están en el esclavo
unsigned char i2c_recibedato(unsigned char ack){
i2c_espera();
SSP1CON2bits.RCEN1 = 1;
if (ack) SSP1CON2bits.ACKDT1 = 0;
else SSP1CON2bits.ACKDT1 = 1;
while (SSP1CON2bits.RCEN1 == 1);
SSP1CON2bits.ACKEN1 = 1;
while (SSP1CON2bits.ACKEN1 == 1);
if(!ack) i2c_detener_com();
return SSP1BUF; }

unsigned char writeByte(unsigned char address,unsigned char reg,unsigned char val){
i2c_init_com(); //Enviar START
i2c_enviadato( (address<<1)); //Enviar dirección con opción de Write
i2c_enviadato(reg);
unsigned char noError = i2c_enviadato(val);
i2c_detener_com();
return noError; }

char readBytes(unsigned char address,unsigned char reg,unsigned char *values, char length){
i2c_init_com();
i2c_enviadato((address<<1));
char noError = i2c_enviadato(reg);
if(noError){ i2c_reiniciar_com();
i2c_enviadato((address<<1)|1);
for(int i=0;i<length;i++){
if(i<length-1) values[i] = i2c_recibedato(1);
else values[i] = i2c_recibedato(0); } }

```



```

else i2c_detener_com(); }
void saveData2Send(float data) //MSB-LSB {
char *ptr= (char *) &data;
for(int i=3; i>=0 ;i-)
tempOut[i]= *ptr++; }
//Juntar toda la informacion en un solo arreglo
void mixData(void) {
for(int i=31;i>=0;i-) {
if(i==3) ptr= (char *)&presu;
if(i==7) ptr= (char *)&temp;
if(i==11) ptr=(char *)&totaltmp2;
if(i==15) ptr=(char *)&totalhumedad;
if(i==19) ptr=(char *)&promcinco;
if(i==23) ptr= (char *)&promcuatro;
if(i==27) ptr= (char *)&totaldos;
if(i==31) ptr=(char *)&promuno;
allData[i]=*ptr++; } }
///
//I2C Modo esclavo
i2c_iniciar_esc() {
SSP2STAT = 0b00000000;
ANSELBbits.ANSB1 = 0;
ANSELBbits.ANSB2 = 0;
TRISBbits.TRISB1 = 1; //pin SCL como entrada dig
TRISBbits.TRISB2 = 1; //pin SDA como entrada dig
SSP2ADD = 0x30; //direccion del pic esclavo en i2c
SSP2CON1 = 0x36; //habilitar i2c con direccionamiento de 7 bits
SSP2CON1bits.SSPOV2 = 0;
INTCONbits.GIE = 1;
INTCONbits.PEIE = 1;
PIE3bits.SSP2IE = 1;
}

```

```
//Interrupción de alta prioridad
void interrupt i2c_slave()
{ if (SSP2IF == 1) //Recibe direccion
{ SSP2IF=0; //Limpia bandera
if(SSP2STATbits.R_nW == 0) //Solicita escribir
{ if(SSP2STATbits.D_nA2 == 0)//Ultimo byte fue direccion
{ data = SSP2BUF;
if (data == 0x30){PORTBbits.RB5 = 1;} }
if(SSP2STATbits.D_nA2 == 1)//Ultimo byte fue dato
{ data = SSP2BUF;
switch(data) {
case 0x02:
comando=lectura;
saveData2Send(promuno);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x03:
comando=lectura;
saveData2Send(totaldos);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x04:
comando=lectura;
saveData2Send(promcuatro);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x05:
comando=lectura;
saveData2Send(promcinco);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x06:
```

```

comando=lectura;
saveData2Send(totalhumedad);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x07:
comando=lectura;
saveData2Send(totaltmp2);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x08:
comando=lectura;
saveData2Send(temp);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x09:
comando=lectura;
saveData2Send(presu);
pun=(char *)&tempOut;
break;
case 0x0A:
comando=lectura;
mixData();
pun= &allData;
break;
default: comando=inactivo;
break;
}} }
if( SSP2STATbits.R_nW == 1) //Solicita leer
{ if(SSP2STATbits.D_nA2) //Byte enviado por I2C Maestro es requisición de dato {
if(comando==lectura)
SSP2BUF=*pun++; //Si es algún comando de lectura enviar dato a través de puntero }
SSP2CON1bits.CKP2 = 1; //liberar linea scl, envía

```

