



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO  
Y ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA PARA UN  
DISPOSITIVO WEC.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A**

Julio Alberto Sánchez Morfín

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**

## **AGRADECIMIENTOS.**

### **A Dios:**

Por estar siempre a mi lado, por haberme brindado a la mejor familia, y poner en mi camino a todas esas personas que creen en mí, porque me ayuda siempre en los momentos difíciles y me da la fortaleza de seguir cumpliendo cada una de mis metas.

### **A mis padres:**

Porque todo lo que he logrado ha sido por ustedes, gracias mamá por todas las cosas que has hecho por mí, porque siempre piensas en la manera de ayudarme con lo poco o mucho que tienes y por haberme formado como una persona con valores, siempre serás la mejor madre del mundo; gracias papá por todo tu tiempo, porque se que me escuchas y apoyas cada una de mis decisiones, y por todo el esfuerzo que realizaste para que nunca me faltara nada, jamás pude tener a un mejor padre, es por eso que los amo y estaré muy agradecidos con ustedes toda mi vida, buscando la manera de recompensarlos día con día.

### **A mi hermano:**

Porque sabes que has sido mi ejemplo por seguir y muchas de las cosas que he aprendido son por ti, por tu apoyo en todo lo que hago, por ser la persona en quien puedo confiar en absoluto, gracias por todos esos momentos de felicidad que paso a tu lado y ser más que mi hermano un mejor amigo, siempre estaré para ti en todo lo que necesites, te quiero mucho hermano.

### **A mi novia, Naomi:**

Amor todos los momentos a tu lado han sido hermosos, siempre me apoyas en todo lo que hago y me has dado esa tranquilidad cuando todo parecía difícil, gracias por estar conmigo en todo momento, te amo flaquita, juntos vamos a lograr todo lo que nos propongamos.

### **A mi director de Tesis, Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin:**

Por haberme permitido integrarme al proyecto y a su equipo de trabajo, por el tiempo que me brindo y ser una excelente persona, así como la paciencia que tuvo conmigo.

**A mis sinodales:**

Por compartir parte de su conocimiento, y ser una guía en el desarrollo de esta tesis, contribuyendo con sus ideas y por el tiempo que me brindaron, gracias Dr. Rodolfo Silva Casarín, por ser la primera persona en permitir integrarme a este proyecto, así como al CEMIE con el apoyo económico y de todo el material que me brindo para la realización de esta tesis.

**Al Ing. Rodolfo Federico Peters Lammel:**

Por ser además de un excelente profesor y una buena persona, un amigo, por todos los conocimientos que compartió conmigo, y escucharme cuando lo necesitaba.

**Al M.I Enrique Eduardo Hernández Montoya y a Diana Laura Arias Guzmán:**

Por ser unos grandes compañeros, aprender cada día de ustedes conocimientos nuevos y apoyarme con el desarrollo de esta tesis, gracias por el tiempo que me brindaron en cada una de las pruebas, sus consejos y su apoyo incondicional.

**A mis amigos de carrera:**

Porque el gran grupo que formamos, además de una gran amistad, fue de un gran grupo de aprendizaje, el retornos constantemente en nuestras metas y objetivos, las largas charlas sobre nuestros temas de interés y todos esos momentos inolvidables hicieron que cada uno de nosotros se quiera superar, me alegra haberlos conocido, son los mejores José Ogarrio, Miguel Olmos, Diego Domínguez, Alfredo Velázquez y Alexis Machuca.

**Al Instituto de Ingeniería de la UNAM:**

Por abrirme las puertas para el desarrollo tanto del servicio social, como el de la tesis, aprendiendo cosas prácticas y generar una experiencia grata, así como el apoyo de los profesores que lograron esto posible.

**A la UNAM:**

Por toda la formación académica, todos los recuerdos y experiencia que me dejó, de permitirme conocer a gente excelente, las oportunidades que me ofreció, y la manera de enseñarme de lo que es esforzarse constantemente, siempre estaré orgulloso de haber pertenecido a esta máxima casa de estudios.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
CAPÍTULO 1.....	4
1. ANTECEDENTES GENERALES AL PROYECTO.....	4
1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA DEL OLEAJE.....	4
1.2 CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE.....	5
1.2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL.....	5
1.2.2 CLASIFICACIÓN MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS.....	5
1.3 DISPOSITIVOS DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS.....	6
1.3.1 EN LA COSTA (ONSHORE).....	6
1.3.2 CERCA DE LA COSTA DE 10-50 [m] (NEARSHORE).....	7
1.3.2.1 ABSORBEDORES PUNTUALES.....	7
1.3.2.1.1 MECANISMOS DE EXTRACCIÓN DE POTENCIA.....	9
1.3.2.1.2 TÉCNICAS DE CONTROL.....	10
1.3.3 MAR ADENTRO MAYOR A 50 [m] (OFFSHORE).....	10
1.4 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A TRAVÉS DE BATERIAS.....	11
1.4.1 BATERÍA DE NIQUEL – CADMIO.....	12
1.4.1.1 FUNCIONAMIENTO EN DESCARGA.....	12
1.4.1.1.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.....	12
1.4.1.1.2 INFLUENCIA DE LA CORRIENTE DE DESCARGA.....	12
1.4.1.1.3 TENSIÓN EN BORNES DURANTE LA DESCARGA.....	13
1.4.1.2 FUNCIONAMIENTO EN CARGA.....	13
1.4.1.2.1 TIEMPO DE CARGA.....	13
1.4.1.2.2 INTENSIDAD DE LA CARGA.....	14
1.4.1.2.3 SOBRECARGAS ADMISIBLES.....	14
1.4.1.2.4 TEMPERATURA DURANTE LA CARGA.....	15
1.4.1.3 AUTODESCARGA.....	15
1.4.1.4 VIDA ÚTIL.....	15

CAPÍTULO 2.....	16
2. ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. ....	16
2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. ....	16
2.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA QUÍMICA.....	17
2.2.1 HIDRÓGENO.....	17
2.2.2 GAS NATURAL SINTÉTICO .....	18
2.2.3 BIOCOMBUSTIBLES .....	18
2.2.4 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TERMOQUÍMICA.....	19
2.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELECTROQUÍMICA. ....	20
2.3.1 BATERÍA PRIMARIA .....	20
2.3.2 BATERÍA SECUNDARIA .....	21
2.3.3 CELDA DE RESERVA.....	21
2.3.4 CELDA DE COMBUSTIBLE .....	21
2.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	22
2.4.1 CAPACITOR.....	23
2.4.2 SUPERCAPACITOR .....	23
2.4.2 SUPERCONDUCTOR DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MAGNÉTICA.....	23
2.5 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MECÁNICA. ....	24
2.5.1 SISTEMA VOLANTE.....	24
2.5.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BOMBEO HIDRÁULICO .....	25
2.5.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR AIRE COMPRIMIDO .....	26
2.6 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7 COMPARACIÓN, POTENCIA NOMINAL, CICLO DE VIDA Y EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. ....	27
CAPÍTULO 3.....	30
3. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO (PROTOTIPO, CANAL Y GENERADOR). ....	30
3.1 SIMULADORES DE OLAS. ....	30
3.1.1 PROTOTIPO SIMULADOR DE OLAS.....	30
3.1.2 CANAL DE SIMULACIÓN DE OLAS. ....	31
3.2 ABSORBEDOR PUNTUAL, PLANOS Y CONSTRUCCIÓN.....	32
3.2.1 TURBINA WELLS.....	34
3.3 PRUEBAS AL GENERADOR TRIFÁSICO .....	35
CAPÍTULO 4.....	42
4. PRUEBAS AL DISPOSITIVO, ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	42
4.1 CALIBRACIÓN CANAL DE OLAS Y SENSORES.....	42
4.1.1 EL CANAL DE OLAS.....	42

4.1.2	SENSORES IMC (SPARTAN).....	50
4.2	ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS UTILIZADOS. ....	52
4.2.1	EL RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE .....	53
4.2.2	CARGADOR Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. ....	55
4.2.3	ELABORACIÓN DE LAS PCBs. ....	56
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS .....	60
5.	CONCLUSIONES Y PROPUESTA A FUTURO .....	66
6.	ANEXOS .....	68
7.	REFERENCIAS. ....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS.

FIG. 1 INTERFAZ OBTENIDA POR VORTEX PARA EL ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS VELOCIDADES DEL VIENTO Y OBTENCIÓN DEL MAYOR POTENCIAL .....	4
FIG. 2. GRÁFICO QUE MUESTRA LA ENERGÍA CONTENIDA EN LAS OLAS. ....	6
FIG. 3. DIAGRAMA DE UN ARCHIMIDES WAVE SING.....	7
FIG. 4. DIAGRAMA DE UN POWERBUOY. ....	8
FIG. 5. DIAGRAMA DE UN AQUABUOY .....	9
FIG. 6 A) BATERÍA CONVENCIONAL ALCALINA B) BATERÍAS RECARGABLES DE NI-CD.....	11
FIG. 7. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE HIDRÓGENO. ....	18
FIG. 8. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR TERMOQUÍMICA USANDO CICLO DE AMONIACO .....	19
FIG. 9. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE TÍPICA .....	22
FIG. 10. VISTA ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA SUPERCONDUCTOR DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MAGNÉTICA.....	23
FIG. 11. VISTA PRINCIPAL DE UN VOLANTE COMO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....	25
FIG. 12. ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO POR BOMBEO. ....	25
FIG. 13. ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR AIRE COMPRIMIDO.....	26
FIG. 14. FIGURA QUE EXPLICA LA POTENCIA NOMINAL, LA ENERGÍA Y LA DURACIÓN DE LA DESCARGA .....	27
FIG. 15. FIGURA QUE NOS MUESTRA QUE TAN ALTO ES LA POTENCIA DE SALIDA Y QUÉ TAN RÁPIDO PUEDE DESCARGARSE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO .....	28
FIG. 16. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DE SU CICLO DE VIDA Y LA EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO.....	28
FIG. 17. PROTOTIPO PARA LA SIMULACIÓN DE OLAS.....	31
FIG. 18. COLUMNA OSCILANTE DE AGUA (ABSORBEDOR PUNTUAL).....	32
FIG. 19. DISEÑO DE LOS ALABES DE LA TURBINA WELLS.....	35
FIG. 20. ESTRUCTURA QUE COMPONE AL GENERADOR TRIFÁSICO. ....	36
FIG. 21. GENERADOR TRIFÁSICO MONTADO EN EL SOPORTE DEL DISPOSITIVO. ....	36
FIG. 22. DIAGRAMA DE CONEXIÓN COMO RECTIFICADOR. ....	37
FIG. 23. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DEL SISTEMA CON UNA CARGA.....	41
FIG. 24. CANAL SIMULADOR DE OLAS .....	43
FIG. 25. CALIBRACIÓN DE PROFUNDIDAD PARA EL CANAL .....	43
FIG. 26. INTERFAZ PRINCIPAL PARA EL AJUSTE DE PARÁMETROS DE LA OLA. ....	44
FIG. 27. OLA DE PRUEBA PARA OBSERVAR LOS PARÁMETROS CORRECTOS.....	45
FIG. 28. MODULO IMC SPARTAN.....	50
FIG. 29. AJUSTES DE VALORES A CERO. ....	51
FIG. 30. AJUSTES DE OFFSET Y UNIDADES ADECUADAS. ....	51
FIG. 31. ANOTACIÓN DEL CURRENT VALUE PARA VALORES INFERIORES Y SUPERIORES.....	52

FIG. 32. RECTIFICADOR DE SEÑAL CONTROLADA POR SCR. ....	53
FIG. 33. SIMULACIÓN DE RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE.....	54
FIG. 34. SEÑALES SENOIDALES ANTES DE LA RECTIFICACIÓN CON AMPLITUD DE 4 VOLTS.....	54
FIG. 35. SEÑAL CONTINUA DESPUÉS DE LA RECTIFICACIÓN CON UN VALOR DE 3.91 VOLTS. ....	55
FIG. 36. SIMULACIÓN DE CARGADOR DE BATERÍA.....	55
FIG. 37. PLACAS PERFORADAS PARTE INFERIOR Y SUPERIOR DE RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE..	56
FIG. 38. PLACAS PERFORADAS PARTE INFERIOR Y SUPERIOR DE CARGADOR DE BATERÍA.....	56
FIG. 39. DISPOSITIVOS PARA EL RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE. ....	57
FIG. 40. DISPOSITIVOS PARA EL CARGADOR DE BATERÍA.....	58
FIG. 41. ELABORACIÓN DE PISTAS PARA EL RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE. ....	58
FIG. 42. ELABORACIÓN DE PISTAS PARA EL CARGADOR DE BATERÍA. ....	59
FIG. 43. PLACAS FINALES PARTE INFERIOR Y SUPERIOR DE RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE. ....	59
FIG. 44. PLACAS FINALES PARTE INFERIOR Y SUPERIOR DE CARGADOR DE BATERÍA. ....	60
FIG. 45. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NATIONAL INSTRUMENT.....	60
FIG. 46. CONEXIÓN DE CIRCUITOS FINALES PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. ....	64
FIG. 47. MUESTRAS EXPERIMENTALES CADA 10 MINUTOS DE PRUEBA. ....	65

**ÍNDICE DE TABLAS.**

TABLA. 1. DATOS DE VOLTAJE (V), CORRIENTE (A) Y POTENCIA (W) EN LA RESISTENCIA DE CARAGA (100 $\Omega$ A 25 W). ....	38
TABLA. 2. PRUEBAS CORRESPONDIENTES A PROFUNDIDAD DE 0.70 [M].....	46
TABLA. 3. PRUEBAS CORRESPONDIENTES A PROFUNDIDAD DE 0.75 [M].....	47
TABLA. 4. PRUEBAS CORRESPONDIENTES A PROFUNDIDAD DE 0.80 [M].....	48

**ÍNDICE DE GRÁFICAS.**

GRÁFICA. 1. COMPORTAMIENTO DE DESCARGA DE UNA BATERÍA DE NI-CD.....	13
GRÁFICA. 2. RPM CONTRA VOLTAJE (V). ....	39
GRÁFICA. 3. RPM CONTRA CORRIENTE (I). ....	39
GRÁFICA. 4. RPM CONTRA POTENCIA (W). ....	40
GRÁFICA. 5. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.70 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE ....	61
GRÁFICA. 6. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.75 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE ....	61
GRÁFICA. 7. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.80 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE ....	62
GRÁFICA. 8. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.70 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE (RANGO DE 50 MUESTRAS) .....	62
GRÁFICA. 9. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.75 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE (RANGO DE 50 MUESTRAS) .....	63
GRÁFICA. 10. COMPORTAMIENTO DE SENSORES Y VOLTAJES A 0.80 [m] DE PROFUNDIDAD SIGNIFICANTE (RANGO DE 50 MUESTRAS) .....	63



## INTRODUCCIÓN.

A partir de la crisis de los años 70, el precio del petróleo experimentó un fuerte incremento creando la expectativa de reducir la dependencia de los combustibles fósiles a través de las energías renovables, por lo que los países desarrollados iniciaron una carrera para implementar tecnologías capaces de generar energía eléctrica a partir de fuentes limpias y renovables. Estas actividades suponen la ventaja adicional de sustituir o eliminar actividades que contribuyen al calentamiento global por el efecto invernadero creado por la emisión de CO<sub>2</sub>.

Algunas de las energías renovables como la solar, hidráulica y eólica, tienen ya un grado de desarrollo e implementación en el mercado eléctrico, representando una parte importante en la producción de energía eléctrica conectada al sistema eléctrico nacional. Sin embargo, la extracción de energía procedente del mar continúa en proceso de investigación debido a que no se cuenta con plantas operativas ni tecnologías competitivas para crearlas. Es así que en este trabajo se pretende aportar conocimiento y desarrollar mejoras a diseños de dispositivos previos relacionados con la energía undimotriz o de oleaje.

El oleaje generado por el viento es uno de los fenómenos que mayor energía transporta en el medio marino. Estas ondulaciones se entienden como un derivado de la energía solar, ya que, al calentarse la superficie terrestre de manera no homogénea se producen desplazamientos de aire por gradiente de densidad. El viento resultante interactúa por rozamiento con la superficie libre del agua y crea oleaje capaz de viajar miles de kilómetros con escasas pérdidas de energía. Conforme las olas van acercándose a la costa, experimentan una pérdida de energía asociada a la interacción con el lecho marino.

Las energías marinas son fundamentalmente cinco:

- La energía de las mareas o mareomotriz (corrientes y por elevación).
- La energía térmica oceánica.
- La energía contenida en el gradiente salino.
- La energía de las corrientes oceánicas.
- La energía de las olas o undimotriz (cinética y potencial).



El caso específico del dispositivo objeto de esta tesis, y con base en una clasificación según la posición relativa del mismo respecto de la costa, se considera como un aparato nearshore. Es decir, que será un dispositivo localizado cerca de la costa. Aunque la implementación aún no se llevará a cabo, se pretende hacer pruebas de laboratorio en un canal de olas que genera estados de mar mecánicamente, para optimizar su geometría y hacer un ejercicio de escalamiento a fin de obtener sus ecuaciones características. El dispositivo con el que se trabaja se conoce como absorbedor puntual de columna oscilante de agua; esta configuración consiste en un cilindro hueco semi-sumergido dentro del cual una turbina reacciona al flujo vertical impuesto por el oleaje capturado.

Cabe mencionar que el desarrollo del prototipo todavía no es suficiente como para ser considerado como una tecnología competitiva de obtención de energía eléctrica, sin embargo, el trabajo realizado permite avanzar en ese sentido.



## **OBJETIVO**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Probar en laboratorio de olas un absorbedor puntual tipo columna oscilante equipado con una turbina Wells a fin de verificar su capacidad de captación y generación. Almacenar temporalmente la energía de salida en un banco de baterías para ser distribuida en forma de electricidad de alta calidad.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Realizar una comparación entre los distintos tipos de almacenamiento que se tienen disponibles actualmente para dotar de elementos a la toma de decisiones en el caso específico de energía proveniente del generador la cual no cuenta con una señal completamente senoidal.
- Analizar el funcionamiento de los distintos dispositivos electrónicos que puedan ayudar a la rectificación de la señal y realizar un circuito capaz de almacenar energía.
- Realizar las pruebas necesarias para obtener la mayor cantidad de energía posible dependiendo de las distintas amplitudes y longitud de ola que el simulador pueda entregar.
- Proponer mejoras al dispositivo de pruebas, así al conocimiento general del uso de energías renovables.

### **PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.**

La implementación de las energías renovables ha abierto un gran campo de estudio en busca de nuevas tecnologías, el problema que se aborda es la falta de implementación para plantas operativas que aprovechen la energía de las olas, es así que en este trabajo se aborda varios estudios los cuales permiten comprender desde el comportamiento de oleaje que se tiene en México, los parámetros que pueden llegar a generar la mayor cantidad de energía, cómo es la interacción mediante una simulación de oleaje con un prototipo a nivel escala conocido como absorbedor puntual, hasta las técnicas adecuadas para el almacenamiento de energía eléctrica; proponiendo así posibilidades de mejoras a este prototipo, para un futuro empleo en la transmisión de energía eléctrica a lugares rurales.



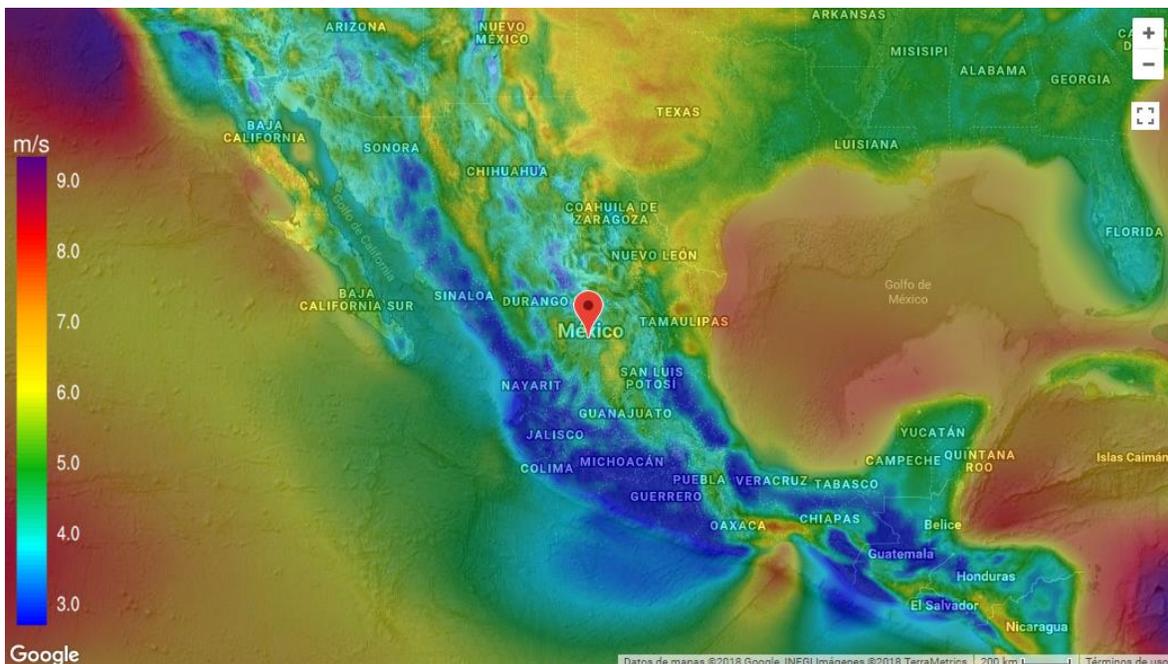
## CAPÍTULO 1.

### 1. ANTECEDENTES GENERALES AL PROYECTO.

#### 1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA DEL OLEAJE.

La energía de las olas se puede considerar como un derivado de la energía, en donde la cantidad de energía que se transmite al agua depende de la velocidad del viento, el periodo de tiempo durante el cual actúa y la extensión sobre la que lo hace. Dado que tres cuartas partes de la superficie terrestre están recubiertas por mar, este recurso supone una fuente importante en el ámbito de las energías renovables.

Antes de realizar las pruebas correspondientes, se debe de hacer un estudio sobre el mayor potencial que se tiene con la generación de olas en México, para ello, se tiene que observar dónde se tiene una mayor capacidad de viento en los mares que pueda generar olas progresivas de amplitudes altas o periodos largos, que son las características deseables para generación de electricidad. Para ello se utilizó la interfaz de la página de Vortex [1], diseñada para el estudio de la energía eólica y solar, en donde se pueden consultar los valores de velocidad del viento promedio en m/s (Fig. 1.).



*Fig. 1. Interfaz obtenida por Vortex para el análisis de las distintas velocidades del viento y obtención del mayor potencial [1].*



Como se puede observar, se encuentran distintas zonas registradas con una velocidad aproximada entre 5 y 8 m/s, por lo que algunas de las zonas con un mayor potencial de viento son las costas de estados como Chiapas, Tamaulipas, Nuevo León y Baja California.

## **1.2 CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE.**

Las olas que son generadas por el viento y las cuales son aprovechadas por los diferentes tipos de energías marinas, se pueden clasificar por sus características intrínsecas, es decir, periodo o longitud de onda o por otros parámetros [2]. A continuación, se mencionan las clasificaciones de importancia para este trabajo.

### **1.2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL.**

- Ondas estacionarias.

