



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

www.bdigital.ula.ve
**DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
TURBINAS PARA MAREAS.**

Br. Gilberto Julian Delgado Duran

Mérida, octubre, 2019

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

www.bdigital.ula.ve

**DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
TURBINAS PARA MAREAS.**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

Br. Gilberto Julian Delgado Duran
Tutor: MSc. Ana A. Arraiz B.

Mérida, octubre, 2019

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
TURBINAS PARA MAREAS.**

Br. Gilberto Julian Delgado Duran

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

Dr. Carlos A. Muñoz

MSc. Pedro O. Mora M.

DEDICATORIA

Dedicado al ambiente, el cual sin poder defenderse está siendo destruido por el hombre, ya que el mismo, no sabe que el hombre es de la tierra y no la tierra del hombre.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Dar nombres de todas las personas que me han apoyado a lo largo de mi carrera sería extenso, así que agradezco a todas aquellas personas que me acompañaron en esta etapa importante de mi vida especialmente a mi familia, la cual me apoyo para llegar hasta aquí y a aquellas personas que ya no están conmigo, pero que las enseñanzas que dejaron en vida fueron aliento para seguir adelante.

www.bdigital.ula.ve

Br. Gilberto Julian Delgado Duran. DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TURBINAS PARA MAREAS. Universidad de Los Andes.

Tutor: MSc. Ana A. Arraiz B.

RESUMEN

El uso de la energía mareomotriz no es muy conocido, por lo que es necesario crear una herramienta que ayude a la implementación de este tipo de generación eléctrica, la cual sea capaz de informar si es posible o no la implementación de los equipos necesarios para este método (mareogeneradores), además de los costos que esto implica. Para la creación de la herramienta, se necesitó de conocer los métodos usados para captar energía a través de los mares, como funcionan y principalmente los requisitos que se deben cumplir para la instalación de los equipos. Para facilitar el cálculo de turbinas para las mareas, es necesario usar una herramienta automatizada que permita hacer este cálculo de manera rápida y eficaz, para ellos se diseñó una GUI (Interfaz Gráfico Usuario), a través del programa MatLab, el cual a partir de varios parámetros como: velocidad de las mareas, profundidad de la zona de instalación, demanda de carga, tipo de turbina, distancia del punto de instalación de la turbina al centro de control, los cuales delimitaran si es posible o no la implementación de este método de generación de energía. Como resultado, se podrá obtener la cantidad de costo necesaria para su ejecución y algunos valores como: potencia generada, ubicación de las turbinas, caída de tensión, cantidad de cable necesario para la transmisión de energía desde el punto de instalación al centro de control. Esta herramienta va dirigida a ingenieros, técnicos y cualquier usuario que tenga pocos conocimientos de esta energía renovable.

Descriptor: Energía Renovable. Energía Mareomotriz. Turbinas para las mareas.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
Capitulo	pp.
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TURBINAS PARA MAREAS.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Especificos.....	6
1.4 Metodología.....	7
1.5 Alcances.....	7
1.6 Limitaciones.....	8
2. CONCEPTOS GENERALES SOBRE GENERACIÓN MEDIANTE ENERGÍA MAREOMOTRIZ.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Energía Mareomotriz.....	10
2.2.1 Tipos de Mareas.....	12
2.2.2 Generación Eléctrica a partir de las Mareas.....	12

2.2.3 Principio de funcionamiento para la generación de energía eléctrica a partir de los mares.....	13
2.2.4 Métodos para la captación de Energía a partir de los Mares.....	15
2.2.4.1 Generador para movimiento de las Mareas.....	15
2.2.4.1.1 Clasificación de los Generadores para las Marea.....	15
2.2.4.2 Presa de Marea (<i>TIDAL IMPOUNDMENT</i>).....	17
2.2.4.3 En Lago de Marea.....	17
2.2.5 Empresas Pioneras en el desarrollo de Energía a partir de las Mareas.....	18
2.2.6 Componentes de una turbina para las Mareas.....	21
2.2.7 Proceso de instalación de turbinas para Mareas.....	22
2.2.8 Potencial de la Energía Mareomotriz en Venezuela.....	23
2.3 Demanda de carga.....	25
2.4 Cables para transmisión de potencia.....	27
2.4.1 Clasificación de los cables.....	27
3. Programa CADEMAGIC.....	29
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	29
3.2 Interfaz de usuario.....	29
3.2.1 Técnicas para el diseño de una interfaz gráfica.....	29
3.2.2 Control y Calidad de una interfaz.....	30
3.2.3 MATLAB y GUIDE.....	31
3.3 Procedimiento para la construcción de CADEMAGIC.....	32
3.4 Requisitos para la instalación de las turbinas para mareas.....	32
3.5 Tipos de turbinas seleccionadas para el programa.....	33
3.6 Diseño de prototipo CADEMAGIC.....	37