```

data = SSP2BUF; //leer para limpiar bandera
return; } } }

//////////////////////////////////UART//////////////////////////////////
//////////////////////////////////

void init_uart() //config uart {
TRISCBits.TRISC6 = 0; // pin tx como salida
TRISCBits.TRISC7 = 1; // pin rx como entrada
TXSTA1bits.TX9 = 0; // 8-bit transmission
TXSTA1bits.TXEN = 1; // habilita transmisor
TXSTA1bits.SYNC = 0; // Asynchronous mode
TXSTA1bits.BRGH = 1; // low speed
TXSTA1bits.TRMT = 1; // ....
BAUDCONbits.BRG16 = 0;
RCSTA1bits.SPEN = 1; //serial port enable
RCSTA1bits.RX9 = 0; //8 bits reception
RCSTA1bits.CREN = 1;// habilita transmisor
SPBRG1 = 25; // 9600 baudios 4Mhz }
void envia_caracter_usart(char caracter) {
while(!TXSTAbits.TRMT); // mientras el registro TSR esta lleno espera
TXREG = caracter; // cuando el registro TSR esta vació se envia el caracter }
void envia_cadena_usart(char* cadena){//cadena de caracteres de tipo char
while(*cadena !=0x00){//mientras el último valor de la cadena sea diferente de el caracter nulo
envia_caracter_usart(*cadena);//transmite los caracteres de cadena
*cadena++;//incrementa la ubicación de los caracteres en cadena para enviar el siguiente caracter
de cadena } }

//////////////////////////////////
//////////////////////////////////ADC//////////////////////////////////
//////////////////////////////////

void initAdc() //config del ADC
{ ADCON0bits.ADON = 1; //se enciende el ADC
ADCON1 = 0b00000000; //vref es vss y vdd
ADCON2 = 0b10111111; //se justifica a la derecha, Tad en 12, Fosc en Frc

```



```

void bmp180_init(){
double c3, c4, b1;
char data[22];
readBytes(BMP180, calibReg, &data, 22);
AC1 = data[0]<<8| data[1];
AC2 = data[2]<<8| data[3];
AC3 = data[4]<<8| data[5];
AC4 = data[6]<<8| data[7];
AC5 = data[8]<<8| data[9];
AC6 = data[10]<<8| data[11];
VB1 = data[12]<<8| data[13];
VB2 = data[14]<<8| data[15];
MB = data[16]<<8| data[17];
MC = data[18]<<8| data[19];
MD = data[20]<<8| data[21];
c3 = 160.0 * pow(2,-15)*AC3;
c4 = pow(10,-3)* pow(2, -15) * AC4;
b1 = pow(160,2) * pow(2, -30) * VB1;
c5 = (pow(2,-15)/160) * AC5;
c6 = AC6;
mc = (pow(2,11)/pow(160,2))*MC;
md = MD/160.0;
x0 = AC1;
x1 = 160.0 * pow(2,-13)*AC2;
x2 = pow(160,2) * pow(2,-25) * VB2;
y0 = c4 * pow(2,15);
y1 = c4 * c3;
y2 = c4 * b1;
p0 = (3791.0 - 8.0)/1600.0;
p1 = 1.0 - 7357.0 * pow(2,-20);
p2 = 3038.0 * 100.0 * pow(2,-36);
}

```

```

void readUT (){
char data[2]; //lee uncompensated temperature
writeByte(BMP180, ctrl_meas, 0x2E);
__delay_ms(5);
readBytes(BMP180, outputMSB, &data, 2);
ut = data[0]<<8| data[1];
char str[10];
}
void readUP (){
char str[10];
char data[3];
writeByte(BMP180, ctrl_meas, (OSS<<6)|0x34);
if (OSS == UL)
__delay_ms(delayUL);
if (OSS ==STD)
__delay_ms(delaySTD);
if(OSS==HR)
__delay_ms(delayHR);
if(OSS==UHR)
__delay_ms(delayUHR);
readBytes(BMP180,outputMSB ,&data,3);
up = (data[0] * 256.0) + data[1] + (data[2]/256.0);
}
void calpress(){
double s, x, y, z;
s = T - 25.0;
x = (x2 * pow(s, 2)) + (x1 * s) + x0;
y = (y2 * pow(s, 2)) + (y1 * s) + y0;
z = (up - x) / y;
P = (p2 * pow(z, 2)) + (p1 * z) + p0; }
void caltemp(){
double a;

```