Son aquellas que tienen unos puntos nodales donde el movimiento es nulo y otras ventrales donde el desplazamiento es máximo o mínimo.

- Ondas transitorias o progresivas.

Son aquellas ondas que varían en el tiempo y en el espacio.

### **1.2.2 CLASIFICACIÓN MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS.**

- Según las fuerzas perturbadoras.

Las fuerzas perturbadoras son aquellas que originan el movimiento en la superficie, las cuales pueden tener múltiples orígenes. Un ejemplo de ellas son las ondas generadas por viento u otros agentes atmosféricos. Otros agentes perturbadores pueden ser tormentas o un cambio de presión atmosférica que produzca agitación en resonancia (seiche).

- Según las fuerzas restauradoras.

Las fuerzas restauradoras son aquellas que se oponen a la acción de las fuerzas perturbadoras. Entre ellas se encuentra la fuerza de Coriolis, la cual únicamente es significativa para ondas con periodos mayores a 5 minutos, como lo son las oscilaciones de marea. Otra es la fuerza de gravedad, la cual actúa verticalmente y afecta a periodos del orden de segundos a minutos, por lo que es la fuerza restauradora que actúa en las olas que contienen la mayor parte de la energía.



Para ofrecer un panorama de las ondas presentes en el medio marino, en la Figura 2 se muestra un esquema que relaciona los tipos de ondas con su periodo característico y las energías que contienen.

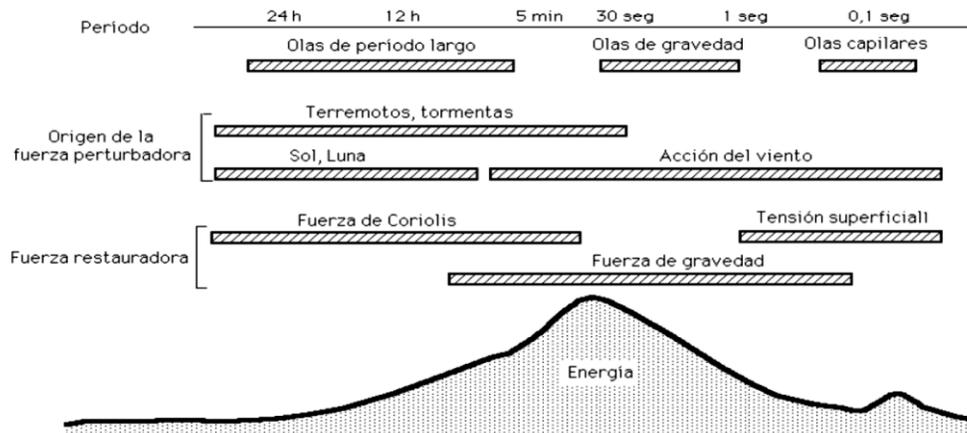


Fig. 2. Gráfico que muestra la energía contenida en las olas.

De acuerdo con la Figura 2, el oleaje generado por el viento es el objetivo de las tecnologías de conversión de energía de ondas [3].

Por otra parte, conforme las olas se acercan a la costa, experimentan una pérdida de energía, ya que empiezan a interactuar con el lecho marino. Sin embargo, esta disipación de energía puede verse compensada por fenómenos como la refracción y la reflexión que conducen a la formación de zonas de concentraciones de energía.

### 1.3 DISPOSITIVOS DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS.

Debido a que el reto de convertir la energía de las olas no ha sido resuelto a nivel mundial, existe una gran variedad de tecnologías y dispositivos, esto lleva a que los principios de funcionamiento se clasifiquen, por ejemplo, de acuerdo con su posición relativa respecto a la costa [3].

#### 1.3.1 EN LA COSTA (ONSHORE)

Este grupo presenta la ventaja de tener un costo de instalación y mantenimiento menor que otros, puesto que son de fácil acceso, se encuentran cimentados sobre roca y el transporte de la energía a la red presenta menos impedimentos. Sin embargo, disponen de un potencial energético menor que los de mar adentro, aunque se pueda ver compensado por efectos de concentración de energía por refracción o difracción. Un solo convertidor puede ser suficiente para cubrir determinadas necesidades a pequeña escala [4].



### 1.3.2 CERCA DE LA COSTA DE 10-50 m (NEARSHORE)

Son aquellos dispositivos situados a una distancia máxima de 50 m de la costa y a una profundidad de entre 20 y 30 m; pueden estar bien apoyados en el fondo o ser flotantes.

Igual que en el caso de los dispositivos en la costa, presentan costos de instalación y mantenimiento menores que en aguas profundas y el transporte de la energía a la red es sencillo. Disponen de un potencial energético menor que el explotable mar adentro, aunque mayor que el de los tipos onshore. Algunas de las desventajas que presentan son: el impacto visual y que su instalación implica la modificación de la dinámica costera [4].

Dado que el dispositivo de pruebas pertenece a este grupo, se detallarán algunos ejemplos de dispositivos similares.

#### 1.3.2.1 ABSORBEDORES PUNTUALES.

- Archimides wave sing

Se trata de un absorbedor diseñado para estar totalmente sumergido entre los 40 y 100 m de profundidad, de manera que el impacto visual es nulo. Está compuesto por dos cuerpos: el primero se encuentra fijado al fondo por un bloque y el otro hace la función de flotador, desplazándose verticalmente como consecuencia de la incidencia del oleaje. Cuando la ola pasa por encima, el flotador se contrae o expande (dependiendo de si pasa la cresta o el valle de esta) equilibrando la presión del interior y exterior del mismo. El movimiento relativo entre el flotador y la parte inferior fija se transforma en electricidad mediante un sistema hidráulico y un conjunto motor generador [4].

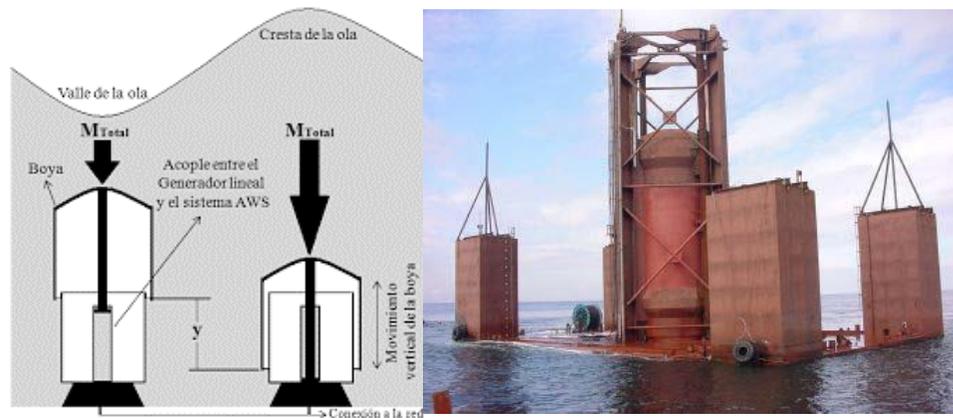


Fig. 3. Diagrama de un Archimides wave sing.



- Powerbuoy

Tecnología desarrollada por OPT (Ocean Power Technologies) de Estados Unidos. El sistema consiste en aprovechar el movimiento vertical y pendular del oleaje a través de una boya de unos 2 a 5 m de diámetro abierto por la parte inferior. Las boyas obtienen la energía mediante un sistema hidráulico que aprovecha el movimiento relativo entre el flotador y el mástil de la boya. El sistema bombea un fluido (aceite) a alta presión que mediante una turbina acciona un generador eléctrico.

El dispositivo de boya oscilante más simple es el de una boya oscilante reaccionando contra un punto de referencia fijo (sobre el fondo del mar o sobre una estructura fijada al fondo del mar), existiendo varios ejemplos de este tipo de absorbedores [4].

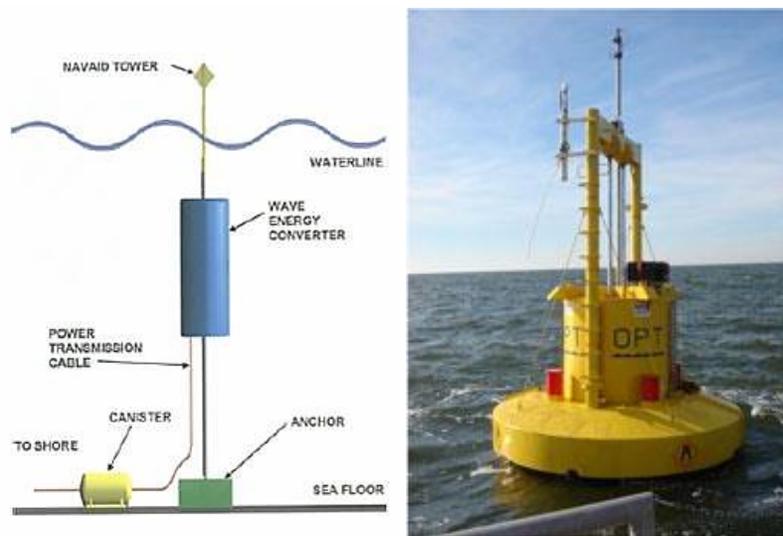


Fig. 4. Diagrama de un Powerbuoy [4].

- Aquabuoy

Sistema desarrollado por Aquaenergy Group. Consta de una boya flotante que transforma el movimiento de subida y bajada provocado por el oleaje para transmitirlo a un pistón, que a su vez está unido a dos mangueras flexibles que funcionan como bombas de agua, impulsando el agua a presión a través de un tubo hacia el acumulador que se encuentra en la parte superior del dispositivo [4].



La electricidad se produce en el interior del dispositivo, que aloja un sistema turbina-generador.



Fig. 5. Diagrama de un Aquabuoy [4].

#### 1.3.2.1.1 MECANISMOS DE EXTRACCIÓN DE POTENCIA.

La conversión de la energía puede hacerse de muchas maneras: algunos aparatos aprovechan la oscilación vertical para mover un generador lineal y generar corriente directamente; otros usan sistemas mecánicos e hidráulicos para generar corriente alterna, y otros aprovechan la oscilación para bombear agua a presión hasta la costa. El doble sentido que tiene el movimiento de la ola (carrera de subida y carrera de bajada) ha hecho que una nueva variante de extracción de energía comience a cobrar importancia: la turbina hidráulica bidireccional de flujo axial que permita maximizar la extracción de potencia.

- Generador rotativo.

Convencionalmente el proceso de conversión de energía se ha llevado a cabo con un mecanismo intermedio para convertir el movimiento lineal en el rotativo necesario para accionar un generador eléctrico rotativo. El sistema intermedio más popular es el sistema hidráulico, el sistema hidráulico en un absorbedor puntual consiste en un pistón, una bomba hidráulica y un motor hidráulico. El movimiento lineal de la ola actúa moviendo el pistón arriba y abajo bombeando un fluido presurizado (normalmente aceite) a través de la bomba hidráulica alimentando el motor hidráulico. De este motor se obtiene el movimiento rotativo necesario para accionar un generador eléctrico estándar, y acoplado el motor hidráulico al generador, el proceso de conversión se completa.



- Generador lineal.

De igual manera es interesante la opción de usar un accionamiento eléctrico directo, haciendo la transformación del movimiento lineal en energía eléctrica directamente mediante generadores lineales.

Los generadores lineales, al igual que los rotativos convencionales, convierten energía mecánica en eléctrica; sin embargo, el rotor en un generador lineal se mueve arriba y abajo en vez del movimiento rotatorio sobre un eje que tiene en un generador tradicional.

#### **1.3.2.1.2 TÉCNICAS DE CONTROL.**

En cuanto al control del absorbedor, es importante crear una estrategia de control que sea capaz de mantener el movimiento del dispositivo en resonancia con las olas, lo que hace que la captura de energía se maximice, pero por otro lado será necesario implementar un límite de movimiento de este para no tener problemas mecánicos en el caso de las olas extremas temporales.

La estrategia de control empleada depende mucho del tipo de dispositivo en el que se va a implementar, sin embargo, hay una serie de métodos y principios que subyacen en todos los dispositivos; el dispositivo debería oscilar con la misma frecuencia que las olas que inciden contra él, lo que se consigue mediante algún medio de amortiguación. La amortiguación debe venir de la flotabilidad de los depósitos o cuerpos que conforman el absorbedor, o bien de la fuerza resistiva del generador [4].

#### **1.3.3 MAR ADENTRO MAYOR A 50 m (OFFSHORE).**

La principal ventaja que presenta respecto a los anteriores dispositivos es que en aguas profundas mayor a 50 m existe un potencial energético mayor ya que el oleaje todavía no ha experimentado pérdidas [4]. Sin embargo, al encontrarse en profundidades mucho mayores, experimentan otras dificultades lo cual hace que el dispositivo de prueba de esta tesis no sea enfocado a este tipo de dispositivos, a saber:

- Costo y complejidad de la instalación
- Accesibilidad al dispositivo para el mantenimiento y la reparación complicada que se presentaría.
- El sistema de amarre y la estructura en general debe de resistir grandes esfuerzos.
- Interferencias con el tráfico marítimo.



## 1.4 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A TRAVÉS DE BATERÍAS.

Al haber generado energía eléctrica mediante el accionamiento de un generador rotatorio, esta energía puede ser almacenada. Un ejemplo de ello es un banco de baterías lo cual tiene la ventaja de poder almacenar energía con alta variabilidad.

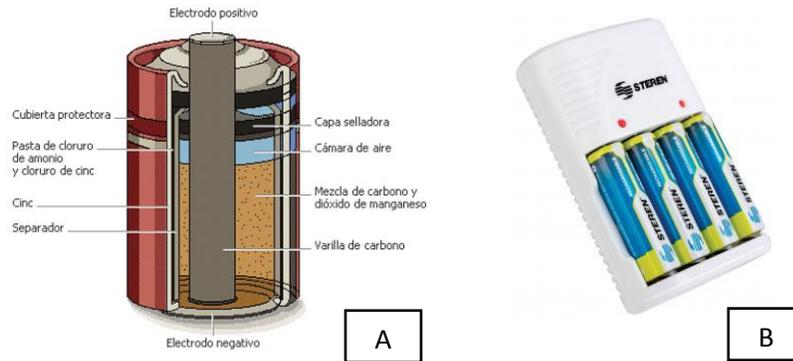


Fig. 6. A) Batería convencional alcalina B) Baterías recargables de Ni-Cd.

Una batería es un sistema de almacenamiento de energía que emplea procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía casi en su totalidad. Este ciclo que puede repetirse un determinado número de veces; la unidad básica de una batería se denomina celda, reservándose el nombre de batería a la unión de dos o más celdas conectadas en serie, en paralelo o en ambas formas para conseguir la capacidad y la tensión deseada.

La celda está formada por los siguientes componentes: electrodos (cátodo (+) y ánodo (-)), electrolito (sustancia que contiene iones en su composición orbitando libremente, lo que le ayuda a comportarse como un conductor eléctrico) y separadores (para realizar una separación de los componentes de su interior).

La energía eléctrica es almacenada o liberada mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones entre electrodos, que se encuentran interiormente conectados por un electrolito, para llevar a cabo reacciones específicas de reducción/oxidación. Frecuentemente se utilizan catalizadores para acelerar las tasas de reacción a niveles aceptables.

Por otra parte, los ciclos de carga/descarga definirán la vida útil de las baterías. A medida que una batería es descargada y cargada, su capacidad sufre alteraciones, de manera que, tras un cierto número de ciclos, la batería pierde calidad y no consigue completar con éxito las reacciones químicas.



La carga en exceso puede también ser perjudicial para su vida útil; las baterías sufren un efecto denominado autodescarga cuando no se utilizan puesto que, a pesar de que no se empleen, la energía almacenada en su interior irá disminuyendo progresivamente con el paso del tiempo de forma espontánea.

Existe una gran variedad de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica, pero para el dispositivo de este trabajo, la batería que más adecuada es una de níquel – cadmio. A continuación, se detallan las razones [5].

#### **1.4.1 BATERÍA DE NIQUEL – CADMIO.**

Las baterías de Ni-Cd son elementos capaces de almacenar energía eléctrica (Fig. 6. B). La tensión media entre bornes del elemento es de 1.2 Voltios y su capacidad se expresa en Ampers-h (A.h) o miliamper-hora (mAh) que es el producto de la intensidad de la corriente continua suministrada por la batería por el tiempo que dura la descarga hasta el agotamiento de esta. Generalmente se indica la capacidad para una descarga de 10 h a 20 °C siendo la capacidad nominal de la batería que se representa por  $C_{10}$ . En cuanto a formas y tamaños, en general, se adoptan las normalizadas para las pilas secas y alcalinas, de forma que pueda existir intercambiabilidad entre ambos tipos [5].

##### **1.4.1.1 FUNCIONAMIENTO EN DESCARGA.**

Según el tipo y fabricante las baterías de Ni-Cd pueden descargarse en un margen comprendido entre -40 y -20 °C hasta 45 ° y 60 °C. La capacidad nominal se establece a 20 °C; a temperaturas superiores hay un ligero aumento de la capacidad efectiva (no llega al 5 % a 40 °C), pero a temperaturas bajo cero hay una disminución importante [6].

###### **1.4.1.1.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.**

Si la intensidad es inferior a la nominal, apenas hay influencia en la capacidad. A intensidades de descarga superiores a la nominal, la capacidad disminuye.

###### **1.4.1.1.2 INFLUENCIA DE LA CORRIENTE DE DESCARGA.**

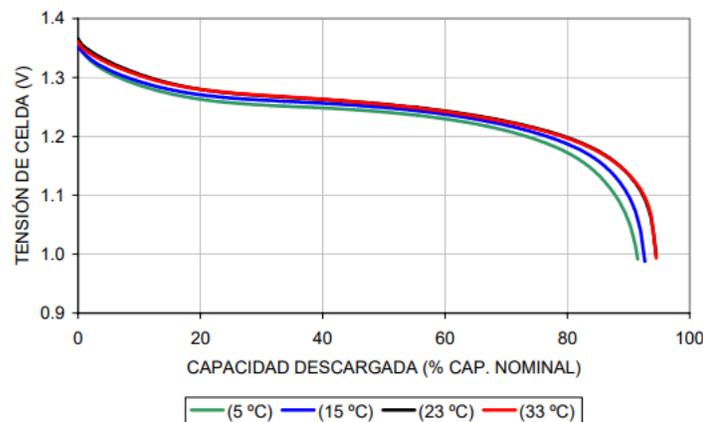
La intensidad continua máxima admisible está comprendida entre 40 y 100 veces  $I_{10}$  según modelo y fabricante.



### 1.4.1.1.3 TENSIÓN EN BORNES DURANTE LA DESCARGA.

Un elemento Ni-Cd completamente cargado tiene una tensión en bornes de 1.25 y 1.30 V, que enseguida disminuye a su tensión normal de 1.20 V. Esta tensión se mantiene prácticamente constante durante toda la descarga para caer bruscamente al agotarse la carga de la batería. Se considera que un elemento está descargado cuando su tensión en bornes es de 1.1 V.

A intensidades de descarga elevadas (20 ó más veces  $I_{10}$ ) los valores de tensión indicados pueden disminuir en 0.2 y 0.3 V según el tipo de batería Ni-Cd [6].



Gráfica 1. Comportamiento de descarga de una batería de Ni-Cd.

### 1.4.1.2 FUNCIONAMIENTO EN CARGA.

Como norma general la carga de las baterías de Ni-Cd debe realizarse a intensidad constante, normalmente la intensidad nominal.

La carga a tensión constante no es aconsejable, pues puede dar lugar a intensidades muy elevadas si los elementos están muy descargados. Durante el proceso de carga la tensión en bornes de la batería aumenta gradualmente, pero no hay un cambio brusco al alcanzarse la carga completa, de forma que este parámetro no es útil para controlar el proceso de carga que debe controlarse a través de la intensidad de la corriente suministrada a la batería y de la duración de la carga [6].

#### 1.4.1.2.1 TIEMPO DE CARGA.

La batería no almacena toda la energía eléctrica que recibe por lo que la cantidad de electricidad suministrada debe ser mayor que la teóricamente necesaria. Trabajando entre 5 y 25 °C el factor de carga es de 1.4, es decir debe suministrarse una carga que sea un 40 % superior a la deseada.



El tiempo de carga puede estimarse con la ecuación (1.1).

$$T = 1.4 \left( \frac{C}{I} \right) \quad (1.1)$$

Donde:

T = Tiempo de carga en horas.

C = Capacidad que debe recibir la batería (mAh).

I = Intensidad de carga (mA).

Si la batería está descargada totalmente, entonces  $C = C_{10}$  pero si la descarga es parcial el valor de C puede estimarse como el producto de la intensidad media suministrada durante la descarga por el tiempo de duración de la misma [6].

#### **1.4.1.2.2 INTENSIDAD DE LA CARGA.**

La carga debe realizarse a intensidad constante; en general todos los fabricantes recomiendan que esta intensidad sea la nominal, aunque es posible realizarla a intensidades distintas. La carga con intensidades inferiores a la nominal no es recomendable si la batería está completamente descargada. Tampoco es conveniente cargar siempre las baterías a baja intensidad; es recomendable realizar una carga a intensidad nominal con cierta periodicidad (cada mes).

La carga a intensidades mayores (2 ó 3 veces la nominal sólo es admisible si las baterías están completamente descargadas y la temperatura es superior a 20 °C. En estos casos el factor de carga es 1.2 [6].

#### **1.4.1.2.3 SOBRECARGAS ADMISIBLES.**

Si se exceden los tiempos de carga recomendados, la batería no puede almacenar la energía eléctrica, convirtiéndose toda ella en calor con el consiguiente aumento de la temperatura interna, lo que puede ocasionar daños en la batería.

En general, las baterías de Ni-Cd pueden aceptar sobrecargas a la intensidad nominal durante períodos más o menos prolongados (los fabricantes dan cifras desde "varios días" hasta 20 000 horas), aunque como norma conservadora se aconseja evitar las sobrecargas a la intensidad nominal y el consejo se convierte en imperativo para intensidades superiores.



Si la intensidad de carga es inferior a la nominal la sobrecarga es más admisible, pudiendo ser permanente si la intensidad es inferior al 50 % de la nominal [6].

#### **1.4.1.2.4 TEMPERATURA DURANTE LA CARGA.**

La batería puede recuperar el 100 % de su capacidad nominal si la carga se realiza a temperaturas comprendidas entre 5 y 25 °C. La capacidad de carga se reduce algo a temperaturas más bajas y bastante a temperaturas más elevadas (a 45 °C solo se alcanza el 70 % de la carga nominal): conviene, por tanto, reducir los tiempos de carga en estos casos [6].

#### **1.4.1.3 AUTODESCARGA.**

Las baterías de Ni-Cd pueden almacenarse en cualquier estado de carga a temperaturas entre -40 ° y 50 °C; sin embargo, pierden gradualmente algo de su carga. Este fenómeno es de mayor intensidad en las baterías de electrodos sinterizados (la mayoría) que en las normales (las de tipo "botón"). En cualquier caso, el ritmo de autodescarga aumenta con la temperatura. Una batería de electrodos sinterizados a 40°C se descarga totalmente en 1 semana, y a 20-25 °C pierde el 50 % de la carga en un mes, mientras que a temperaturas bajo cero puede conservar el 90 % de su carga varios meses. Las baterías tipo "botón" se autodescargan a ritmos 4 veces menores [6].