3.7 Partes de CADEMAGIC.....	40
3.7.1 Portada.....	41
3.7.2 Demanda de Carga.....	44
3.7.3 Parámetros de costa.....	52
3.7.4 Selección de turbina.....	55
3.7.5 Resultados.....	57
3.7.6 Costos.....	58
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	61
4.1 Comparación de la energía mareomotriz con la solar fotovoltaica y la eólica.....	61
4.2 Comparación de programa CADEMAGIC con RetScreen.....	64
4.2.1 Datos de entrada.....	65
4.2.2 Datos de salida.....	66
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	pp.
2.1: Mareas producidas por fuerzas centrífugas y energía gravitacional lunar.....	11
2.2: Efecto conjunto del sol y la luna sobre las mareas.....	12
2.3: Tipos de generadores para las Mareas existentes.....	16
2.4: Presa de marea.....	17
2.5: Disposiciones de la tecnología lago de marea.....	17
2.6: Grupo de turbinas SEAGEN.....	18
2.7: Dimensiones de la turbina SEAGEN.....	19
2.8: Elevación de los rotores del SEAGEN para mantenimiento.....	20
2.9: Turbinas Aquanator™ y Nereus™.....	20
2.10: Turbinas AK1000 y AR1000.....	21
2.11: Componentes de un hidrogenerador.....	22
3.1: Turbina modelo AR1500.....	34
3.2: Turbina modelo TIDEL.....	35
3.3: Turbina ROTTECH.....	36
3.4: Turbina SEAGEN.....	37
3.5: Diseño de portada para el programa.....	38
3.6: Diseño cálculo de demanda de carga.....	38
3.7: Diseño Información de costa.....	39

3.8: Selección de turbinas.....	40
3.9: Portada programa CADEMAGIC.....	41
3.10: Portada, botón de inicio.....	41
3.11: Portada, botón de ayuda.....	42
3.12: Portada, ventana de ayuda.....	42
3.13 Portada, botón salir.....	43
3.14: Portada, confirmación de salir.....	44
3.15: Ventana demanda de carga.....	44
3.16: Ventana demanda de carga, error de demanda menor a 600 kVA.....	45
3.17: Ventana Demanda de carga, error demanda no puede ser cero.....	45
3.18: Ventana Demanda de carga, habilitador de calculadora.....	46
3.19: Ventana Demanda de carga, numero de vivienda.....	47
3.20: Ventana demanda de carga, casilla metros de vivienda.....	47
3.21: Ventana Demanda de carga, numero de aire acondicionado.....	48
3.22: Ventana Demanda de carga, cocina eléctrica.....	48
3.23: Ventana Demanda de carga, horno eléctrico.....	49
3.24: Ventana Demanda de carga, calentador eléctrico.....	49
3.25: Ventana Demanda de carga, secador de ropa.....	50
3.26: Ventaja Demanda de carga, botones anterior.....	50
3.27: Ventana Demanda de carga, botones ayuda.....	51
3.28: Ventana Demanda de carga, botones siguiente.....	51
3.29: Ventana Parámetros de costa, seleccione costa venezolana.....	52
3.30: Ventana Parámetros de costa, costa seleccionada.....	53

3.31: Ventana parámetros de costa, activación de datos manuales.....	53
3.32: Ventana parámetros de costa, botones anterior, ayuda y siguiente.....	54
3.33: Ventana selección de turbina recomendada.....	55
3.34: Ventana selección de turbina, cambio de tipo de turbina.....	56
3.35: Ventana selección de turbinas, botones anterior, ayuda y siguiente.....	56
3.36: Ventana resultados, partes de esta ventana.....	57
3.37: Ventana costos.....	58
3.38: Ventana costos, ¿Desea salir del programa?.....	60