```

a = c5 * (ut - c6);
T = a + (mc / (a + md)); }
void readBMP(double * pressure, double * temperature){
readUT();
readUP();
caltemp();
calpress();
*pressure=P;
*temperature=T; }
int valor;
/////////////////////////////////////////////////////////////////
Programa principal
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void main(void) {
TRISBbits.TRISB5 = 0;
i2c_iniciar_mas();
i2c_iniciar_esc();
initAdc();
init_uart();
PO = 1013.25;
bmp180_init();
while (1){
PORTBbits.RB5 = 0;
/////////////////////////////////////////////////////////////////BMP180/////////////////////////////////////////////////////////////////
readBMP(&p,&temp);
presu=p*0.0145038;
/////////////////////////////////////////////////////////////////HTU21D/////////////////////////////////////////////////////////////////
char reg_data[3];
readBytesHTU21D(0x40,0xE5,&reg_data,3);//lee humedad 0xE5
humh = (reg_data[0]);
huml = (reg_data[1]);
humedad = (((reg_data[0]<<8) | reg_data[1]));

```



```

elbueno = humedad & 0xFFFC;
totalhumedad = ((humedad /65536.0)*125)-6;
__delay_ms(1);
char reg_datatmp[3];
readBytesHTU21D(0x40,0xE3,&reg_datatmp,3);//lee temperatura 0xE3
tmph = (reg_datatmp[0]);
tmpl = (reg_datatmp[1]);
tmp = (((reg_datatmp[0]<<8) | reg_datatmp[1]));
elbuenotmp = tmp &0xFFFC;
totaltmp2 = ((elbuenotmp / 65536.0)*175.72)-46.85;
__delay_ms(1);
////////////////////////////////ANALOGICOS////////////////////////////////
//VoltajeBateria1 valor = 0b00000; //pin 2
GetValueAdc(valor);
firstdatah = ADRESH;
firstdatal = ADRESL;
promuno = ((25/1023.0)*(float)ADC);
__delay_us(1);
//VoltajeBateria2
valor = 0b00001; //pin 3
GetValueAdc(valor);
seconddatah = ADRESH;
seconddatal = ADRESL;
totaldos = ((25/1023.0)*(float)ADC);
__delay_us(1);
//CorrienteBateria1
sumacuatro = 0;
for(int i=1;i<=50;i++){
valor = 0b00010; //pin 4
GetValueAdc(valor);
fourthdatah = ADRESH;
fourthdatal = ADRESL;

```

```

totalcuatro[i] = (((5000/1024.0)*(float)ADC)-1685)/110)+.3;
sumacuatro = sumacuatro + totalcuatro[i]; }
promcuatro = 0;
promcuatro = sumacuatro/50;
__delay_us(1);
//CorrienteBateria2
sumacinco = 0;
for(int i=1;i<=50;i++){
valor = 0b00011; //pin5
GetValueAdc(valor);
fifthdatah = ADRESH;
fifthdatal = ADRESL;
totalcinco[i] = (((5000/1024.0)*(float)ADC)-1685)/115)+.2;
sumacinco = sumacinco + totalcinco[i]; }
promcinco = 0;
promcinco = sumacinco/50;
__delay_us(1);
////////////////////////////////////////alarmas////////////////////////////////////////
if (temp >= 35){PORTBbits.RB5 = 1;}
if (totaltmp2 >= 35){PORTBbits.RB5 = 1;}
if (presu>=20){PORTBbits.RB5 = 1;}
if (totalhumedad>=65){PORTBbits.RB5 = 1;}
if (promuno<=4){vol++;} else {vol=0;}
if (vol>=5){PORTBbits.RB5 = 1;} else PORTBbits.RB5 = 0;
if (totaldos<=4){vol2++;} else {vol2=0;}
if (vol2>=5){PORTBbits.RB5 = 1;} else PORTBbits.RB5 = 0;
if (promcuatro>=5){corr++;} else {corr=0;}
if (corr>=5){PORTBbits.RB5 = 1;} else PORTBbits.RB5 = 0;
if (promcinco>=1){corr2++;} else {corr2=0;}
if (corr2>=5){PORTBbits.RB5 = 1;} else PORTBbits.RB5 = 0;
//////////Estado de carga//////////
*/ soc1a=soc1b-promcuatro

```