#### **1.4.1.4 VIDA ÚTIL.**

La repetición de ciclos de carga y descarga destruye progresivamente la estructura interna de la batería de forma que su vida útil queda limitada aproximadamente a 500 ciclos de carga y descarga completa. Se considera que una batería ha alcanzado el final de su vida útil cuando su capacidad real desciende al 80 % de la nominal. La vida útil puede alargarse si la batería no se descarga nunca por debajo del 50 % y se evitan las sobredescargas, pudiéndose alcanzar los 1500 ciclos en estas condiciones. En cualquier caso, la vida útil dependerá de las condiciones de uso [6].



## **CAPÍTULO 2.**

### **2. ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.**

En este capítulo se abordará un concepto más general sobre los distintos métodos de almacenamiento de energía, abarcando la clasificación y la evaluación, ya que esto puede dar un panorama más amplio sobre las medidas que se han tomado y si el almacenamiento a través de baterías es el más eficiente para esta nueva tecnología undimotriz.

#### **2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.**

El rápido incremento de la población en el mundo y la variación de los hábitos de consumo son las dos principales razones del incremento del uso de energía y el consumo de electricidad por el último par de décadas. Una parte significativa del total de la energía es consumida por las industrias, el transporte y los sectores de construcción. Esto significa que la electricidad es mayormente consumida al tiempo que es generada. Por lo tanto, la cantidad adecuada de electricidad debe siempre ser provista en función de una demanda esperada, ya que un desequilibrio entre la fuente de generación y la demanda puede causar daños de estabilidad y calidad (frecuencia y voltaje) en la red eléctrica. Adicionalmente, los lugares de generación de la electricidad están, usualmente, localizados lejos de donde es consumida y es transportada a través de las largas líneas de transmisión que incrementan los costos y las pérdidas de energía. En este escenario, las energías renovables, fluctuantes por naturaleza, son poco eficaces. Una vía para facilitar la incorporación de las energías renovables a las redes eléctricas es el almacenamiento y acondicionamiento de la energía.

Actualmente, el almacenamiento de energía es un componente integral de los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad; este almacenamiento se presenta en distintos tipos de energía dependiendo de la manera en que es generada, a saber, química, electroquímica, eléctrica, mecánica y térmica. Cada uno de estos métodos de almacenamiento se utiliza para distintas aplicaciones tomando en cuenta la potencia nominal, el ciclo de vida y la eficiencia del sistema de almacenamiento [7].

A continuación, se explica detalladamente la manera en que se realiza el almacenamiento en distintas plantas de generación. Se eligieron solo los métodos que pueden ajustarse a un dispositivo WEC.



## **2.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA QUÍMICA.**

La energía química es almacenada en enlaces químicos de átomos y moléculas, los cuales se observan cuando es liberada una reacción química. Después de la liberación de la energía química, la sustancia es a menudo convertida en una completamente diferente; los combustibles químicos son la forma dominante de almacenamiento de energía tanto en la generación eléctrica y el transporte de energía, estos combustibles químicos convencionalmente utilizados tales como el carbón, la gasolina, el Diesel, el gas natural, el petróleo licuado, el propano, el butano, el etanol y el biodiesel son procesados y convertidos libremente en energía mecánica y térmica que mediante el uso de motores de calor es aprovechada como energía eléctrica.

Por otra parte, el almacenamiento de energía química es liberado a través de reacciones de transferencia de electrones para la directa producción de electricidad, este almacenamiento de energía química es bastante adecuado para el almacenamiento de grandes cantidades de energía y para mayores duraciones.

En la actualidad estudios sobre tecnología nueva de almacenamiento de energía, han remplazado a los combustibles químicos convencionales gradualmente mediante almacenamiento de energía termoquímica, en la cual la energía es almacenada después de una reacción de disociación y química, las cual incluye sorción y reacciones termoquímicas como el sistema de amoniaco. [8].

### **2.2.1 HIDRÓGENO**

El hidrógeno es un combustible renovable limpio, altamente abundante, no toxico y un material portador de energía. Este elemento es ampliamente utilizado como un producto químico industrial y es producido a partir de cualquier fuente de energía primaria, tal como del agua por termólisis y la electrolisis, en el cual es liberado vapor de agua como emisión después de la reacción de combustión.

Los métodos de almacenamiento de hidrógeno pueden ser divididos en dos categorías como almacenamiento físico (en fase gaseosa o liquida) y material de base. El almacenamiento de la fase gaseosa es generalmente realizado en tanques de lata presión alrededor de 350-750 Bars.



El hidrógeno es usado en varias aplicaciones como lo son para conducir turbinas de combustión o celdas de combustible, en automóviles de hidrogeno con celdas de combustible y de motores especiales de combustión interna, así como para la generación de calor; la siguiente figura es un diagrama sistemático del sistema de almacenamiento de energía de hidrógeno.

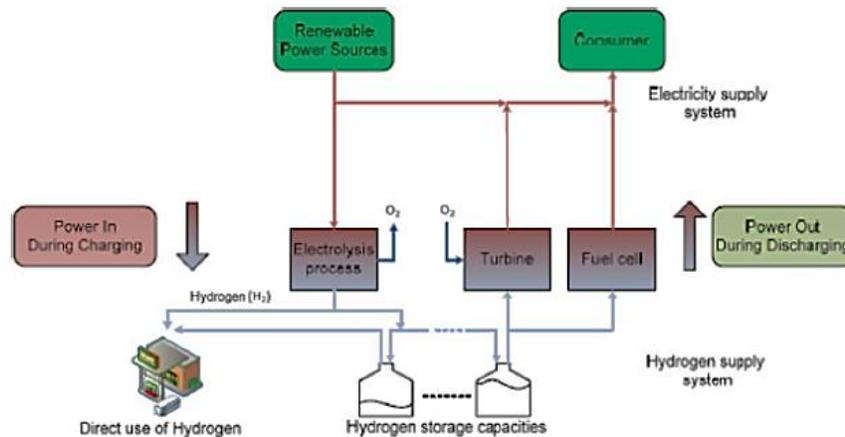


Fig. 7. Sistema de almacenamiento de energía de hidrógeno.[8]

Este diagrama consiste en una unidad de generación de hidrógeno como un electrolizador (un electrolizador es un convertidor electroquímico, que divide el agua con ayuda de la electricidad en hidrógeno y oxígeno), un tanque de almacenamiento de hidrogeno y una celda de combustible [8].

### 2.2.2 GAS NATURAL SINTÉTICO

El gas natural es el combustible de gas comúnmente utilizado, el cual consiste principalmente de  $\text{CH}_4$ ; de este tipo de gas puede presentarse otra variedad de combustibles tal como el Biogas, el gas de vertedero, el Bio-SNG y el SNG (Gas natural sintético) que al ser producido este último, su almacenamiento es llevado mediante tanques de presión, bajo tierra, o almacenamiento directamente a la red de gas [8].

### 2.2.3 BIOCOMBUSTIBLES

La biomasa es el nombre que recibe cualquier materia orgánica, que se deriva de plantas y animales, significando así la fracción biodegradable de productos tales como los cultivos energéticos, los residuos de origen biológico de la agricultura, silvicultura e industrias relacionadas, incluyendo la pesca y la acuicultura.



Los biocombustibles se llegan a presentar en forma de gas o líquido, y son clasificados como primera generación, segunda generación y tercera generación.

Los biocombustibles tales como el biodiesel, aceite vegetal directo, pueden llegar a ser el remplazo de los combustibles de hidrocarburos, ya que mediante procesos químicos convierten el carbono y el hidrogeno en carbón, gas natural y biomasa vegetal, es decir se pretende hacer uso de hidrocarburos adecuados como remplazo de combustibles de hidrocarburos existentes [8].

### 2.2.4 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TERMOQUÍMICA

El almacenamiento de energía termo química por sus siglas en ingles TCES se basa en una reacción reversible, en la que un material termoquímico (C) absorbe la energía termoquímica para convertirse químicamente en dos componentes (A y B); para el caso de la reacción inversa solamente es posible si estos componentes (A y B) combinados nuevamente pueden llegar a reformar el material C; la energía es liberada durante esta reacción combinada ilustrada en la Fig.8.

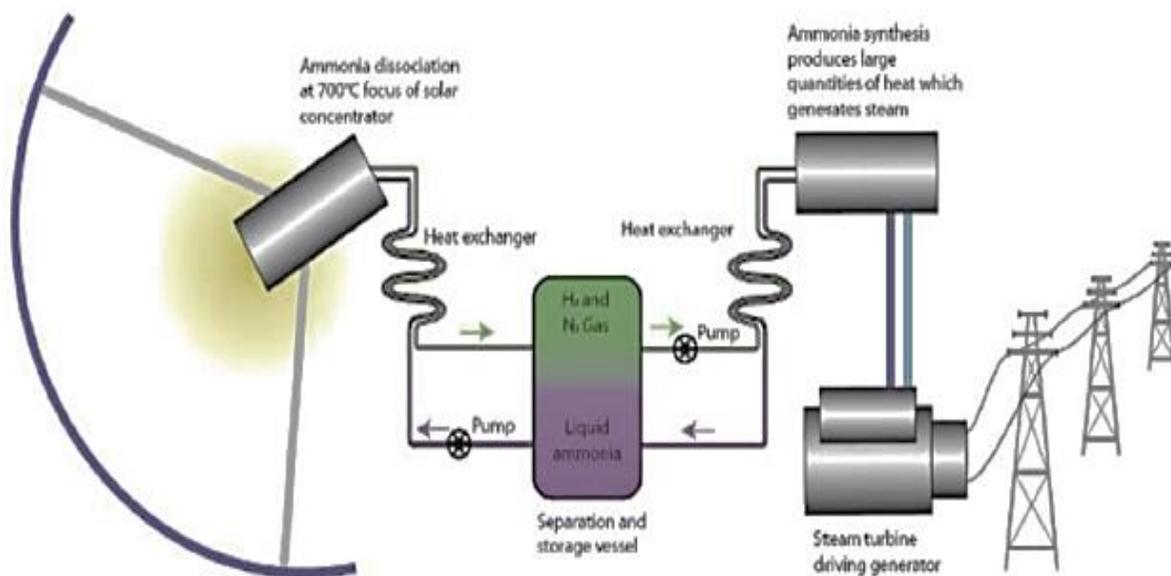


Fig. 8. Almacenamiento de energía solar termoquímica usando ciclo de amoníaco. [8]



### **2.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELECTROQUÍMICA.**

Las fuentes de energía electroquímica convierten la energía química en energía eléctrica. Al menos dos pares de reacciones se someten a un proceso químico durante esta operación. La energía de esta reacción está disponible como corriente eléctrica a un voltaje y tiempo definidos, existiendo dos ramas principales de las tecnologías de almacenamiento electroquímico como lo son las baterías electroquímicas y los capacitores electroquímicos, los cuales estos tipos existentes de sistemas de almacenamiento electroquímico están en función con la naturaleza de la reacción química, las características estructurales, y diseño y que varían dependiendo de cada una de estas características.

Las celdas electroquímicas y las baterías son clasificadas dentro de cuatro categorías basadas en el principio de operación; batería primaria, batería secundaria, celda de reserva, y celdas de combustible.

En el caso de la batería secundaria se refiere a la profundidad de descarga, ya que sean baterías de ciclo superficial (poco profundas), las cuales son adecuadas para aplicaciones en energía renovable o de ciclo profundo.

Las celdas de reserva tienen la característica de tener un electrolito en la batería ya sea inundada o mojada (siendo estas las más utilizadas junto con las de ciclo profundo en aplicaciones de energía renovable) y selladas.

Este tipo de almacenamiento es un enfoque más cercano al caso de estudio, ya que el transporte y la generación de micro potencia, mediante la utilización de la energía eólica, solar y undimotriz se encuentra entre las importantes áreas de aplicación de sistemas de almacenamiento de energía electroquímica [8].

#### **2.3.1 BATERÍA PRIMARIA**

Una batería primaria en general no es recargable. La mayoría de las baterías primarias utilizan electrolitos que están contenidos dentro de un material absorbente o un separador, este tipo de electrolito es el encargado de categorizar a las baterías primarias dependiendo de su estado ya sea acuoso o no acuoso [8].



### **2.3.2 BATERÍA SECUNDARIA**

A diferencia de las baterías primarias las baterías secundarias son recargables al hacer pasar corriente a través del circuito en dirección opuesta a la corriente durante la descarga. Los sistemas de baterías recargables son separados por el tipo del electrolito en dos grupos, el primer grupo referente a los sistemas en los que se encuentran electrolitos acuosos y no acuosos y en un segundo grupo los cuales están basados en agua y disolventes [8].

### **2.3.3 CELDA DE RESERVA**

Una celda de reserva es un tipo de batería primaria. Las celdas o baterías de reserva son usadas para el almacenamiento prolongado, en la cual los químicos activos de las celdas se agregan y se aíslan hasta que se requiera, las baterías de reserva se ensamblan sin un electrolito, ellas son almacenadas de una forma fiable bajo una variedad de condiciones adversas que comprometieran el rendimiento de las celdas completamente activadas [8].

### **2.3.4 CELDA DE COMBUSTIBLE**

Las celdas de combustible son dispositivos de generación eléctrica, que utilizan principalmente la energía química de hidrogeno para liberar la energía química latente del combustible y sea convertida para la producción de energía eléctrica. Las celdas de combustible funcionan como las baterías produciendo electricidad y calor, siempre y cuando el combustible sea suministrado, pero con la diferencia de que estas no se agotan o necesitan recargarse.

Una celda de combustible está compuesta por un ánodo, un cátodo y un electrolito, su principio de funcionamiento consiste en hacer pasar hidrógeno a través del ánodo y oxígeno a través del cátodo. En el caso de las moléculas de hidrógeno se dividen en electrones y protones en el sitio del ánodo, dichos protones pasan a través del electrolito, mientras que los electrones son forzados a través de un circuito, generando una corriente eléctrica y exceso de calor, y así finalmente los protones, electrones y el oxígeno se combinan para producir moléculas de agua en el sitio del cátodo [8].



Principalmente el tipo de electrolito es el que clasifica a la celda de combustible de la siguiente manera:

- Celda de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEM).
- Celda de combustible de metanol directo.
- Celda de combustible Alcalina.
- Celda de combustible de ácido fosfórico.
- Celda de combustible de carbono fundido.
- Celda de combustible de óxido sólido.
- Celda de combustible reversible

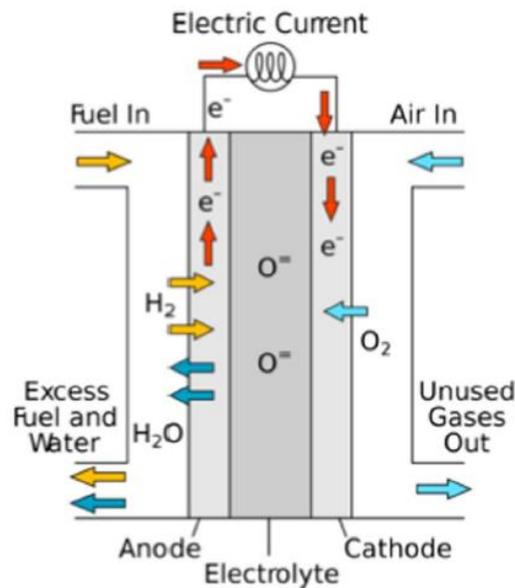


Fig. 9. Principio de funcionamiento de una celda de combustible típica.[8]

#### 2.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema de almacenamiento de energía eléctrica por sus siglas en inglés EESS es clasificado como electrostático (mediante capacitores, supercapacitores y sistemas de almacenamiento de energía magnético/corriente). Estos sistemas de almacenamiento de energía eléctrica son utilizados para distintos fines, tal es el caso de los capacitores para las altas corrientes, aunque solo por periodos extremadamente cortos, debido a su relativamente baja generación de capacitancia; en el caso de los supercapacitores estos pueden remplazar un capacitor regular con la excepción que ofrece una capacitancia muy alta en un paquete pequeño.



Y, por último, los sistemas superconductores de almacenamiento de energía magnética, que son empleados en las salidas de las centrales eléctricas para la estabilización de la producción o en sitios industriales donde son utilizados para regular los picos en el consumo de energía [8].

### 2.4.1 CAPACITOR

Los capacitores son el método más directo para el almacenamiento de la energía eléctrica. Un capacitor consiste en dos placas de metal separadas por un dieléctrico, la primera placa se carga con electricidad de una fuente de corriente continua, de tal manera que en la segunda placa se habrá inducido una carga del signo opuesto [8].

### 2.4.2 SUPERCAPACITOR

Los supercapacitores son capacitores electroquímicos de doble capa que llenan el vacío entre los capacitores clásicos, y son utilizados en electrónica y baterías en general. Comparado con los capacitores convencionales, las capacidades de almacenamiento de energía de los supercapacitores son bastantes mayores, además, estos pueden proporcionar una salida de alta potencia pico, pudiéndose recargar y descargar hasta millones de veces sin daño (a diferencia de las baterías) [8].

### 2.4.3 SUPERCONDUCTOR DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MAGNÉTICA

Los sistemas superconductores de almacenamiento de energía magnética funcionan basándose en el principio de la electrodinámica, en el cual la energía es almacenada en el campo magnético, creado por el flujo de corriente continua en una bobina superconductora la cual se mantiene por debajo de su temperatura crítica superconductora. El material superconductor se enfría criogénicamente y la energía almacenada puede ser devuelta a la red descargando la bobina [8].

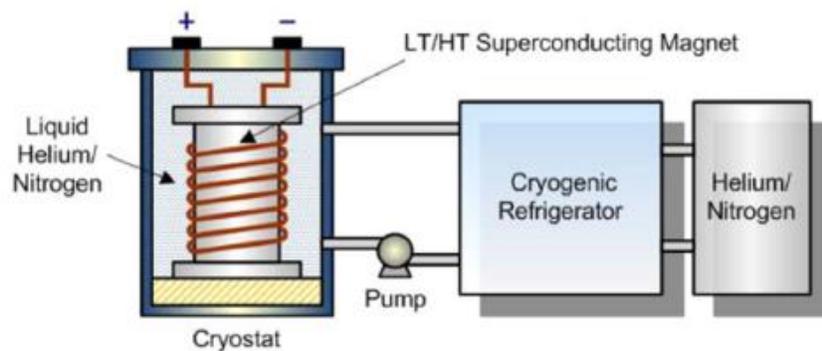


Fig. 10. Vista estructural de un sistema superconductor de almacenamiento de energía magnética.[8]



## **2.5 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA MECÁNICA.**

El almacenamiento de energía mecánica se clasifica por su principio de trabajo como puede ser: gas a presión, resortes forzados, energía cinética y potencial. La ventaja más útil del almacenamiento de energía mecánica es que entregan fácilmente la energía siempre que sea requerido por trabajos mecánicos.

Los métodos de almacenamiento de energía mecánica son fácilmente adaptables al convertir y almacenar energía generada por corrientes marítimas, olas y mareas, entre los distintos métodos de almacenamiento de energía mecánica se encuentra principalmente el sistema volante, el almacenamiento por bombeo y los sistemas de almacenamiento por aire comprimido [8].

### **2.5.1 SISTEMA VOLANTE**

Los modernos sistemas de almacenamiento de energía mediante sistema volante están conformados por un cilindro giratorio con un borde unido a un eje, el cual es apoyado en un estator por cojinetes magnéticamente levitados.; El sistema volante puede almacenar energía mecánicamente como energía cinética de la masa del rotor, girando a muy altas velocidades, esta energía es reutilizable al desacelerar el volante a través de una desaceleración par y devolviendo la energía cinética al motor eléctrico que es usado como generador, considerando que cuanto más rápido gira un volante, más energía es almacenada.

Estos volantes son empleados para almacenar energía en locomotoras eléctricas garantizando el movimiento a lo largo de las secciones no electrificadas de las líneas ferroviarias, parte de las mejoras que en él se ha llevado a cabo, es en el empleo de volantes como baterías estáticas por el lado del riel, así como la utilización para la estabilización de la alimentación de corriente eléctrica en locomotoras.

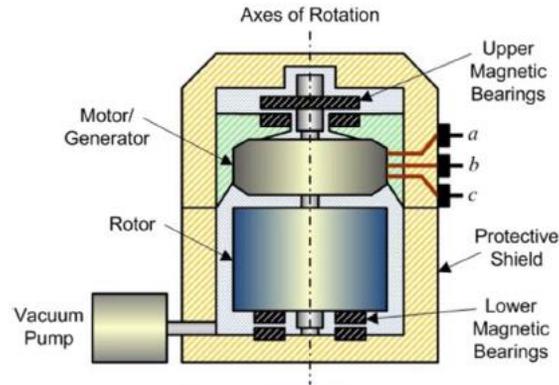


Fig. 11. Vista principal de un volante como sistema de almacenamiento de energía.[8]

### 2.5.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BOMBEO HIDRÁULICO

Los sistemas de almacenamiento por bombeo, PHSS por sus siglas en inglés, almacenan y generan energía desplazando agua entre dos embalses en diferentes elevaciones, creando una reserva de energía.

El almacenamiento por bombeo es aplicado en la actualidad a causa de la variabilidad de fuentes de energía renovable, como la energía eólica, solar y de oleaje, de tal manera que en una planta de almacenamiento por bombeo las turbinas transfieren el agua a un depósito de almacenamiento alto durante un horario regular de consumo de energía, para que el agua almacenada pueda ser utilizada posteriormente para la generación de electricidad cubriendo los picos temporales en la demanda de los consumidores, o en la desconexión temporal de algunas centrales eléctricas para su mantenimiento [8].

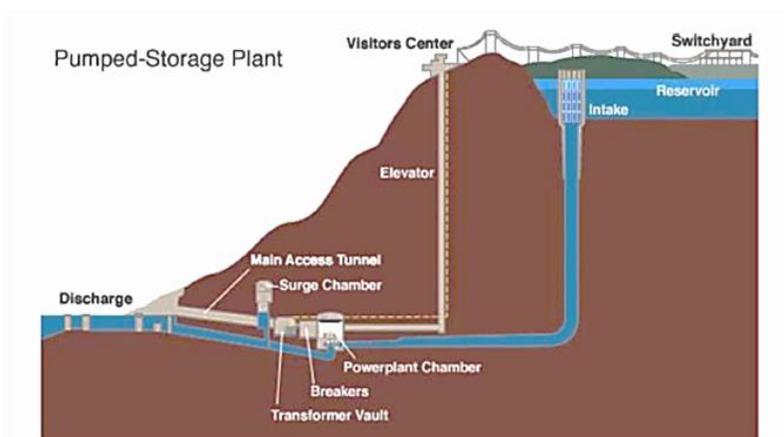


Fig. 12. Esquemático de un sistema de almacenamiento por bombeo.[8]

### 2.5.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR AIRE COMPRIMIDO

En un sistema de almacenamiento de energía por aire comprimido, por sus siglas en inglés CAES, el compresor, el depósito de aire y el expansor son los tres componentes principales de este sistema, este sistema se ha pensado y aplicado principalmente de acuerdo con el ciclo de Brayton el cual acciona las centrales eléctricas de turbina de gas.[8].

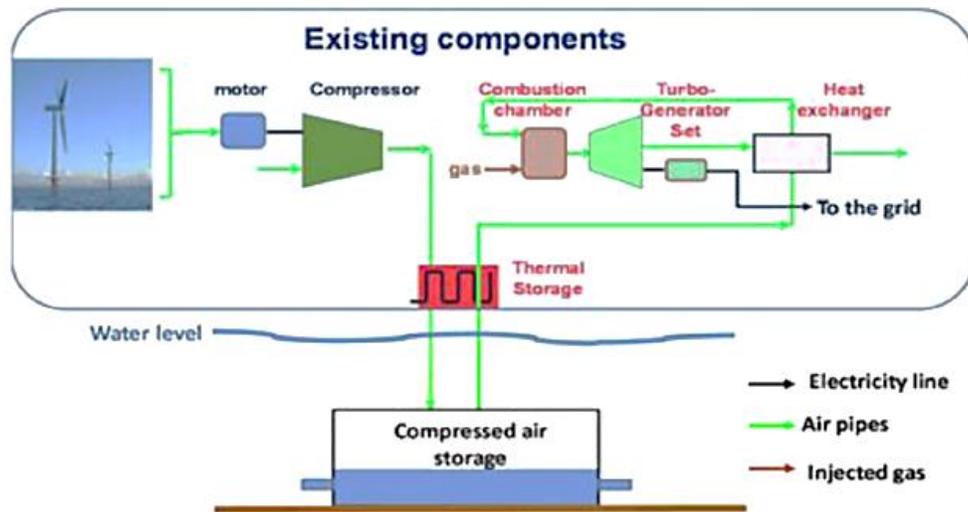


Fig. 13. Esquemático de un sistema de almacenamiento de energía por aire comprimido.[8]

### 2.6 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA

Estos sistemas son adecuados para almacenar calor o frío en un medio de almacenamiento de temperatura para uso posterior, bajo diferentes condiciones como lo es la temperatura, el lugar o la potencia, son sistemas aplicados en diversos fines industriales y residenciales, tales como la calefacción de espacios o enfriamiento, procesos de calentamiento y enfriamiento, producción de agua caliente, o generación de electricidad; dicho sistema se clasifica en tres diferentes categorías como lo son, el calor sensible, el calor latente y el de sistemas de absorción y adsorción.

- SISTEMA DE CALOR SENSIBLE

Provoca cambios de temperatura en el proceso, donde la capacidad calorífica específica y la masa del medio utilizado determina la capacidad de un sistema de almacenamiento, presentándose en diferentes fases, líquido, sólido, o líquido con relleno de material sólido.



- SISTEMA DE CALOR LATENTE

En comparación del almacenamiento de calor sensible, el calor latente no puede ser percibido por el cambio de temperatura.

- SISTEMA DE ABSORCIÓN Y ADSORCIÓN

Este tipo de almacenamiento termoquímico es una de las formas indirectas de almacenar calor, ya que el calor no se almacena directamente como calor sensible o latente, ya que lo realiza a través de un proceso fisicoquímico, tal es el caso de la absorción y adsorción de este proceso, los cuales consumen y liberan calor en modo de carga y descarga [8].

### 2.7 COMPARACIÓN, POTENCIA NOMINAL, CICLO DE VIDA Y EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

Los distintos tipos de almacenamiento son un componente integral de los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad, pero para la correcta utilización se deben considerar varios factores como lo es la potencia nominal, el factor de descarga, su ciclo de vida y la eficiencia que ofrece cada uno de ellos; las siguientes figuras abarcan un amplio panorama de los sistemas de almacenamiento y las distintas características que estos presentan.

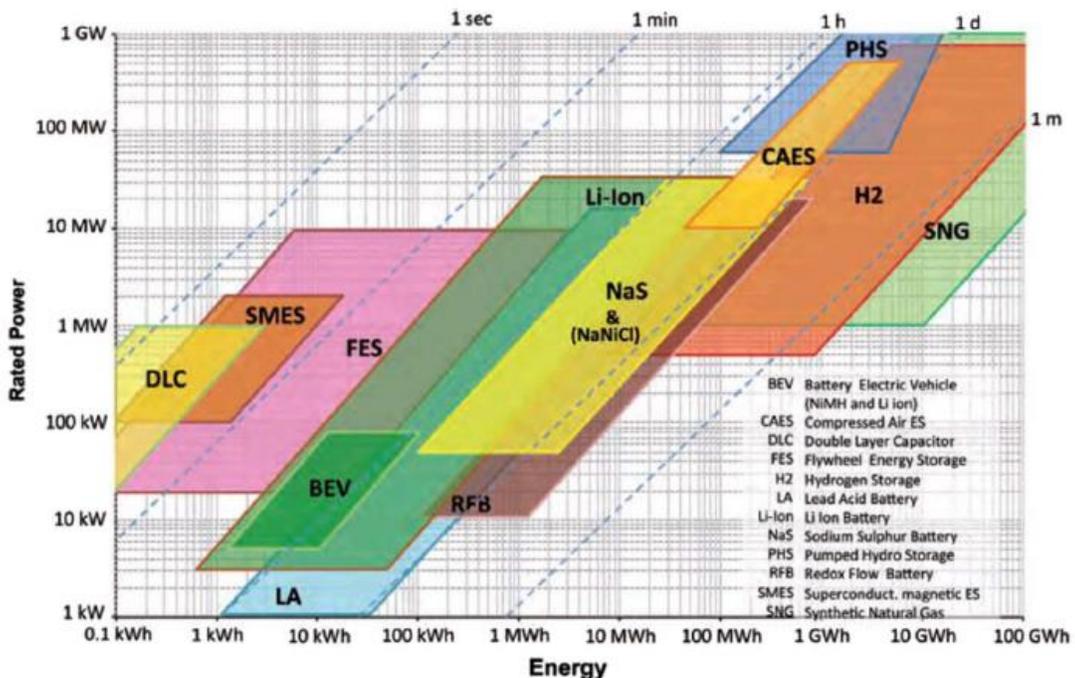


Fig. 14. Figura que explica la potencia nominal, la energía y la duración de la descarga.[8]

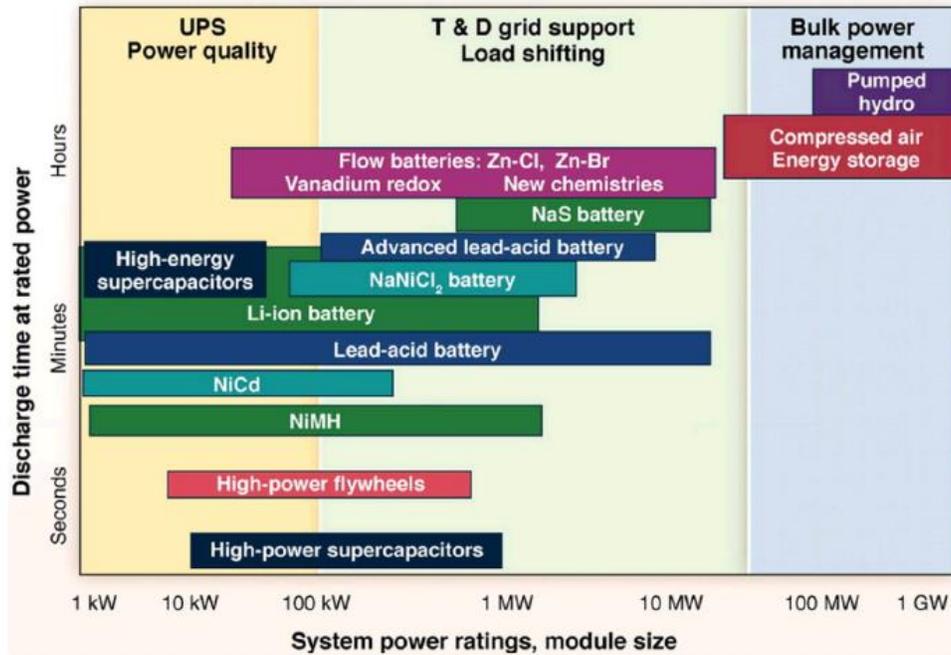


Fig. 15. Figura que nos muestra que tan alto es la potencia de salida y qué tan rápido puede descargarse un sistema de almacenamiento.[8]

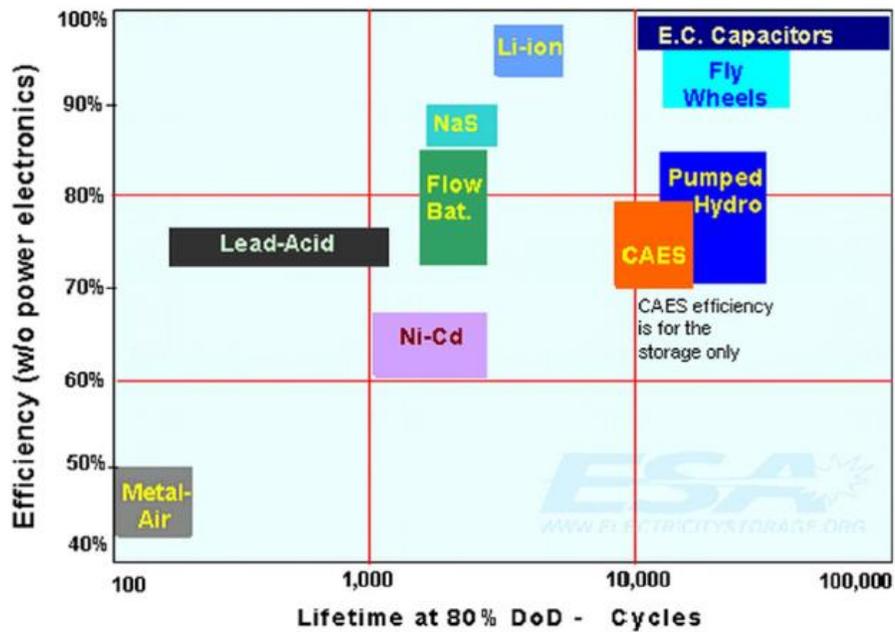


Fig. 16. Comparación de los sistemas de almacenamiento de energía de su ciclo de vida y la eficiencia de almacenamiento.[8]



Los sistemas de almacenamiento son de gran importancia debido a los distintos tipos de generación de energía con los que se cuenta en la actualidad y que, en base a la demanda o utilización, estos puedan ser eficientes a la entrega de energía; en el siguiente capítulo se utilizará un almacenamiento químico mediante baterías recargables, las cuales se adaptan a la escala del prototipo y su capacidad de generación.



## **CAPÍTULO 3.**

### **3. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO (PROTOTIPO, CANAL Y GENERADOR).**

En este capítulo se abordarán todos los conceptos técnicos referentes al diseño del absorbedor puntual tipo columna oscilante. Adicionalmente, se describirán las pruebas preliminares mediante otras técnicas de simulación, tanto para el dispositivo de prueba y el generador trifásico, llevando el posterior registro de parámetros como corriente, potencia y voltaje.

La primera prueba consistió en una simulación de olas mediante un dispositivo (prototipo simulador de olas) que tiene la función de una prensa hidráulica, el cual desplaza el fluido a presión pasando a través del absorbedor y así generar la energía necesaria. Aunque esta prueba se debe entender como un método no confiable, debido a que no se comporta como el oleaje real de las zonas costeras, ya que estas presentan en un determinado tiempo formas de ondas distintas.

#### **3.1 SIMULADORES DE OLAS.**

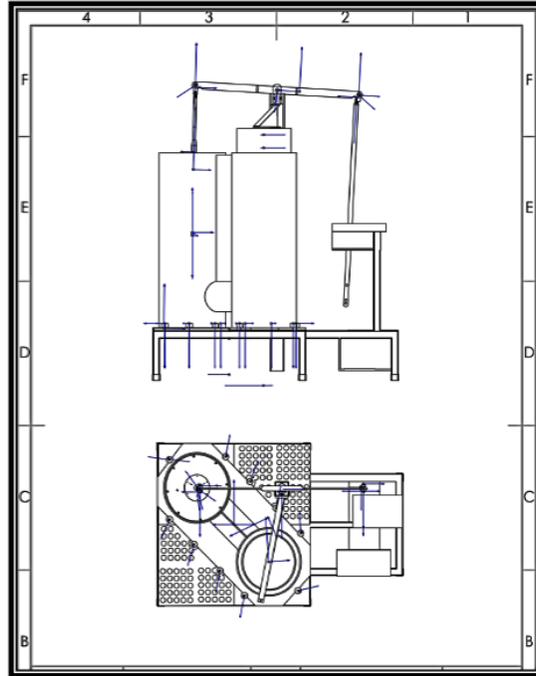
En la actualidad existen diferentes prototipos los cuales pretenden simular el comportamiento de olas en una escala menor, en la mayor parte de ellos se pueden configurar distintos parámetros, tal como la amplitud, el periodo, entre otras características, que, en conjunto con el dispositivo de pruebas, objeto de esta tesis, pueden permitir caracterizar su comportamiento.

El Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM realizó un primer prototipo el cual pondría en funcionamiento el dispositivo de prueba, accionando a la vez un generador trifásico proporcionando parámetros como voltaje, corriente y potencia.

Este prototipo simulador de olas, aunque contaba con una simulación de fuerza y altura, carecía de ajustes de parámetros como el periodo, además de realizar una generación constante, obteniendo así un margen de error considerable en comparación de una prueba real en la costa; La elaboración de este dispositivo se menciona a continuación.

##### **3.1.1 PROTOTIPO SIMULADOR DE OLAS.**

Se creó el modelado mecánico en 3D en el software SolidWorks del sistema mareomotriz para protección catódica con el uso de un generador para así, simular diferentes olas con diferente fuerza y altura, las cuales permitían la generación de energía para abastecer un sistema de protección catódico, el cual el diseño de dicho sistema de aprovechamiento de energía por medio de sistema mareomotriz se muestra a continuación [9].



*Fig.17. Prototipo para la simulación de olas.*

Este prototipo consiste en un apoyo de dos cilindros acrílicos que convierte el movimiento rectilíneo uniforme acelerado de un cilindro generado por un motor de corriente directa manipulado a su vez por una caja de frecuencias, en un movimiento circular uniforme acelerado dentro del agua, el cual con este movimiento cíclico es el que permite el funcionamiento del dispositivo de pruebas y simula las olas del océano.

Aunque este prototipo contó con todos sus pasos de la elaboración desde la base hasta los émbolos, no se especifican en este trabajo, ya que las pruebas a considerar se llevaron mediante un canal de simulación de oleaje, conformado por una pala mecánica la cual produce olas más parecidas a las del océano y en las cuales se puede variar su altura y su periodo e igual manera producir olas aleatorias, es decir de una manera no constante [9].

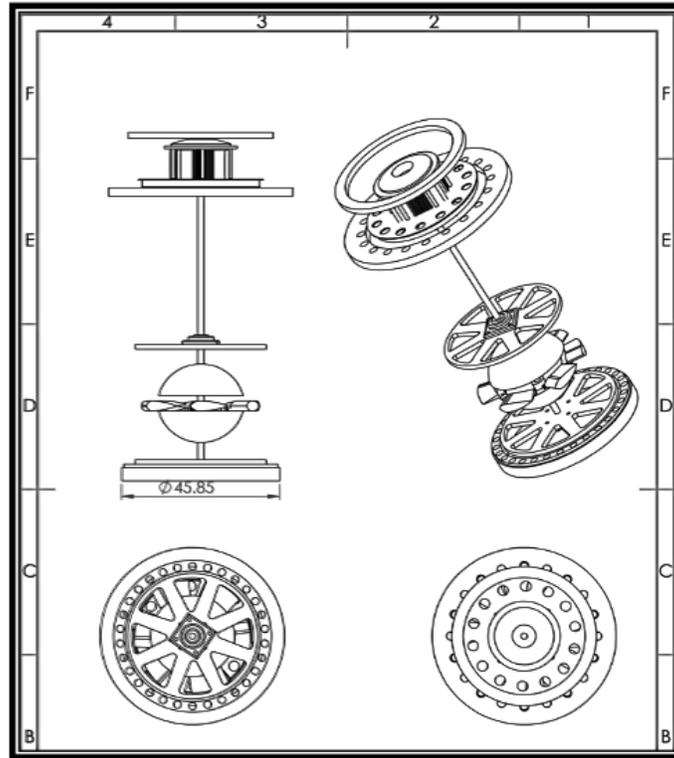
### **3.1.2 CANAL DE SIMULACIÓN DE OLAS.**

La importancia de contar con un canal de simulación de olas es importante debido al ajuste de todos los parámetros que se pueden especificar para una correcta caracterización del dispositivo de prueba; así como la de contar con sensores de nivel, que permitan analizar el comportamiento de altura de ola, la cual incide en el absorbedor puntual, en el cual sus características se especifican a continuación.



### 3.2 ABSORBEDOR PUNTUAL, PLANOS Y CONSTRUCCIÓN.

Es la parte que se encarga de transformar el movimiento ascendente y descendente de las olas, dependiendo de la configuración que está presente, y así convertirlas directamente en energía. Mediante una turbina Wells y un generador rotativo [9].



*Fig.18. Columna Oscilante de Agua (Absorbedor Puntual).*

Cada una de sus partes las cuales fueron modeladas y diseñadas para un correcto funcionamiento, cuentan con una función en específico, las cuales se enlistan de la siguiente manera.

- PROTECCIÓN DE GENERADOR

Evita algún golpe que pueda perjudicar el buen funcionamiento de la máquina, consiste en 6 tornillos, y un plástico protector contra golpes que provengan de la parte superior de la máquina.

- BASE DEL GENERADOR TRIFÁSICO

Este es el soporte para que tenga estabilidad el generador y no tener pérdidas de movimiento.



- SEGUNDA PROTECCIÓN DE ACRÍLICO

Es para el tubo más grueso de la máquina, evitando rozamientos o cortaduras de los acrílicos exteriores de la máquina, contando con unas extrusiones para el acople y flujo de aire a través de la máquina.

- TUBO ACOPLADOR

Es el encargado de unir todas las piezas del generador, pasando está a través de cada una de ellas.

- CHUMACERA

Cuenta con 4 extrusiones para 4 tornillos y sujetar bien los soportes de plástico del generador trifásico; La chumacera que se seleccionó, es una chumacera de rodamientos de bola, con caja de fundición, brida cuadrada con anillo tensor excéntrico. La chumacera es una pieza de metal que ofrece un rendimiento óptimo para un fuerte énfasis en la protección contra la oxidación, el moho, las bacterias y los agentes químicos.

- PLASTICO SOPORTE

Cuenta con dos colocados arriba y debajo de las medias esferas de acrílico, el cual se encarga de hacer presión contra el acrílico y no se mueva tanto la bobina de Wells como el generador, y darle estabilidad a la máquina.

- MEDIA ESFERA DE ACRÍLICO

Su principal función es potencializar las alabes de la turbina Wells que se encarga de dirigir ese movimiento a un eje central de la máquina, contando con dos medias esferas, estas sirven para que el agua ascienda y descienda directamente a la forma del alabe para que dé un mayor giro y por lo tanto una mayor potencia de este.

- PLASTICO SOPORTE Y ESTABILIZADOR DEL GENERADOR.

Cuenta con una esponja a su alrededor para acoplarse lo mejor posible al acrílico exterior y en su interior se incrusta perfectamente al plástico estabilizador, también cuenta con diversas extrusiones, para el flujo de agua.



- SOPORTE PARA ACRILÍCO

Se encarga de proteger al acrílico de la parte superior del transformador, para protección del usuario.

### **3.2.1 TURBINA WELLS.**

La turbina Wells es el dispositivo aerodinámico utilizado para las instalaciones de extracción de energía cinética neumática generada por una columna oscilante de agua. Para aprovechar esta forma de energía el rotor de la turbina Wells consiste en un determinado número de aspas o alabes con perfiles simétricos, distribuidos alrededor de un cubo central. Esta característica de construcción induce un solo sentido de giro en la turbina independiente de la dirección de flujo de aire que incida sobre ella. La turbina Wells debe extraer la energía cinética disponible sin cambios bruscos en su velocidad de rotación; esto se refleja en una transmisión de un movimiento rotacional uniforme representado en potencia mecánica al eje del generador [10].

Esta turbina utiliza el flujo bidireccional del aire, comprimido por una columna oscilante de agua; y en consecuencia su diseño implica que opere en un solo sentido de giro independiente del flujo de aire que incida sobre ella. Para conservar el sentido de giro de la turbina, sin importar la incidencia del aire, el rotor se diseña con perfiles aerodinámicos simétricos dispuestos radialmente [10].

En el diseño de la turbina Wells, su principal componente son los álabes, los cuales pueden describirse como la paleta curva.

Su diseño está fabricado por procesos específicos para que soporten desgaste y resonancia, así como trabajar óptimamente en función de las situaciones de presión, temperatura y viscosidad del fluido, y de igual manera su montaje se elaboró con especial precisión para evitar vibraciones excesivas durante el funcionamiento, el perfil del alabe fue creado en base al perfil NACA 0018 [11].

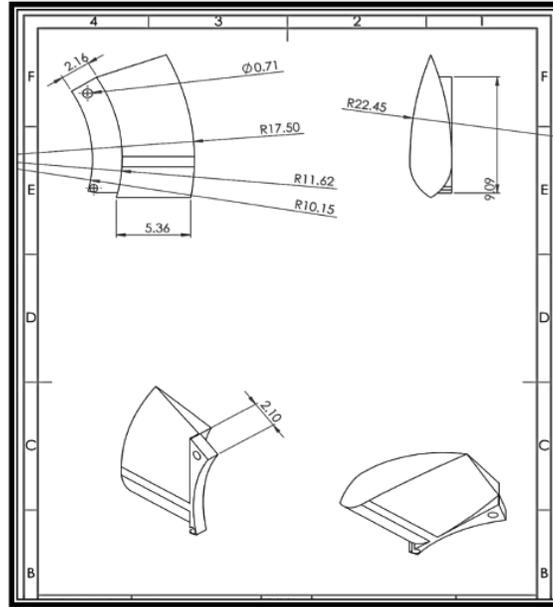


Fig.19. Diseño de los alabes de la turbina Wells.

### 3.3 PRUEBAS AL GENERADOR TRIFÁSICO

Un generador trifásico se encarga de transformar el movimiento de energía mecánica en eléctrica. En función de las revoluciones por minuto que tenga de entrada, será la corriente y voltaje de salida, siendo un dispositivo que se emplea en multitud de mecanismos que trabajan con fluidos a presión. En el caso del generador trifásico utilizado en el dispositivo de prueba para la generación de energía eléctrica, las tres bobinas se encuentran en el estator, mientras que el rotor está imantado, es decir lleva un electroimán para que genere el campo magnético y esta sea la parte móvil del alternador. Este diseño es uno de los más económicos, en comparación con los alternadores antiguos los cuales requerían un complejo sistema de colectores y escobillas para poder obtener las tensiones producidas.

Una de las principales características que distingue el generador utilizado en el absorbedor puntual, es el hecho de que está elaborado con una cantidad menor de aluminio o de cobre y genera la misma potencia que otro tipo de generadores. La forma que se alimenta el generador es por medio de tres fases, asegurando de esta forma las condiciones necesarias para un mejor suministro de energía; otras de las ventajas son que, al ejercerse un esfuerzo, sufre menos vibraciones y la potencia instantánea total, es constante. Es decir, ésta no sufre variaciones en el tiempo. Y conseguirá dar respuesta al desempeño eficiente de la máquina [11].