```

// / soc2a=soc2b - promcinco;
//
//
//
/*
unsigned char tmp[160];
sprintf(tmp,"V1: %.2f \r",promuno);
envia_cadena_uart(tmp);
sprintf(tmp,"V2: %.2f \r",totaldos);
envia_cadena_uart(tmp);
sprintf(tmp,"I1: %.3f \r",promcuatro);
envia_cadena_uart(tmp);
sprintf(tmp,"\t I2: %.3f \r",promcinco);
envia_cadena_uart(tmp);
sprintf(tmp,"\t HR: %.2f \r",totalhumedad);
envia_cadena_uart(tmp);
sprintf(tmp," TEMP1: %.2f \r",totaltmp2);
envia_cadena_uart(tmp);
char str[100];
sprintf(str," TEMP2: %.2f \r",temp);
envia_cadena_uart(str);
sprintf(str," PRESION: %.2f \n\r",presu);
envia_cadena_uart(str); }
return; }

```


Bibliografía

- A Alvarez, A Caffaz, A Caiti, G Casalino, L Gualdesi, A Turetta, and R Viviani. Folaga: A low-cost autonomous underwater vehicle combining glider and auv capabilities. *Ocean Engineering*, 36(1):24–38, 2009.
- Asher Bender, Daniel Matthew Steinberg, Ariell Lee Friedman, and Stefan B Williams. Analysis of an autonomous underwater glider. In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*, pages 1–10, 2008.
- Andrea Caffaz, Andrea Caiti, Giuseppe Casalino, and Alessio Turetta. The hybrid glider / auv folaga. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 17(1):31–44, 2010.
- Russ E Davis, Charles C Eriksen, and Clayton P Jones. Autonomous buoyancy-driven underwater gliders, 2002.
- Russ E Davis, CE Eriksen, and Clayton P Jones. Technology and applications of autonomous underwater vehicles. *Gwyn Griffiths*, pages 37–58, 2003.
- Charles C Eriksen, T James Osse, Russell D Light, Timothy Wen, Thomas W Lehman, Peter L Sabin, John W Ballard, and Andrew M Chiodi. Seaglider: A long-range autonomous underwater vehicle for oceanographic research. *IEEE Journal of oceanic Engineering*, 26(4):424–436, 2001.
- Daniel W French. Analysis of unmanned undersea vehicle (uuv) architectures and an assessment of uuv integration into undersea applications. Technical report, DTIC Document, 2010.
- Jesse Stuart Geisbert. Hydrodynamic modeling for autonomous underwater vehicles using computational and semi-empirical methods. 2007.
- BJW Greenan and NS Oakey. A tethered free-fall glider to measure ocean turbulence. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(11):1545–1555, 1997.
- Chunzhao Guo and Naomi Kato. Mini underwater glider (mug) for education. In *Workshop for Asian and Pacific Universities’ Underwater Roboticians (APuuRobo 2008)*, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan, 2008.
- Danio Joe, RV Shashank Shankar, R Vijayakumar, and Arnab Das. Concept design of autonomous underwater glider. *International Journal of Innovative Research and Development* || ISSN 2278–0211, 1(10):176–189, 2012.

- Katsuyoshi Kawaguchi, Y Tomoda, H Kobayashi, and T Ura. Development and sea trials of a shuttle type auv."albac". In *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON UNMANNED UNTETHERED SUBMERSIBLE TECHNOLOGY*, pages 7–7. Citeseer, 1993.
- Héctor A Moreno, Roque Saltarén, Lisandro Puglisi, Isela Carrera, Pedro Cárdenas, and César Álvarez. Robótica submarina: Conceptos, elementos, modelado y control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(1):3–19, 2014.
- US Navy. The navy unmanned undersea vehicle (uuv) master plan. *US Navy, November*, 9:90, 2004.
- D Paster. Importance of hydrodynamic considerations for underwater vehicle design. In *OCEANS'86*, pages 1413–1422. IEEE, 1986.
- Daniel L Rudnick, Russ E Davis, Charles C Eriksen, David M Fratantoni, and Mary Jane Perry. Underwater gliders for ocean research. *Marine Technology Society Journal*, 38(2):73–84, 2004.
- Jeff Sherman, Russ E Davis, WB Owens, and J Valdes. The autonomous underwater glider"spray". *IEEE Journal of oceanic Engineering*, 26(4):437–446, 2001.
- Paul Simonetti. Low-cost, endurance ocean profiler. *Sea Technology*, 39(2):17–21, 1998.
- Henry Stommel. The slocum mission. *Oceanography*, 2(1):22–25, 1989.
- Shu-xin Wang, Xiu-jun Sun, Yan-hui Wang, Jian-guo Wu, and Xiao-ming Wang. Dynamic modeling and motion simulation for a winged hybrid-driven underwater glider. *China Ocean Engineering*, 25:97–112, 2011.
- Douglas C Webb, Paul J Simonetti, and Clayton P Jones. Slocum: An underwater glider propelled by environmental energy. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26(4):447–452, 2001.