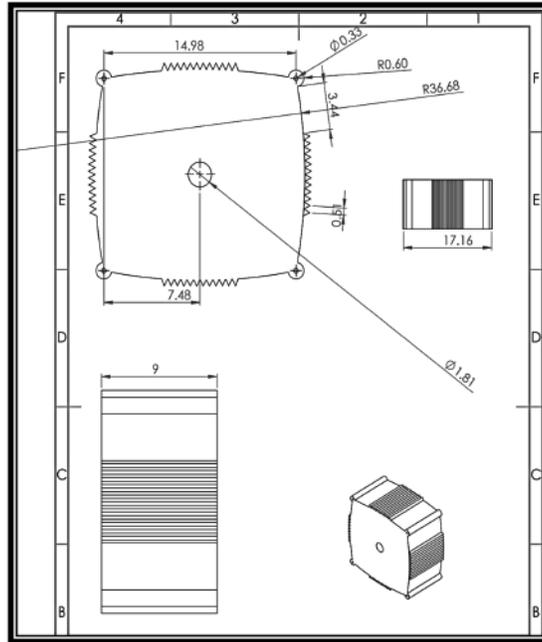


Fig.20. Estructura que compone al generador trifásico.

Estas características del generador trifásico permiten generar la mayor energía posible con relación a las revoluciones de la turbina. Para determinar algunas características del generador el instituto de Ciencias Físicas de la UNAM le realizó previo a los experimentos en el canal de simulador de olas, algunas pruebas de eficiencia, mediante un taladro acoplado a su eje que lo hiciera girar, obteniendo con un multímetro y un amperímetro de gancho, el voltaje y la corriente para el posterior cálculo de la potencia de salida. Estos resultados mostrarían un problema posterior, debido a que las revoluciones generadas por oleaje son mucho menores y de periodos intermitentes en comparación a las generadas por un dispositivo de potencia constante, tal es el caso de un taladro.



Fig. 21. Generador trifásico montado en el soporte del dispositivo.



Mediante una regulación de la velocidad de giro del rotor del generador, realizadas por el taladro, se obtuvieron los valores de voltaje, corriente, potencia y rpm producidas, en el cual estas últimas para la facilitación en las mediciones se tomaron del registro de un tacómetro y que para ello fue necesario la utilización de un soporte universal y unas pinzas de mordaza del laboratorio de síntesis de química.

En el caso de la conexión del amperímetro de gancho se tendría que realizar 4 vueltas sobre él, debido a que la escala de medición es mucho menor para que sea registrada, tomando en cuenta que al final de cada prueba dicho valor de amperaje se tendría que dividir entre cuatro [11].

El diagrama utilizado para las pruebas correspondientes consta de 6 diodos conectados en paralelo, los cuales se utilizan para cada una de las fases del generador trifásico conectando una carga resistiva en la parte final del circuito, esta carga tendría un valor de  $100 \Omega$  a  $25 \text{ W}$  tal como se muestra a continuación.

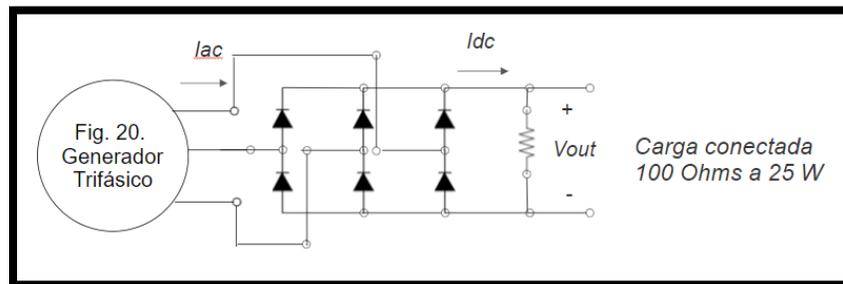


Fig.22. Diagrama de conexión como rectificador.

Debido a que se considerarían algunos otros aspectos como las pérdidas que se podían generar, una rectificación más limpia de la señal y una limitación de la corriente que podría circular en la carga conectada para el almacenamiento de energía producida este circuito se tendría que modificar y acoplar al dispositivo de pruebas una vez instalado en el canal de simulación de olas.

Los resultados obtenidos en las primeras condiciones realizadas en el Instituto de Ciencias Físicas fueron los siguientes.



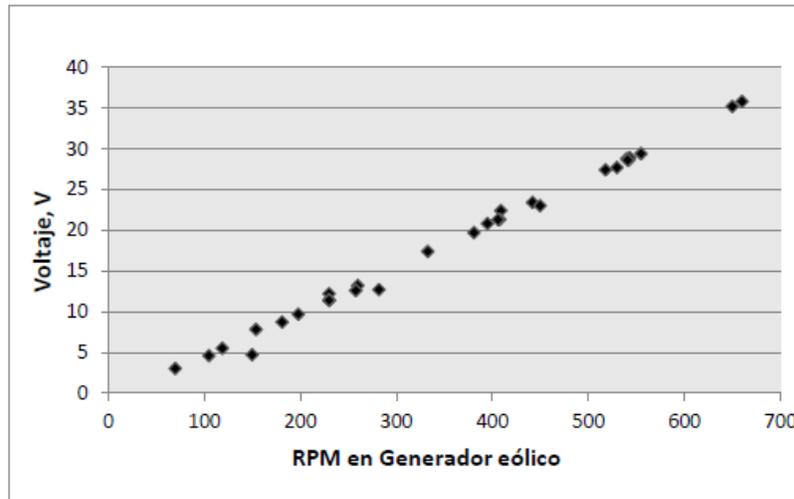
Número de prueba	RPM	Voltaje (V)	Corriente (A) x4	Corriente (A)	Potencia (W)
1	660	35.8	1.3	0.325	11.635
2	650	35.2	1.3	0.325	11.44
3	540	28.8	1.1	0.275	7.92
4	230	12.2	0.5	0.125	1.525
5	230	11.4	0.4	0.1	1.14
6	409	22.4	0.8	0.2	4.48
7	542	28.6	1.2	0.3	8.58
8	530	27.7	1.2	0.3	8.31
9	442	23.4	1	0.25	5.85
10	395	20.8	0.9	0.225	4.68
11	408	21.3	0.9	0.225	4.7925
12	450	23	1	0.25	5.75
13	282	12.7	0.6	0.15	1.905
14	260	13.2	0.6	0.15	1.98
15	258	12.6	0.6	0.15	1.89
16	181	8.7	0.5	0.125	1.0875
17	70	3	0.2	0.05	0.15
18	119	5.5	0.3	0.075	0.4125
19	230	11.4	0.5	0.125	1.425
20	198	9.7	0.5	0.125	1.2125
21	333	17.4	0.7	0.175	3.045
22	406	21.3	0.9	0.225	4.7925
23	381	19.7	0.8	0.2	3.94
24	518	27.4	1.1	0.275	7.535
25	543	28.9	1.2	0.3	8.67
26	541	28.6	1.2	0.3	8.58
27	555	29.4	1.2	0.3	8.82
28	150	4.7	0.3	0.075	0.3525
29	105	4.6	0.3	0.075	0.345
30	154	7.8	0.4	0.1	0.78

*Tabla.1. Datos de voltaje (V), corriente (A) y potencia (W) en la resistencia de carga (100  $\Omega$  a 25 W)*

Como se observa en la tabla 1. se realizó un total de 30 pruebas con revoluciones diferentes cada una de ellas, obteniendo distintos valores de voltaje, corriente y potencia, para ser llevados a un análisis de comportamiento, como se muestran en las siguientes gráficas, correspondientes a cada una de las magnitudes.



### RPM / Voltaje (V)

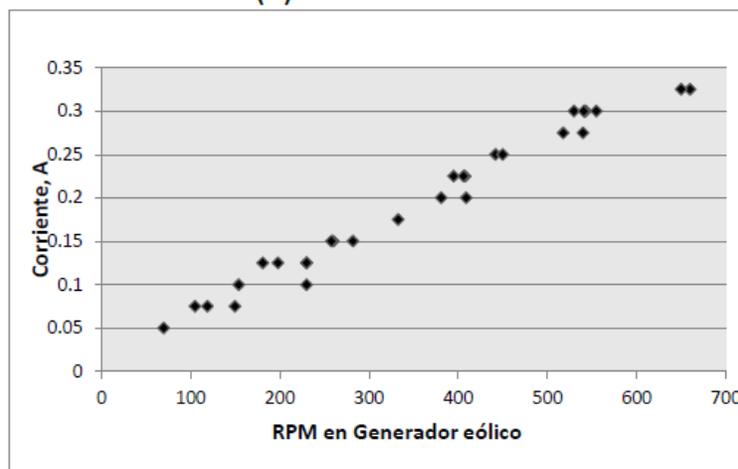


Gráfica 2. RPM contra voltaje (V)

Como se observa en la gráfica 2. Mientras el valor de las revoluciones iba en aumento el voltaje de igual manera lo hacía, tal era el caso para la gráfica 3. Pero para el caso de las corrientes, es decir, estas gráficas presentaron un comportamiento directamente proporcional debido a como lo estipula la Ley de Ohm donde la corriente es directamente proporcional con el voltaje e inversamente proporcional con la resistencia, expresada mediante la ecuación (3.1).

$$V = RI \tag{3.1}$$

### RPM/ Corriente (A)



Gráfica 3. RPM contra corriente (I)

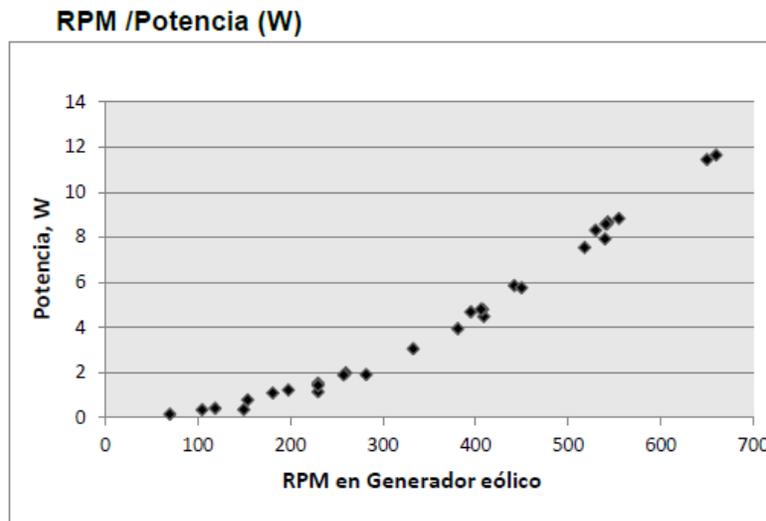


Para el caso de la gráfica 4. Se analizó la potencia de salida, generada por los resultados de voltaje y corriente obtenidos, el cual su comportamiento sería la de una función cuadrática debido a que la potencia está definida de la forma.

$$P = RI^2 \quad (3.2)$$

O bien como el producto del voltaje y la corriente.

$$P = VI \quad (3.3)$$



Gráfica 4. RPM contra potencia (W)

Estos resultados obtenidos son la base para las mejoras al dispositivo de pruebas, en relación de la capacidad y voltaje que podría entregar en condiciones reales y en condiciones de simulación en el canal de oleaje, sin embargo para cada una de las pruebas se necesitó de una adquisición y registro de datos, debido a que la adquisición de datos en el sistema de generación de energía es de gran importancia ya que permite realizar un análisis del comportamiento del sistema durante el tiempo de prueba, y de esa manera visualizar los datos de forma gráfica en tiempo real, así como realizar un registro de valores durante su funcionamiento.

La manera en que se desarrollaron las primeras pruebas emitidas por la Institución fue mediante un instrumento virtual (VI) en el software Labview NI (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) y el uso de la placa Arduino UNO, la cual cuenta con una interfaz interactiva para el usuario y una correcta adquisición de datos proveniente del sistema, aunque esté no permita observar el comportamiento de la señal en cada una de las fases del generador. [12]

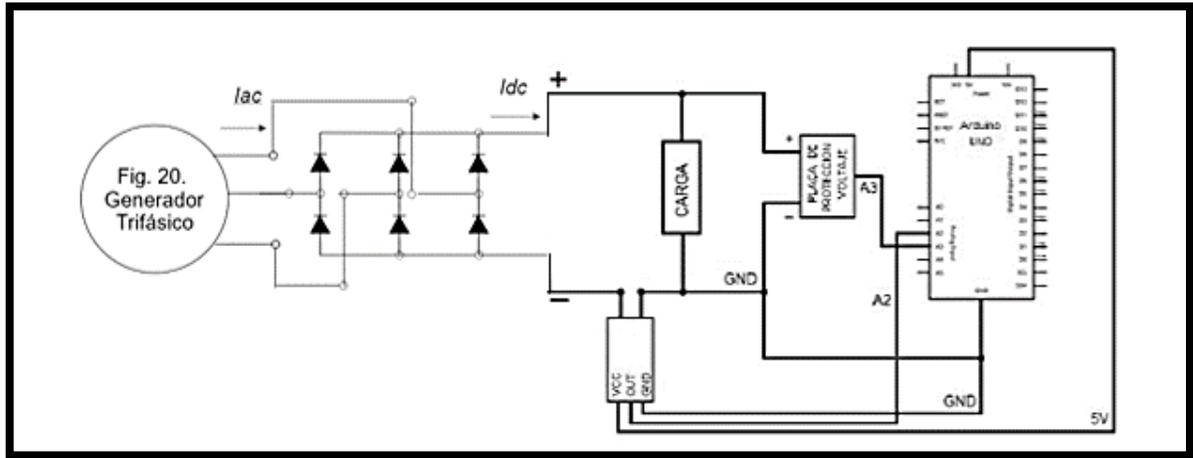


Fig. 23. Diagrama de conexión eléctrica y electrónica del sistema con una carga.

En el siguiente capítulo se aborda el procedimiento llevado en el canal de simulación de olas, debido a que, en estas condiciones, la energía que fuera generada por el dispositivo de pruebas será la que permita caracterizarlo de una manera más próxima en condiciones reales, haciendo una comparación con los datos anteriormente mostrados.



## **CAPÍTULO 4.**

### **4. PRUEBAS AL DISPOSITIVO, ANÁLISIS Y RESULTADOS.**

Este capítulo abarca los ajustes aplicados para tener una correcta variación de altura y periodo simulados en el canal de olas, la calibración necesaria de los sensores imc spartan, los cuales mostrarían el comportamiento de altura de ola; la elección de cada una de los dispositivos implementados en los circuitos, las características de funcionamiento de los dispositivos utilizados en la creación de las tarjetas impresas para el almacenamiento de energía y acondicionamiento de la señal, el proceso de fabricación final de cada una de las PCBs, y los resultados obtenidos de las pruebas correspondientes.

Se realiza también un análisis de las señales de voltaje obtenidas para los casos más relevantes de una matriz de pruebas, así como la elaboración de cálculos para la estimación de tiempo de carga del sistema proponiendo al dispositivo de pruebas un conocimiento general a futuro para el almacenamiento de energía.

#### **4.1 CALIBRACIÓN CANAL DE OLAS Y SENSORES.**

El absorbedor puntual tipo columna oscilante de agua fue diseñado para la generación de energía eléctrica a través de la conversión de la energía del oleaje. Éste provecha la energía potencial de las olas que es concentrada a través dentro de un cilindro para incrementar la oscilación vertical del agua generando la rotación de una turbina Wells, la cual se encuentra conectada a través de un eje y se encarga de accionar un generador trifásico el cual realiza la conversión de energía mecánica a eléctrica y que mediante un sistema de baterías esta energía es almacenada. Uno de los factores que se consideran para poder realizar este proceso correctamente es un ajuste y calibración de los dispositivos externos, tales como el canal de olas (con un ajuste de altura, periodo y tiempo de prueba) y la calibración de los sensores empleados (para el registro de altura de ola en distintos puntos del canal).

##### **4.1.1 EL CANAL DE OLAS.**

La simulación de oleaje fue realizada en el canal de olas del Laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería el cual mide 40 m de largo, 1.2 m de alto y 0.8 m de ancho. Este canal está equipado con una pala mecánica tipo pistón encargada de la simulación de oleaje que se desplaza horizontalmente controlado por un equipo de cómputo a través del software AwaSys 6.



El generador de oleaje cuenta con un sistema de absorción activa del oleaje re-reflejado y en el extremo final con un dissipador pasivo.



Fig. 24. Canal simulador de olas.

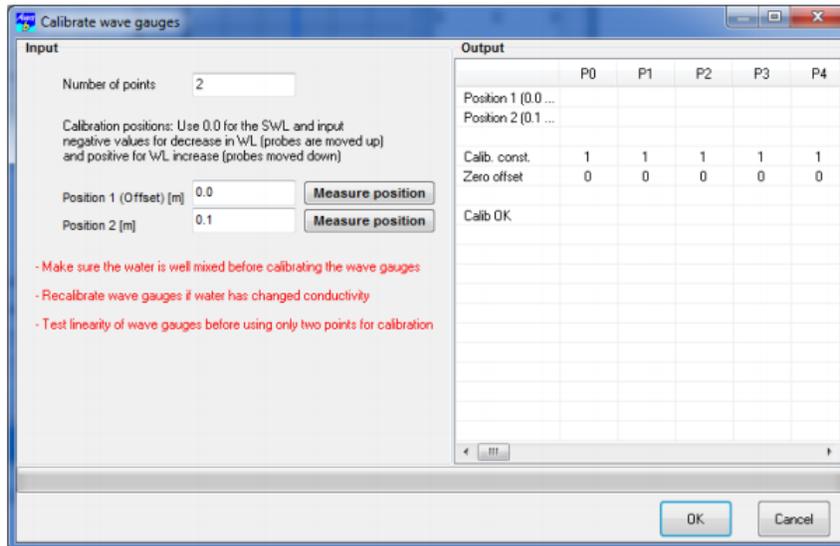


Fig. 25. Calibración de profundidad para el canal.



Como se pueda observar en la Fig. 25. para la calibración de profundidad del canal, se tiene que colocar dos puntos de calibración, el punto dos sería de margen de altura y el punto uno sería el nivel adecuado para la realización de las pruebas, es decir, sería tomado un cero de referencia; en otras palabras, si las pruebas se quisieran realizar con una profundidad del canal de 0.75 [m], en el punto dos se colocaría 0.05 [m] cuando el nivel se encontrara en 0.80[m].

Posteriormente bajar el nivel de profundidad 0.05 [m] para colocar en el punto uno 0 [m], llegando así al nivel deseado, en este caso 0.75 [m].

Un siguiente paso es el ajuste de los parámetros correspondientes dependiendo de la altura de ola y el periodo que se requirieran. Para esta tesis se simuló oleaje irregular, el cual permite tener una aproximación al oleaje real. Una de las opciones del dispositivo simulador es mediante la opción JS (Jonswap) la cual produce un oleaje aleatorio, colocando a su vez una altura significativa de la ola y un periodo deseado; en las siguientes figuras se puede observar el interfaz de la pantalla principal, así como las tablas correspondientes a las pruebas realizadas en el cual los periodos y alturas fueron estipuladas a escala, debido a que estos parámetros son característicos del oleaje existente en México y las cuales serían las que generarían las olas más energéticas para el mayor aprovechamiento del dispositivo de prueba.

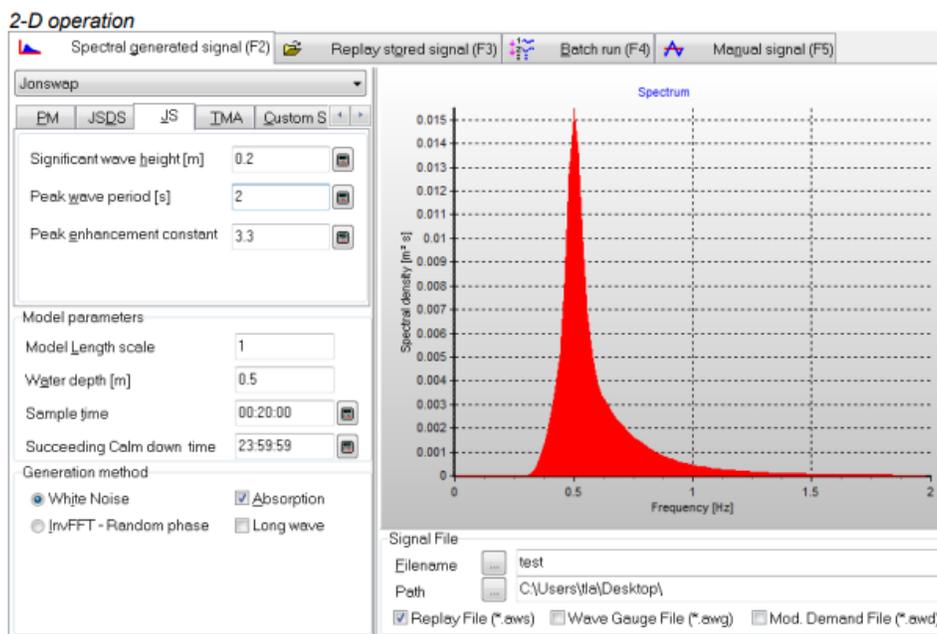


Fig. 26. Interfaz principal para el ajuste de parámetros de la ola.



Como se muestra en la Fig. 26, al haber realizado el ajuste de los parámetros de ola, se tendría que generar una ola de prueba en el cual se indicaría que no se cometió ningún error en la calibración del dispositivo.

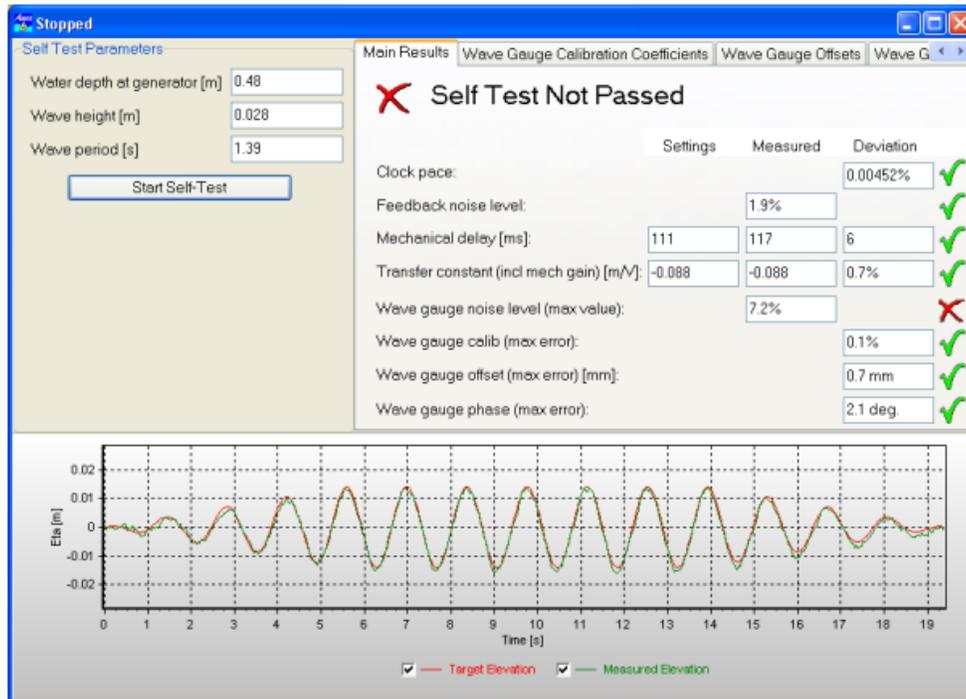


Fig. 27. Ola de prueba para observar los parámetros correctos.



# de vueltas	Profundidad h[m]	Altura significativa Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$	%error
25	0.70	0.15	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	-
33	0.70	0.15	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	-
24	0.70	0.15	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	-
32	0.70	0.15	2	6.25	1.01	0.31	2.81	-
22	0.70	0.15	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	-
27	0.70	0.15	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	-
26	0.70	0.15	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
35	0.70	0.18	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	-
36	0.70	0.18	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	-
38	0.70	0.18	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	-
38	0.70	0.18	2	6.25	1.01	0.31	2.81	-
32	0.70	0.18	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	-
38	0.70	0.18	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	-
33	0.70	0.18	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
49	0.70	0.21	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	-
52	0.70	0.21	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	-
52	0.70	0.21	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	-
63	0.70	0.21	2	6.25	1.01	0.31	2.81	-
55	0.70	0.21	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	-
55	0.70	0.21	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	-
57	0.70	0.21	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
75	0.70	0.24	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	10.26
75	0.70	0.24	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	7.84
92	0.70	0.24	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	6.58
79	0.70	0.24	2	6.25	1.01	0.31	2.81	2.38
84	0.70	0.24	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	1.73
85	0.70	0.24	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	0.2
77	0.70	0.24	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	0.65
106	0.70	0.27	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	26.04
104	0.70	0.27	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	14.77
104	0.70	0.27	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	13.74
104	0.70	0.27	2	6.25	1.01	0.31	2.81	9.2
131	0.70	0.27	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	5.77
122	0.70	0.27	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	5.42
130	0.70	0.27	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	1.68
106	0.70	0.30	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	29.14
106	0.70	0.30	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	27.89
117	0.70	0.30	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	22.46
116	0.70	0.30	2	6.25	1.01	0.31	2.81	25.76
126	0.70	0.30	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	16.55
131	0.70	0.30	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	12.09
129	0.70	0.30	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	7.29

Tabla.2. Pruebas correspondientes a profundidad de 0.70 [m].



# de vueltas	Profundidad h[m]	Altura significativa Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$	Observaciones
41	0.75	0.15	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	-
44	0.75	0.15	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	-
54	0.75	0.15	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	-
57	0.75	0.15	2	6.25	1.01	0.31	2.81	-
56	0.75	0.15	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	-
56	0.75	0.15	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	-
52	0.75	0.15	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
65	0.75	0.18	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	0.67
69	0.75	0.18	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	0.58
79	0.75	0.18	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	0.26
92	0.75	0.18	2	6.25	1.01	0.31	2.81	-
88	0.75	0.18	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	-
97	0.75	0.18	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	-
92	0.75	0.18	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
77	0.75	0.21	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	1.55
81	0.75	0.21	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	2.66
107	0.75	0.21	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	0.69
107	0.75	0.21	2	6.25	1.01	0.31	2.81	0.4
115	0.75	0.21	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	0.02
105	0.75	0.21	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	0.1
113	0.75	0.21	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	-
87	0.75	0.24	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	9.92
114	0.75	0.24	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	7.71
126	0.75	0.24	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	5.56
128	0.75	0.24	2	6.25	1.01	0.31	2.81	1.52
142	0.75	0.24	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	2.09
163	0.75	0.24	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	0.38
152	0.75	0.24	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	16.32
121	0.75	0.27	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	11.62
123	0.75	0.27	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	9.13
148	0.75	0.27	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	2.63
136	0.75	0.27	2	6.25	1.01	0.31	2.81	8.88
157	0.75	0.27	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	1.53
185	0.75	0.27	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	1.33
176	0.75	0.27	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	1.33
122	0.75	0.30	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	24.73
126	0.75	0.30	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	23.66
172	0.75	0.30	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	17.59
186	0.75	0.30	2	6.25	1.01	0.31	2.81	16.09
205	0.75	0.30	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	18.01
198	0.75	0.30	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	9.95
200	0.75	0.30	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	16.85

Tabla.3. Pruebas correspondientes a profundidad de 0.75 [m].



# de vueltas	Profundidad h[m]	Altura significativa Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$	%error
14	0.80	0.15	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	0.06
38	0.80	0.15	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	0.03
42	0.80	0.15	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	
38	0.80	0.15	2	6.25	1.01	0.31	2.81	
53	0.80	0.15	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	0.01
56	0.80	0.15	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	
55	0.80	0.15	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	
58	0.80	0.18	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	0.78
66	0.80	0.18	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	0.04
72	0.80	0.18	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	0.07
89	0.80	0.18	2	6.25	1.01	0.31	2.81	0.08
78	0.80	0.18	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	0.25
86	0.80	0.18	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	
87	0.80	0.18	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	
66	0.80	0.21	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	3.15
73	0.80	0.21	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	3.68
92	0.80	0.21	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	3.79
93	0.80	0.21	2	6.25	1.01	0.31	2.81	0.38
122	0.80	0.21	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	1
124	0.80	0.21	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	0.01
126	0.80	0.21	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	0.05
85	0.80	0.24	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	12.81
72	0.80	0.24	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	6.31
122	0.80	0.24	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	2.18
115	0.80	0.24	2	6.25	1.01	0.31	2.81	0.53
128	0.80	0.24	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	0.6
160	0.80	0.24	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	2.6
166	0.80	0.24	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	1.71
122	0.80	0.27	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	20.84
118	0.80	0.27	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	13.94
142	0.80	0.27	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	16.45
163	0.80	0.27	2	6.25	1.01	0.31	2.81	6.78
183	0.80	0.27	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	2.93
180	0.80	0.27	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	3.14
153	0.80	0.27	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	0.4
118	0.80	0.30	1.7	4.51	1.39	0.23	2.03	30.68
140	0.80	0.30	1.8	5.06	1.24	0.25	2.28	28.06
159	0.80	0.30	1.9	5.64	1.11	0.28	2.54	21.15
183	0.80	0.30	2	6.25	1.01	0.31	2.81	21.2
196	0.80	0.30	2.1	6.89	0.91	0.34	3.10	10.71
232	0.80	0.30	2.2	7.56	0.83	0.38	3.40	12.33
221	0.80	0.30	2.3	8.26	0.76	0.41	3.72	7.39

Tabla.4. Pruebas correspondientes a profundidad de 0.80 [m].



Estos ajustes son básicos para un correcto funcionamiento del dispositivo, aunque con este software se pueden ajustar distintos parámetros dependiendo de las pruebas que se requieran realizar. [13]

En el caso de los datos de las tablas 2, 3 y 4 utilizadas para el ajuste de los valores en el simulador de olas se observan varios parámetros los cuales muestran, el número de vueltas generadas por la turbina (las cuales dependieron de la profundidad del canal), la altura significativa y el periodo; estos parámetros se obtuvieron en base a una serie de pruebas previas con alturas y periodos más bajos y con un rango considerable, en el cual se observó que algunos de estos valores no generarían ningún movimiento al dispositivo de prueba y por lo tanto no se considerarían ya que se busca una generación de energía que permita ser aprovechada. (Anexos).

Por otra parte, se pueden observar otro parámetro como lo es la longitud de onda, está se encuentra definida por la ecuación (4.1).

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} (\tanh(kh)) [m] \quad (4.1)$$

Donde:

$g = \text{constante de gravedad}$

$k = \text{número de onda}$

$T = \text{periodo de ola}$

$h = \text{profundidad}$

y el número de onda se define de la siguiente manera.

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (4.2)$$

Estas dos ecuaciones están relacionadas con la longitud de onda, en el caso de la ecuación (4.1) mediante métodos iterativos se lleva a una igualdad de valores encontrando el valor de la longitud de onda, pero esto solo se realiza cuando se desconoce la profundidad del agua, es decir, cuando no se sabe el lugar en el cual se llevarán a cabo las pruebas, ya sea en aguas someras, de transición o profundas; para este caso de estudio simplemente se tomó la siguiente parte de la ecuación.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} [m] \quad (4.3)$$



Otro de los parámetros que se muestran en las tablas de pruebas es el porcentaje de error, el cual se obtuvo una vez finalizada cada una de las pruebas, esto a que no se realizaban algunas veces el 100 % de las olas debido a que se producía mucho esfuerzo por el dispositivo para poder lograr las 200 olas en el tiempo estipulado, dicho tiempo se calculó en base al periodo que se manejaría y cantidad de olas, en el cual se obtuvo que para cada serie de siete pruebas se realizarían dos pruebas de seis minutos, tres de siete minutos y dos de ocho minutos; por ejemplo si se necesitaban 200 olas para un periodo de 2 [s], esto quiere decir que una ola se genera en un tiempo de 2 [s], el cálculo sería el siguiente:

$$200 (2 \text{ seg}) = 400 \text{ seg} \quad (4.4)$$

$$400 \text{ seg} \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) = 6.666 \text{ min} \cong 7 \text{ min} \quad (4.5)$$

El siguiente paso consistió en la calibración de los sensores para poder obtener el comportamiento del oleaje y compararlo posteriormente con el voltaje generado, es por ello la importancia de conocer todos los datos para la obtención de la longitud de onda y el número de onda, ya que de estos parámetros dependería el cálculo de la calibración de los sensores.

#### 4.1.2 SENSORES IMC (SPARTAN).

El IMC SPARTAN es un sistema de recopilación de datos de alta precisión para la tensión cuasi-estática y dinámica, indicadores de tensión, corriente y señales de temperatura, en este caso el dispositivo se encontraría recibiendo los datos de la elevación de la superficie libre del agua. Esto con la finalidad de obtener los parámetros hidrodinámicos asociados a la interacción del oleaje con el WEC.



Fig. 28. Módulo IMC SPARTAN.



Para la calibración de los sensores, se debería de abrir el programa IMC SPARTAN y ajustar las perillas del dispositivo AC Y H.R Wallingford hasta que los sensores (para en el caso de estas pruebas se trabajaron con seis sensores) en el canal de oleaje registraran una lectura de 0, una vez que ya se haya estipulado la profundidad de agua en el canal, y posteriormente tarar los valores para tener una buena precisión de ajuste en cero.

Channel name	Connector	Status	Balance	Current value	Balance compensation	Date	Time
<b>Channel type: Analog inputs</b>							
SN_01	[01] IN01	tare ok	Tare	0.314539 cm	-1.03003 V; -3.34969 cm	16/01/2019	04:05:59 p.m.
SN_08	[01] IN02	tare ok	Tare		0.0167857 V; 0.0357777 cm	01/06/2018	04:30:02 p.m.
SN_03	[01] IN03	tare ok	Tare	0.308407 cm	0.717207 V; 1.50991 cm	15/01/2019	01:48:44 p.m.
SN_04	[01] IN04	tare ok	Tare	-0.0190928 cm	-0.412012 V; -0.900574 cm	15/01/2019	01:48:51 p.m.
SN_05	[01] IN05	tare ok	Tare	-0.0642743 cm	-0.57224 V; -1.34381 cm	15/01/2019	01:49:09 p.m.
SN_06	[01] IN06	tare ok	Tare	0.214419 cm	0.665324 V; 1.82698 cm	15/01/2019	01:49:02 p.m.
SN_07	[01] IN07	tare ok	Tare	0.175708 cm	-1.59922 V; -5.40581 cm	15/01/2019	01:49:16 p.m.
SN_017	[01] IN08	tare ok	Tare		-10.42697 V; -20.85393 cm	21/06/2018	09:21:13 p.m.
SN_09	[02] IN01	not balanced	Tare	0 V; 0 cm			
SN_10	[02] IN02	tare ok	Tare		0.00152597 V; 0.00237044 cm	25/06/2018	01:58:37 p.m.

Fig. 29. Ajuste de valores a cero.

El siguiente paso es establecer un factor de 1 cm/V y un Offset a 0 cm para tener un comportamiento lineal en las lecturas y pueda ser registrada correctamente la altura de ola.

Channel name: SN\_017

Input range: -14.57 cm .. 35.43 cm

Unit: cm

Factor-offset scaling: 2-point scaling

Factor: 1 cm/V

Sensitivity: 1 V/cm

Offset: 0 cm

Fig. 30. Ajuste de offset y unidades adecuadas.

Finalmente, los sensores se deben de posicionar un valor  $n$  para la parte superior e inferior y tomar la lectura en el current value de ambos casos, para poder abarcar el rango de ola dentro de la medición realizando el cálculo de factor y sensibilidad de los sensores.

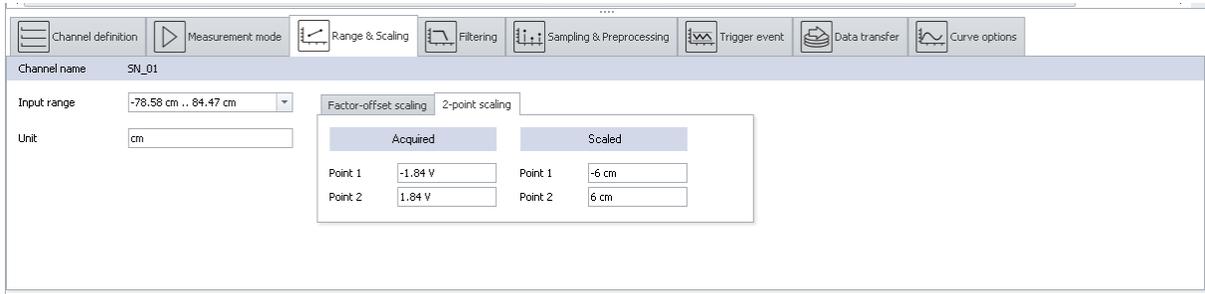


Fig. 31. Anotación del current value para valores inferiores y superiores.

Antes de iniciar las pruebas se tendría que regresar los sensores a su cero de referencia y considerar el cálculo de  $\Delta X_{m\acute{a}x}$  y  $\Delta X_{m\acute{i}n}$  que indican el espaciamiento que se debe de tener entre los sensores más cercanos al dispositivo, debido a que de no cumplir con dicha distancia al existir reflexión de ola podría llegar a indeterminares el método de medición; dicho cálculo se obtiene a través de las ecuaciones siguientes.

$$\Delta X_{m\acute{i}n} = X1 \geq \frac{\pi}{10k} \quad (4.6)$$

$$\Delta X_{m\acute{a}x} = X2 \leq \frac{9\pi}{10k} \quad (4.7)$$

#### 4.2 ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS UTILIZADOS.

Los dispositivos considerados en la elaboración de las tarjetas implementadas en el dispositivo de prueba, fue debido a que al ser un dispositivo con baja potencia de generación se debería de almacenar la energía con la mínima pérdida y que independientemente de la carga que fuera conectada a la salida del circuito, esté pueda regular la corriente que circula para la protección del sistema de almacenamiento; para ello las pruebas realizadas permitirían una caracterización y que colaborando en conjunto con este sistema pudiera permitir una generación de mayor calidad.

La parte esencial de un circuito de acondicionamiento es la rectificación de la señal ya sea mediante una rectificación de CA/CD y debido a que el sistema de almacenamiento se realiza mediante una batería recargable es importante conocer el funcionamiento de rectificación.

Los circuitos se construyeron con materiales de fácil acceso y con una escala mayor a las que comúnmente cuenta un circuito electrónico, antes de llegar a la elaboración final se tuvieron que realizar simulaciones virtuales para saber cuáles serían los dispositivos más eficientes y construir los circuitos las veces necesarias hasta llegar a un resultado adecuado.



#### 4.2.1 EL RECTIFICADOR Y CONTROL DE CORRIENTE.

El rectificador de señal es la parte esencial de los circuitos elaborados, debido a que el dispositivo de prueba no genera una señal senoidal constante, esté la rectificara en una señal de CD con algunas intermitencias, pero con la característica de poder ser utilizada en la carga de baterías, en la Fig. 32 se muestra una señal trifásica senoidal de voltaje con un desfase de  $120^\circ$ .

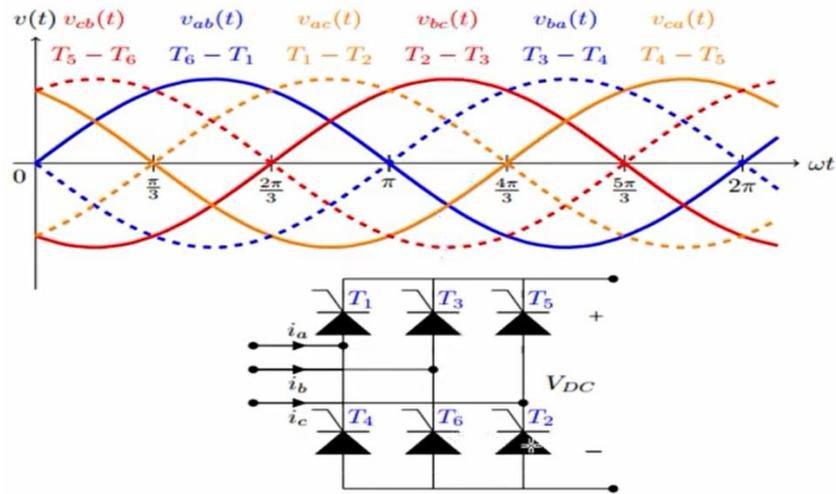


Fig. 32. Rectificador de señal controlado por SCR.

En la parte inferior de la Fig. 32 se observa un arreglo de un rectificador mediante dispositivos SCR los cuales son dispositivos que realizan una rectificación de manera controlada, pero que son utilizados para valores muy altos de potencia, es por ello que se optó por modificar este arreglo mediante diodos schottky, los cuales realizan una rectificación de manera no controlada y son dispositivos que generan una pérdida de energía menor, teniendo una caída de tensión aproximada a los 0.3 [V].

Conectado a este rectificador debe de existir un control de corriente, ya que una de las especificaciones de las baterías de Ni-Cd es que soportan hasta un máximo de 700 mA, este control se implementaría a través de un regulador de voltaje LM317 (dispositivo que tiene la característica de mantener un voltaje mínimo de 1.2 [V]) y un transistor NPN, el cual regula la cantidad de corriente que circularía por el controlador hasta un máximo de 500 [mA] mediante el ajuste de un potenciómetro; la simulación de dichos componentes se muestra en la Fig. 33, la cual cuenta con tres fuentes trifásicas de 4 [V] a la entrada y que entregan 3.91 [V] a la salida, debido a las pérdidas generadas por los dispositivos.

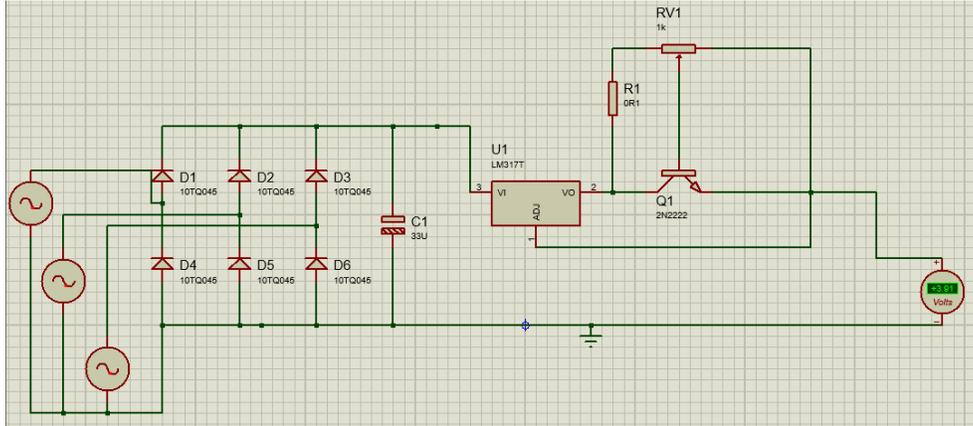


Fig. 33. Simulación de rectificador y control de corriente.

El capacitor C1 que se muestra a la salida de los diodos fue considerado para la eliminación del voltaje de rizo que se pudiera generar.

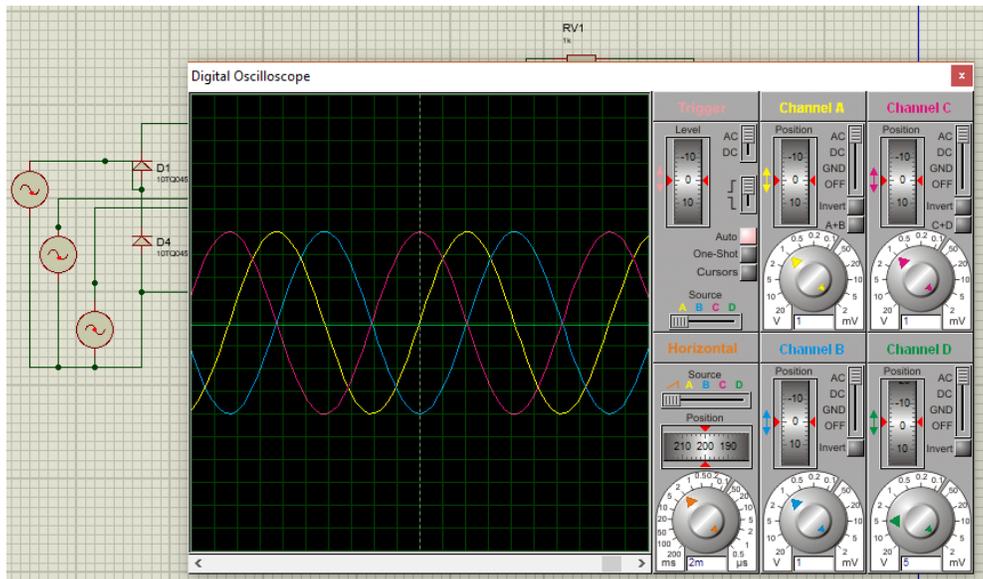


Fig.34. Señales senoidales antes de la rectificación con amplitud de 4 volts.

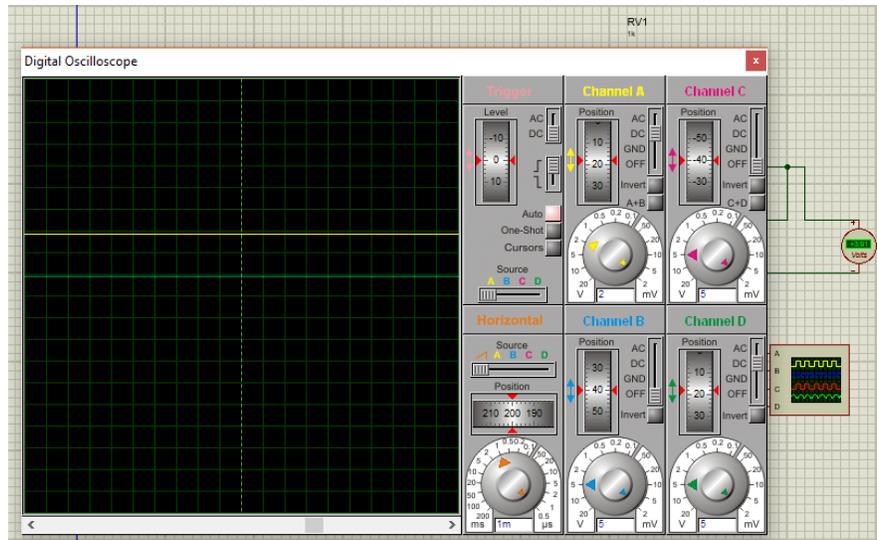


Fig.35. Señal continua después de la rectificación con un valor de 3.91 volts.

#### 4.2.2 CARGADOR Y ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA.

Por otra parte, se realizó un sistema que pudiera almacenar de manera correcta la salida de voltaje CD entregada por el regulador de voltaje, acoplado al regulador de corriente y que contara con un indicador cuando la batería estuviera completamente cargada (este indicador sería un LED). El funcionamiento básico del circuito consiste en llegar a un voltaje máximo almacenado (1.2 [V]) permitiendo que un transistor BC547 entre en un estado de saturación para poder conducir una corriente necesaria para el encendido del LED, se consideró un interruptor manual el cual permitiera cancelar el flujo de corriente cuando la batería estuviera completamente cargada, y un porta baterías para el fácil movimiento de la batería sin interrupción de la carga cuando el dispositivo estuviera generando energía.

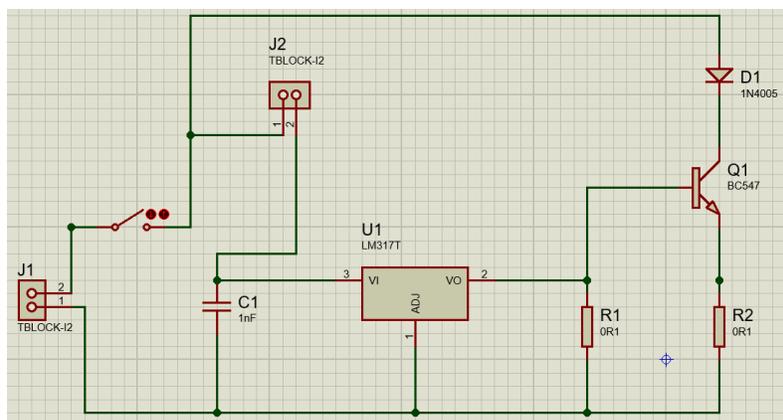
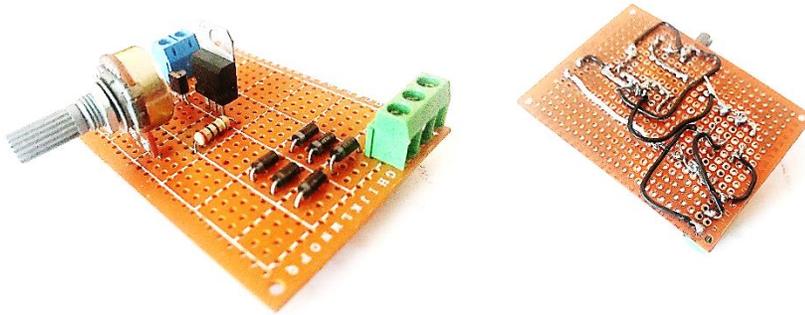


Fig. 36. Simulación de cargador de batería.

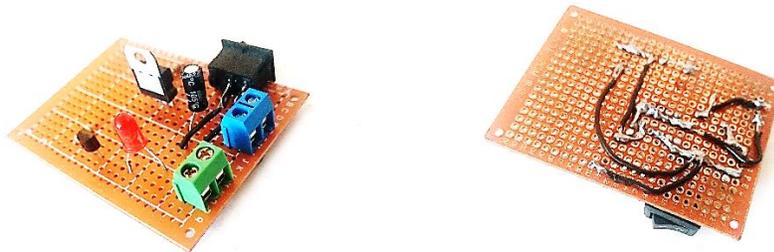


### 4.2.3 ELABORACIÓN DE LAS PCBs.

Las simulaciones correspondientes para el rectificador, el control, y el almacenamiento de energía, forma una parte importante antes de una implementación física de los componentes, además de una elaboración previa, la cual consistiría en dos partes, una que contuviera la parte del rectificador y el control de corriente, y por otra parte la carga y almacenamiento de energía; estas placas que permitirían realizar las primeras pruebas conectadas al dispositivo se elaboraron en placas perforadas, debido al fácil acceso de las pistas para su modificación en el caso de que fuera necesario, o la optimización de su funcionamiento, las figuras 37 y 38 muestra la distribución de cada componente y un primer panorama de la conexión adecuada.



*Fig. 37. Placas perforadas parte inferior y superior de Rectificador y control de corriente.*



*Fig. 38. Placas perforadas parte inferior y superior de cargador de batería.*



Un problema que se presentó en las placas perforadas fue el registro de la salida de voltaje a través del control de corriente, el cual siempre permanecía con un voltaje constante así el dispositivo de prueba no se encontrara en funcionamiento.

Este problema era provocado por el capacitor C1 utilizado para la eliminación de voltaje de rizo conectado en la salida de los diodos, éste almacenaba una cantidad de energía constante, generada por la turbina; una solución para la eliminación del voltaje almacenado (el cual no era funcional) fue la de colocar en corto circuito el capacitor por cada vuelta generada o bien eliminarlo para permitir el registro del voltaje real.

El diseño de las placas finales se realizó mediante el programa Proteus 8, éste programa tiene la característica de elegir los materiales adecuados, realizar el diseño de cada una de las pistas dependiendo de la referencia a tierra, generar un modelo 3D del circuito, e importar los valores de Drill (orificios de la terminal del componente) y Bottom Copper (Pistas y tamaño de la placa) en un formato que permiten ser grabadas y elaboradas en tarjetas fenólicas.

El programa Proteus permite optimizar la fabricación de los circuitos, para el caso del rectificador, el control de corriente y el sistema de almacenamiento encargado de la carga de baterías, se elegiría mediante una capa de la tarjeta fenólica ya que no se contaría con una soldadura de tipo superficial que permitiera realizarlo en dos capas.

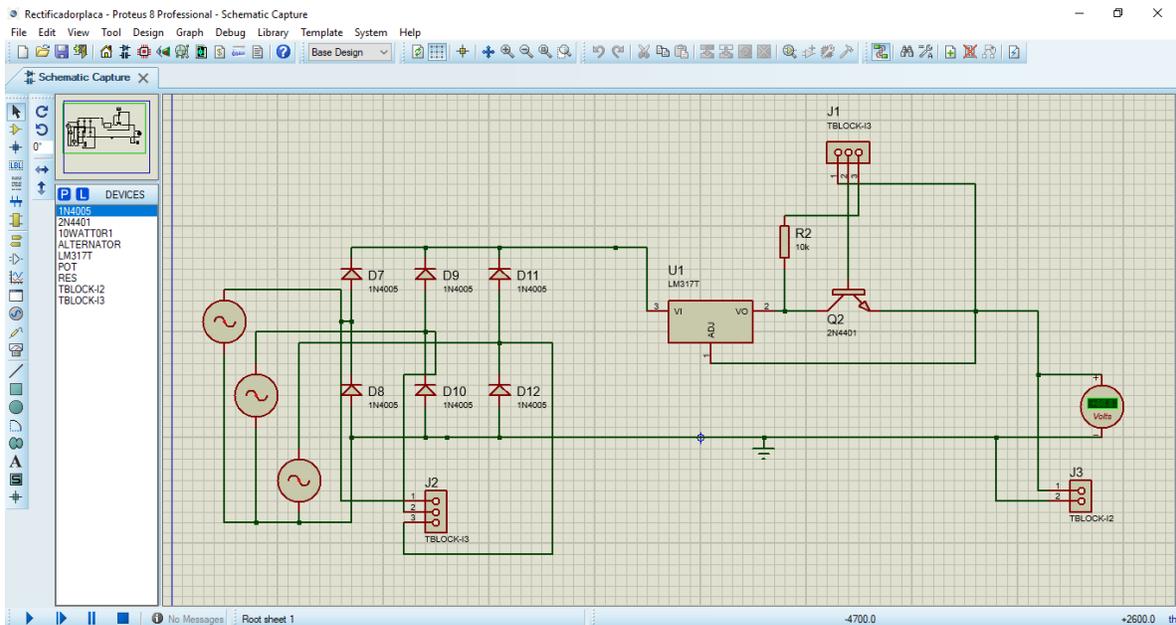


Fig. 39. Dispositivos para el rectificador y control de corriente.

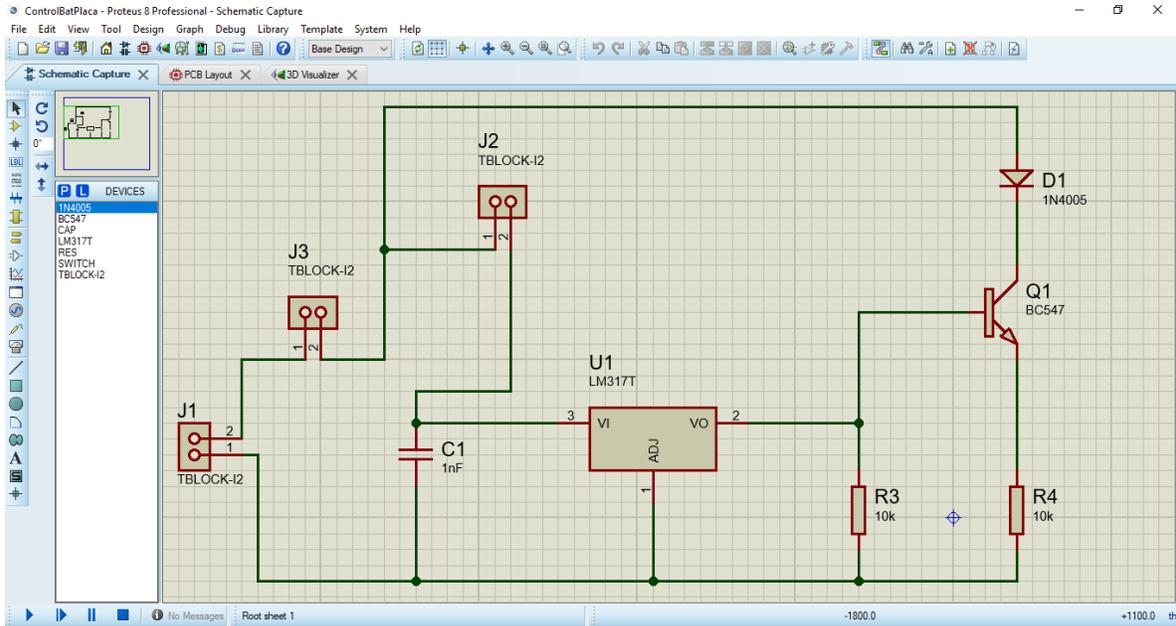


Fig. 40. Dispositivos para el cargador de batería.

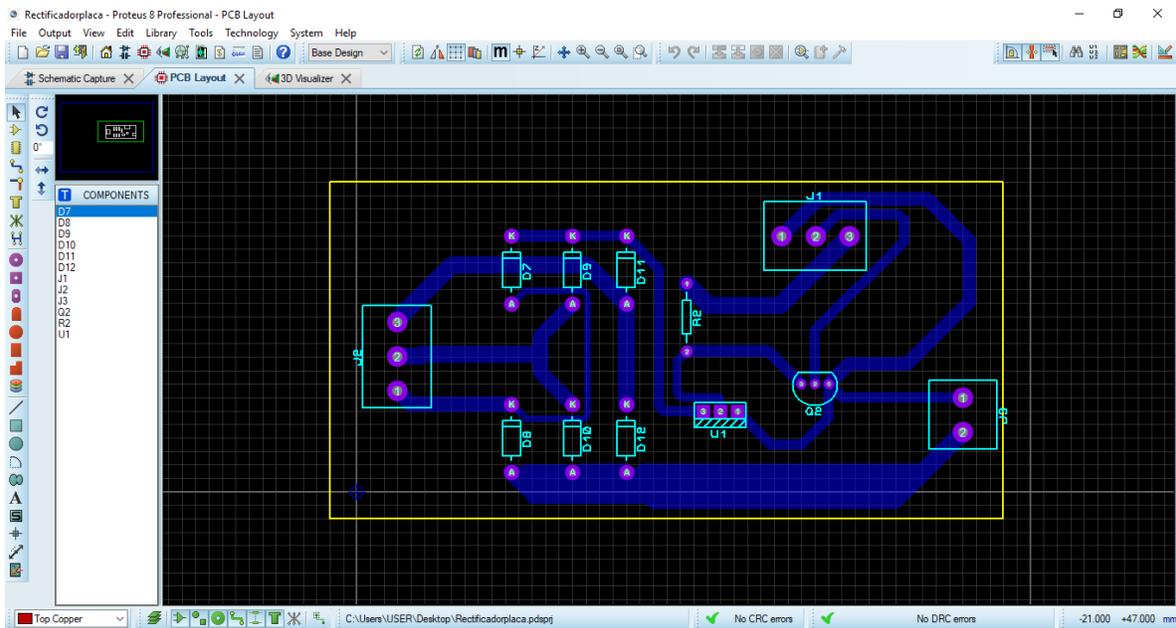


Fig. 41. Elaboración de pistas para el rectificador y control de corriente.

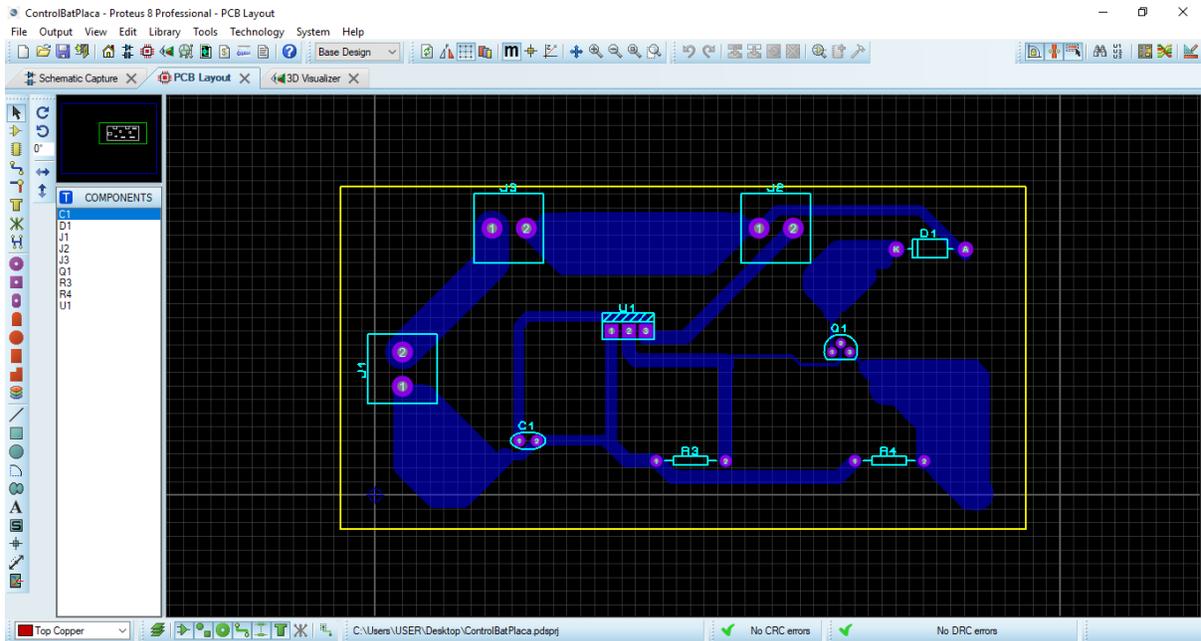


Fig. 42. Elaboración de pistas para el cargador de batería.

Cada una de las placas se fabricó con una medida de 10 x 15 cm para realizar una sencilla manipulación y tener un margen de tierra considerable permitiendo la protección de cada uno de los dispositivos.

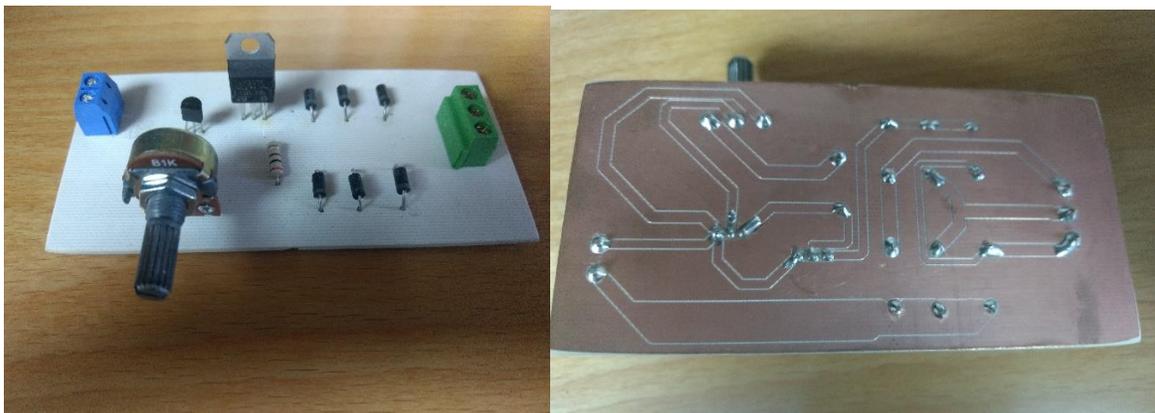
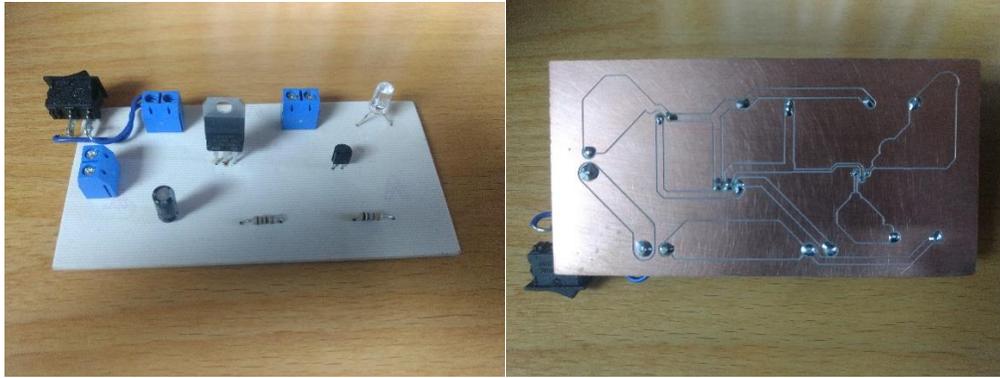


Fig. 43. Placas finales parte inferior y superior de Rectificador y control de corriente.



*Fig. 44. Placas finales parte inferior y superior de cargador de batería.*

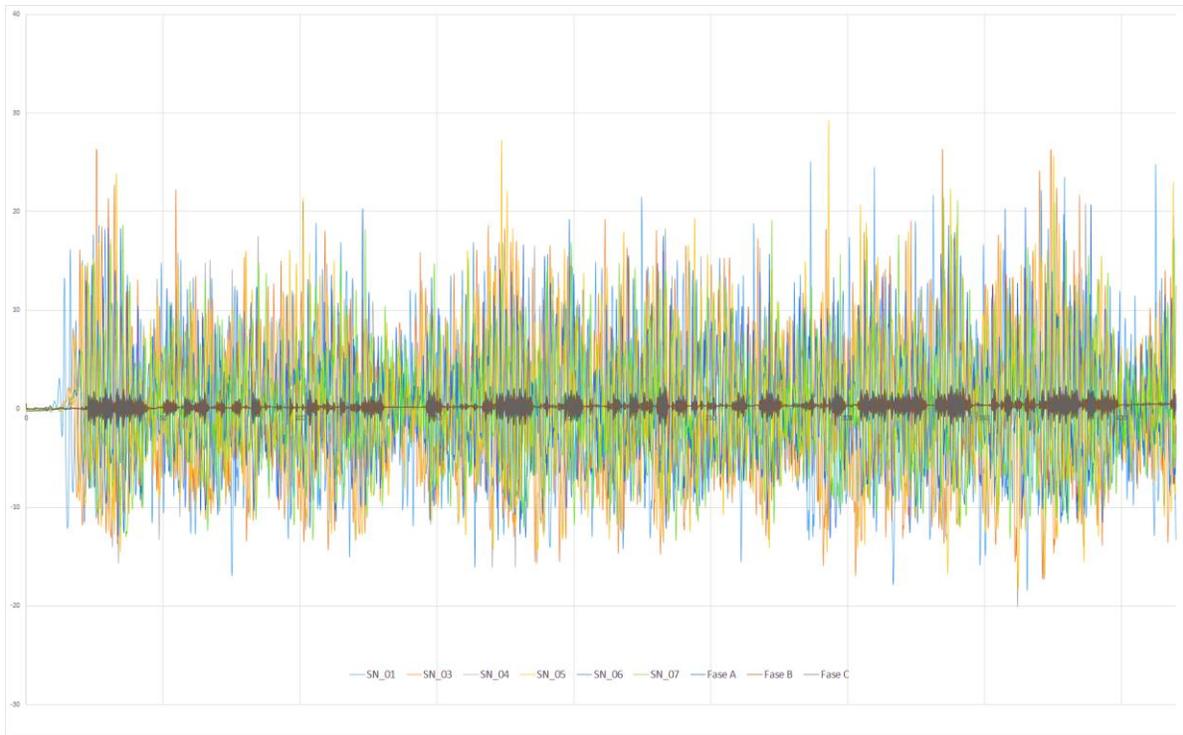
### 4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

Para la realización de las pruebas finales se consideraron tres, conformadas por 0.70, 0.75 y 0.80 [m] de profundidad, 0.30 [m] de altura significativa para los tres casos y 2.2, 2.1 y 2.2 [s] de periodo respectivamente; los resultados obtenidos se procesaron en formato de texto para después ser llevados a Excel y obtener así las gráficas correspondientes, las cuales permitirían observar el comportamiento de ola (el cual se midió a través de los sensores IMC SPARTAN) y de voltajes (estos se obtenían al realizar una conexión de cada una de las fases del generador a una tarjeta de adquisición de datos proporcionada por National Instruments, transformando la energía producida en señales digitales y procesadas mediante un programa elaborado en LabView).

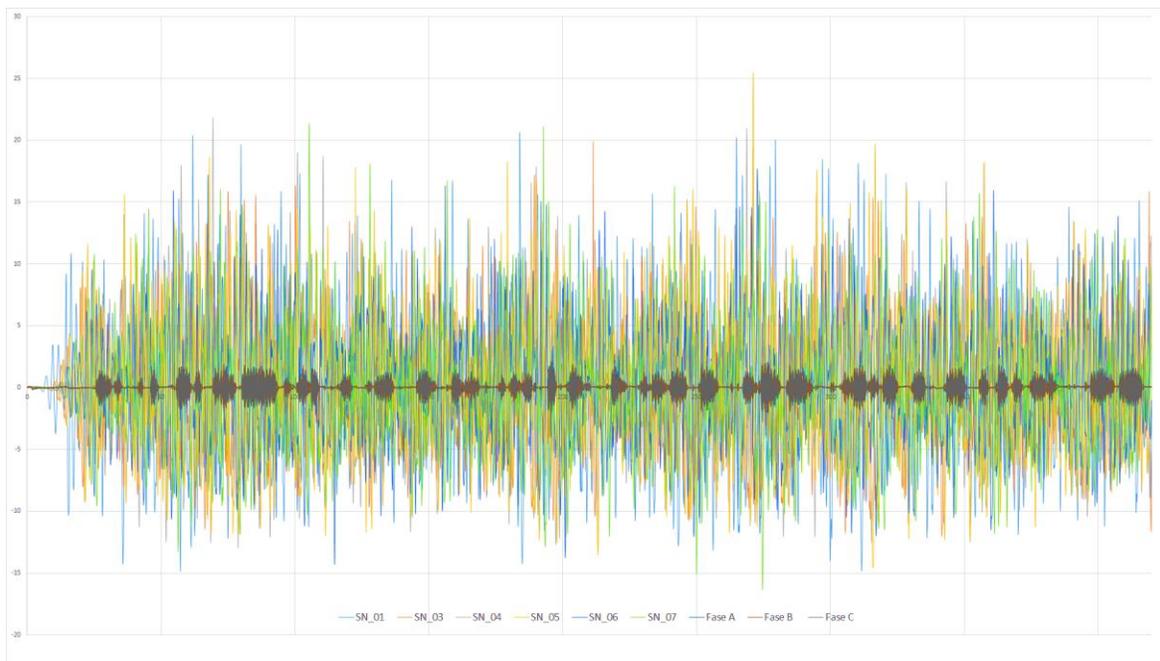


*Fig. 45. Tarjeta de adquisición de datos National Instruments.*

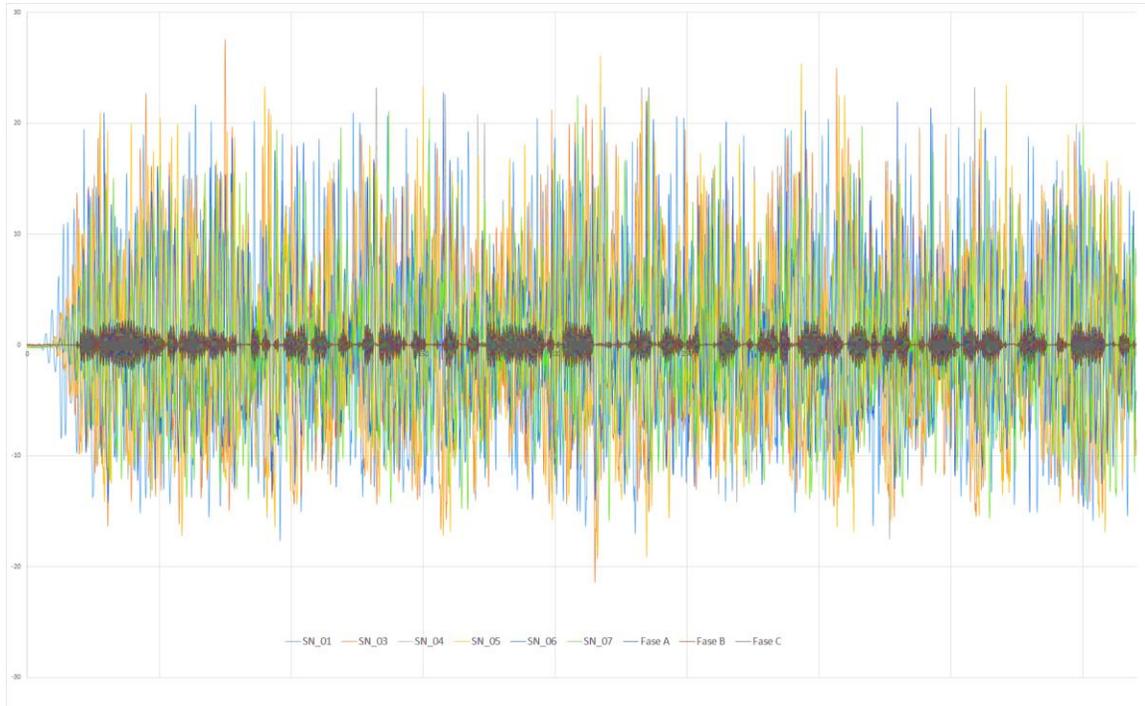
El manejo de la información obtenida por cada uno de los programas (IMC SPARTAN y tarjeta de adquisición de datos) hacían un muestreo de cada 0.01 segundos, el cual permitía un análisis de datos mediante graficas en un mismo periodo de tiempo; en las gráficas 5,6,7,8, 9 y 10 se muestra el comportamiento de generación máxima de voltaje en relación con la altura de ola correspondiente.



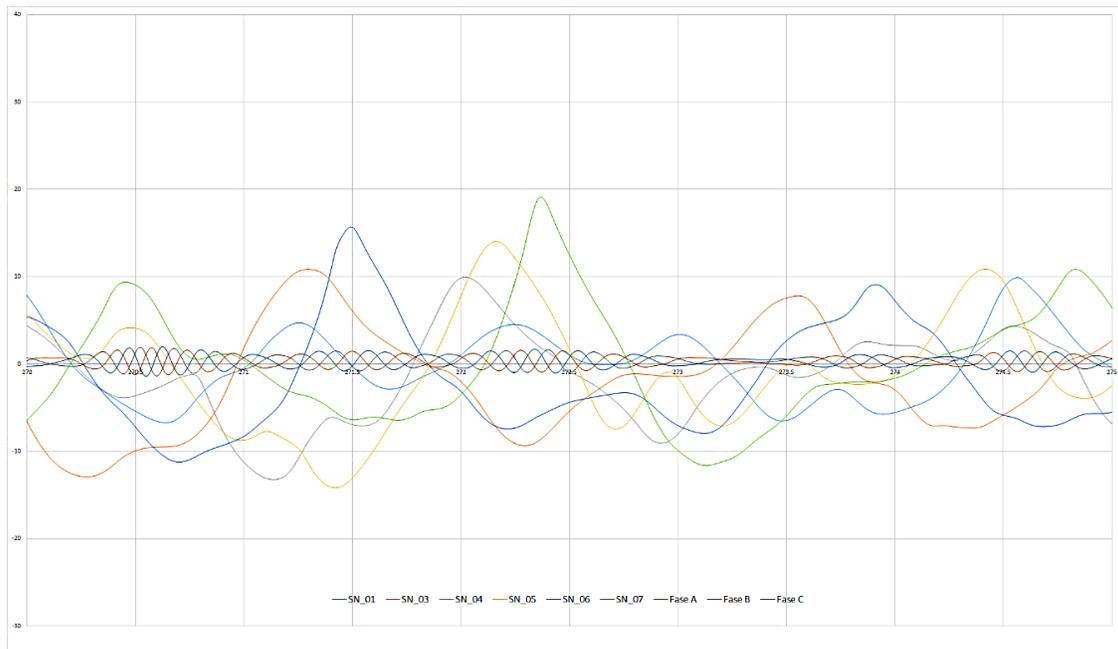
*Gráfica 5. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.70 [m] de profundidad significativa.*



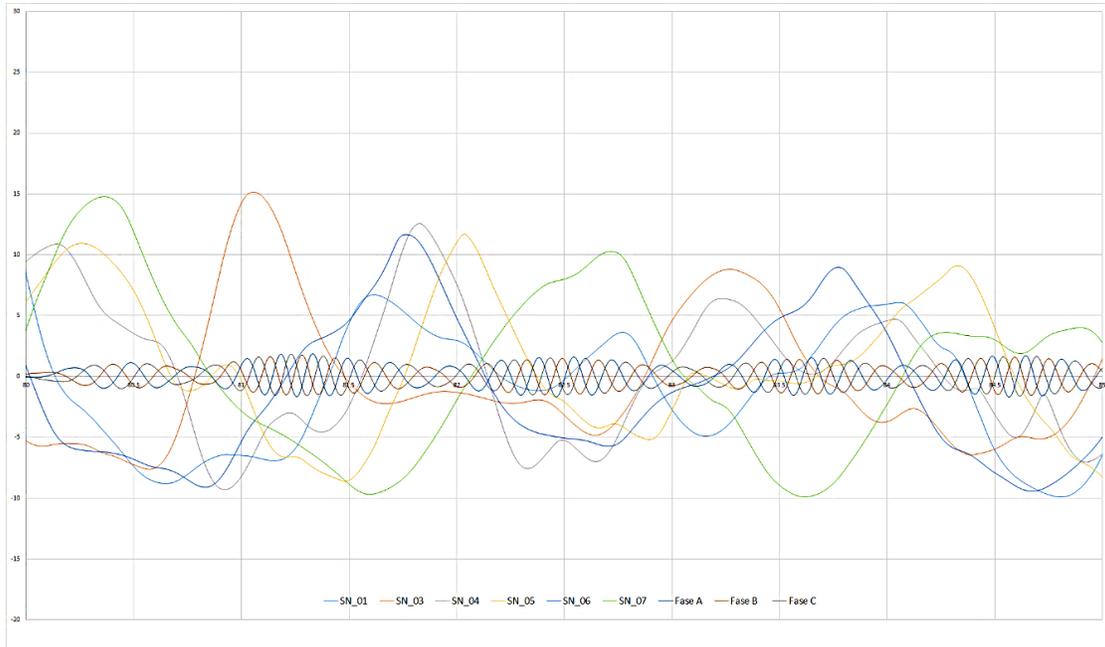
*Gráfica 6. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.75 [m] de profundidad significativa.*



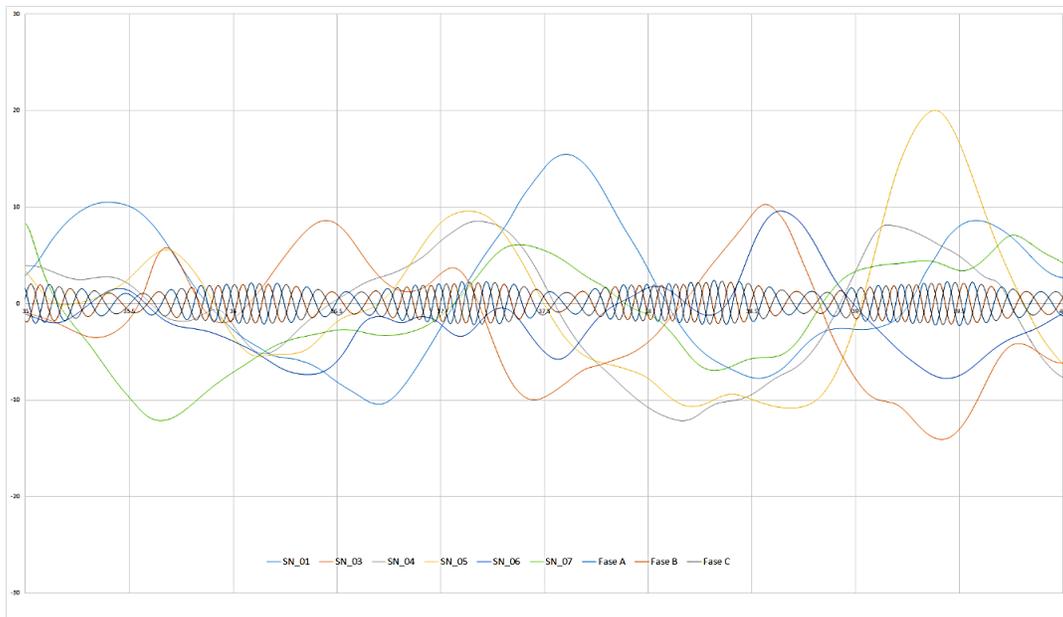
Gráfica 7. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.80 [m] de profundidad significativa.



Gráfica 8. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.70 [m] de profundidad significativa (rango de 50 muestras).



Gráfica 9. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.75 [m] de profundidad significativa (rango de 50 muestras).

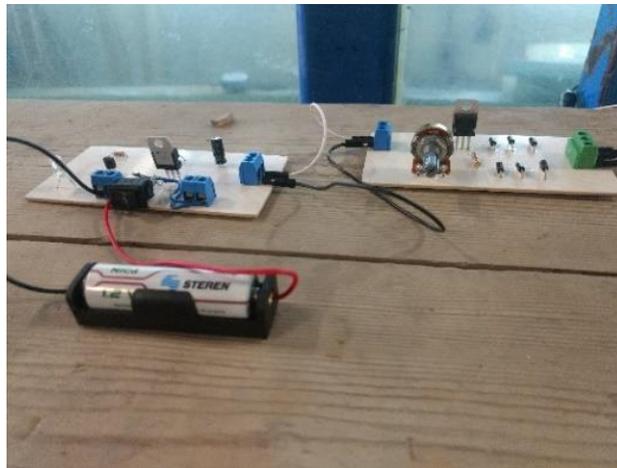


Gráfica 10. Comportamiento de Sensores y Voltajes a 0.80 [m] de profundidad significativa (rango de 50 muestras).



Como se puede observar, en cada una de las gráficas el comportamiento de los sensores con la de voltaje es casi similar debido a que cuando la altura de ola era muy alta y entraba al dispositivo. Éste comenzaba a generar la mayor cantidad de energía, aunque en algunos de los puntos la generación es nula, por otra parte, al realizar un acercamiento en la gráfica de voltajes (gráfica 8,9 y 10) se muestra un voltaje no constante presentando algunos picos de generación máximos y mínimos, los cuales generarían alguna intermitencia en el almacenamiento, pero para el caso de una señal de CD a través del control de corriente esta intermitencia no dañaría las celdas de las baterías. Una ventaja en la construcción del generador es que trabaja con una frecuencia de 60 [Hz] y que a la salida de voltaje se presenta un desfase de  $120^\circ$  en cada una de las tres fases, considerándolo como un sistema balanceado.

La energía entregada con las pruebas indicadas, permitirían realizar el cálculo para conocer el tiempo estimado de carga de los circuitos elaborados.



*Fig. 46. Conexión de circuitos finales para almacenamiento de energía.*

Cada prueba realizada tuvo duración de diez minutos. En cada una se generaban 2 [mV] de almacenamiento, debido a los periodos de tiempo en el cual el dispositivo no generaba ningún tipo de energía.

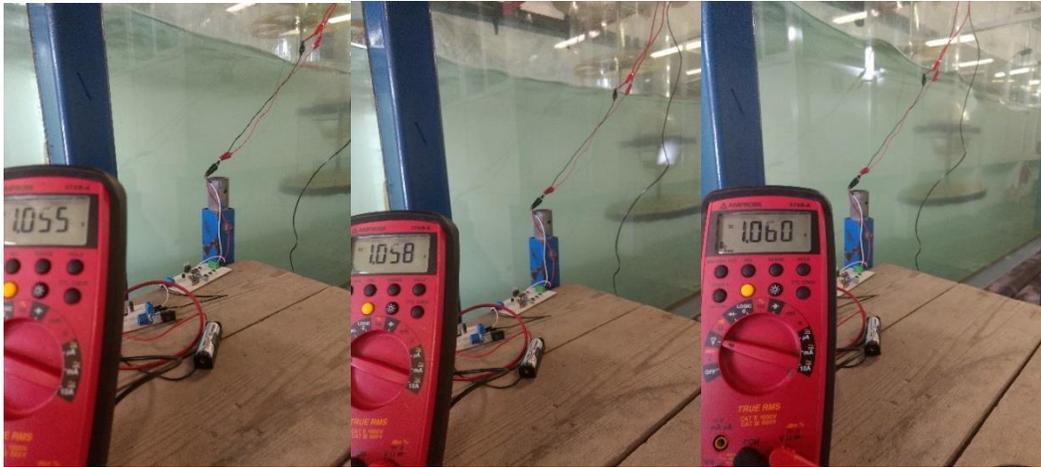


Fig. 47. Muestras experimentales cada 10 minutos de prueba.

Regularmente una batería de Ni-Cd no se encuentra en su totalidad descargada, debido al remanente de voltaje que se puede presentar, por otra parte, suponiendo que la batería se encuentra completamente descargada, es decir a 0 volts, el cálculo para conocer cuánto tiempo tardaría en llegar a su carga máxima (1.2 [V], que es el almacenamiento esperado) se tendría lo siguiente.

$$\text{Si } 2 \times 10^{-3} \text{ V} = 10 \text{ min} \quad (4.7)$$

$$10 \text{ min} (1.2 \text{ V}) = 12 \text{ V} \cdot \text{min} \quad (4.8)$$

$$\frac{(12 \text{ V} \cdot \text{min})}{2 \times 10^{-3} \text{ V}} = 6000 \text{ min} \quad (4.9)$$

$$6000 \text{ min} = \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} = 4.16 \text{ día} \cong 4.5 \text{ días} \quad (4.10)$$

Este resultado indica que se necesitaría de cuatro días y medio para la carga total de la batería, aunque este no sería algún problema, debido a que la energía undimotriz siempre es producida y no se detiene, un sistema de almacenamiento estaría entregando energía después de haber sido cargado, mientras que otro pudiera encontrarse en condiciones de carga.



## 5. CONCLUSIONES Y PROPUESTA A FUTURO.

Para la caracterización del absorbedor puntual tipo columna oscilante, se consideró a un nivel laboratorio, el cual permitió una fácil manipulación, comprendiendo de mejor manera a este dispositivo de prueba, proponer algunas mejoras como podrían ser geométricamente en las medias esferas para poder concentrar un mayor cantidad de flujo de agua en la turbina Wells, o bien en las dimensiones de la columna, ya que al existir una mayor o menor cavidad, el agua podría producir un mayor movimiento de la turbina y por lo tanto, una mayor generación constante, así como la de modificar los circuitos impresos para que cada vez pueda existir la menor pérdida posible, debido a que algunos dispositivos pueden generar una mayor caída de tensión.

El objeto de esta tesis, además de la implementación de un sistema mediante circuitos electrónicos para el acondicionamiento y almacenamiento de energía eléctrica generada por energía undimotriz, es la de tener en cuenta la posibilidad de ser implementarlo para grandes escalas, ya que en algún caso pueda presentarse una generación de energía de 10 MVA por ejemplo, y mediante la implementación de electrónica de potencia, se puedan escalar estos circuitos para ser más eficiente la entrega de la energía considerándola para la conexión futura al sistema eléctrico nacional.

Conocer el grado de importancia que tienen las energías renovables en el mundo, ya que con el paso del tiempo estas pueden ir remplazando la generación de energía eléctrica producida mediante la quema de combustibles fósiles; Una solución a ello es a través de la energía marítima, encontrando muchas de las aplicaciones que se le pueden dar a este tipo de energía, un ejemplo fue la selección de la energía undimotriz para el funcionamiento del dispositivo de prueba, simulándola a través del canal de oleaje, y aunque aún no fuera lo más parecido al oleaje real debido a algunas características, como, el aumentado de la profundidad del canal y el de la altura significativa de la ola, contando con un límite el cual no permitía realizar completamente el ciclo de las 200 olas, debido a las rupturas de olas antes de que estas llegaran a interactuar con el dispositivo, perdiendo parte de la energía en el esfuerzo realizado por la pala mecánica.



Otro factor importante considerado fue el de movimiento ya que pudiera perturbar la generación de energía, tal es el caso de la vibración que pudiera producirse en el dispositivo de prueba generando alto ruido en la captura de las señales digitales de voltaje.

Además de la generación de ruido para la captura de las señales de voltaje, se debe de considerar una buena referencia de tierras, ya que, de no ser así, esta pudiera generar algunas pendientes en la medición de voltajes, tal fue el caso de pocas mediciones realizadas, eliminado ese problema a través de filtros paso altas predeterminados en el programa de LabView.

El uso de filtros es una parte importante en el análisis de sistemas y señales, ya que en México la generación de energía eléctrica se encuentra entre un rango de frecuencia de 60 Hz y que de no ser así debido a la implementación de energías renovables, estas pueden desbalancear al sistema por su generación intermitente y la presencia de armónicos en su señal, generando problemas en las cargas conectas a la red; por tal motivo, un caso de estudio posterior para este dispositivo de prueba, sería el análisis de armónicos presentes en su señal producida con la que se cuenta la mayor energía posible generada, evitando una rectificación CA/CD.



## 6. ANEXOS.

Profundidad h[m]	Altura significante Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$
0.75	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.75	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.75	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.75	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.75	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.75	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.75	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.75	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39
0.70	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.70	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.70	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.70	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.70	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.70	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.70	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.70	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39
0.65	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.65	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.65	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.65	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.65	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.65	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.65	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.65	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39
0.60	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.60	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.60	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.60	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.60	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.60	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.60	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.60	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39



Profundidad h[m]	Altura significante Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$
0.55	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.55	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.55	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.55	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.55	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.55	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.55	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.55	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39
0.50	0.15	0.70	0.77	8.21	0.04	0.34
0.50	0.15	0.90	1.26	4.97	0.06	0.57
0.50	0.15	1.10	1.89	3.33	0.09	0.85
0.50	0.15	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.15	1.50	3.51	1.79	0.18	1.58
0.50	0.20	1.70	4.51	1.39	0.23	2.03
0.50	0.20	1.90	5.64	1.11	0.28	2.54
0.50	0.20	2.10	6.89	0.91	0.34	3.10
0.50	0.20	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.20	2.50	9.76	0.64	0.49	4.39



Profundidad h[m]	Altura significativa Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$
0.75	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.75	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.75	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.70	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.70	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.65	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.65	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72



Profundidad h[m]	Altura significante Hs[m]	Período [s]	Longitud de onda L[m]	Número de onda k	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$
0.60	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.60	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.60	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.55	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.55	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.10	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.13	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.16	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.19	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.21	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.23	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.25	1.30	2.64	2.38	0.13	1.19
0.50	0.10	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.13	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.16	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.19	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.21	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.23	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72
0.50	0.25	2.30	8.26	0.76	0.41	3.72



## REFERENCIAS

- [1] Vortex FdC, *Información modelada de recursos eólicos, para la industria eólica*, Disponible en: <https://vortexfdc.com/>
- [2] Cavia del Olmo Berta, *Explotación del potencial de energía del oleaje en función del rango de trabajo de prototipos captadores*, España, 2016.
- [3] Díaz Toril Francisco, *Generación undimotriz mediante absorbedores puntuales con sistemas hidráulicos de conversión de potencia*, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Sevilla, Sevilla, España, diciembre 2015.
- [4] Castilla Téllez Ana, *Diseño del modelo y Control de un Absorbedor Puntual de columna oscilante de agua utilizado para la conversión de energía undimotriz*, Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, Pamplona, España, junio 2013.
- [5] Hernández Romero Antonio, *Baterías para almacenamiento de energía*, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, enero 2017.
- [6] Guasch Farrás Juan, *Baterías de Ni-Cd. Uso y mantenimiento*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, Barcelona, España, 2016.
- [7] Yi-Hsiang Yu, Ye Li, *A synthesis of numerical methods for modeling wave energy converter-point absorbers*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5 june 2012.
- [8] Sevket Guney Mukrimin, Tepe Yalcin, *Classification and assessment of energy storage systems*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3 november 2016.
- [9] Aguilar González Raquel Janeth, Brito Vázquez Sergio, *Memoria Técnica*, Instituto de Ciencias Físicas UNAM, México, Cuernavaca, Morelos, enero 2018.
- [10] Okuhara Shinya, Takao Manabu, Setoguchi Toshiaki, *Wells Turbine for Wave Energy Conversion*, *Scientific Research*, 13 june 2013.
- [11] Instituto de Ciencia Físicas, *Datos obtenidos de voltaje (V), corriente (A) y potencia (W) a diferente RPM del generador de energía eólica G100S*, UNAM, México, 2018.
- [12] Instituto de Ciencia Físicas, *Planos Mareomotriz*, UNAM, México, Cuernavaca, Morelos, enero 2018.
- [13] Meinert Palle, Andersen Lykke Thomas, *AwaSyS 6 user manual*, Hydraulic Coastal Engineering Laboratory, Aalborg University, december 2014.