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	pp.
2.1: Comparación de turbinas horizontales y verticales.....	16
2.2: Datos de la velocidad de las Mareas en diferentes coordenadas del Golfete de Coro durante pleamar.....	24
2.3: Datos de la velocidad de las Mareas en diferentes coordenadas del Golfete de Coro durante bajamar.....	24
2.4: Apartado 220.3(A) del CEN.....	25
2.5: Tabla 220.18 del CEN.....	26
2.6: Tabla 220.19 del CEN.....	26
2.7: Distancia segura de profundidad en metros de las zanjas para la instalación de cables subterráneos.....	28
4.1: Características de la energía mareomotriz, eólica y solar fotovoltaica.....	61
4.2: Características de entrada de los programas CADEMAGIC y RETScreen.....	65
4.3: Características de salida de los programas CADEMAGIC y RETScreen.....	66

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tareas en la que el hombre necesita: trasladarse a largas distancias, construir diferentes estructuras dependiendo de la necesidad, actividades las cuales son limitadas si solo se usa la habilidad humana, de allí nace la necesidad de herramientas que permitan superar esos límites. Es por esto, que se necesita de energía, para poder utilizar diferentes equipos que facilitan los trabajos mencionados anteriormente. Entre los recursos energéticos más importante tenemos la generación de energía eléctrica. La necesidad de electricidad cada día va creciendo, por lo que se deben tener medidas para poder mantener la calidad del servicio eléctrico. [1]

La mayoría de los métodos usados actualmente, son los que dependen de la combustión de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; estos, han causado un deterioro considerable al ecosistema, además, de ser recursos limitados en los cuales sus reservas disminuyen cada vez más rápido. Para evitar la contaminación, la cual genera consecuencias como lo es el calentamiento global, y, no agotar rápidamente las reservas de combustible fósil, surgieron las energías alternativas para evitar esta necesidad. De las energías alternativas existe un grupo llamado energías renovables, las cuales se originan de un recurso infinito que el planeta posee, como: los mares, el viento, la luz solar, etc. Para implementar estas energías se carece de herramientas automatizadas las cuales permitan incentivar a los diferentes países, el uso de estas. [2]

En la actualidad, es necesaria la automatización de cualquier cálculo, de esta manera, se eliminan las desventajas que se tienen al hacer los cálculos de manera manual. Esto se logra gracias a los programas computarizados los cuales nos permiten realizar infinidad de cálculos de manera rápida, donde se puede, con sólo cambiar los datos de entradas, realizar operaciones numerosas veces sin tener que hacer los cálculos manualmente cada vez que se cambien los valores de entrada. [3].

El propósito de este trabajo fue crear un prototipo de programa que facilite el cálculo de la posibilidad para instalar turbinas productoras de energía mareomotriz en zonas definidas. En este sentido, el programa determinará dependiendo de valores característicos de distintas zonas, qué tan factible es instalar una o más turbinas generadoras de energía eléctrica a través de las Mareas y así agilizará la implementación de este tipo de equipo.

Para llevar a cabo dicho programa, se desarrolló, a través del programa GUIDE, el cual es una de las funciones del programa MatLab, una interfaz que, a través de ciertos datos, es capaz de calcular la factibilidad para implementar algunos de los tipos de turbinas, los materiales y los costos necesarios para la ejecución de un sistema que genere energía eléctrica a través de equipos, los cuales la obtienen por medio del movimiento de las mareas. Finalmente, para la realización de esta herramienta, se cumplió una investigación proyectiva que siguió un diseño bibliográfico. A continuación, se explica la organización de este trabajo:

En el capítulo I se describe un problema cuyas variables fundamentales son la tecnología (computadoras) y el uso de medios no contaminantes para la producción de energía eléctrica, en este caso, concretamente, las mareas. Aquí se propone y justifica la creación de una herramienta para el cálculo de turbinas para mareas. Además de los objetivos específicos que se cumplieron para alcanzar este propósito, se hace referencia al alcance y limitaciones de este proyecto.

En el capítulo II, se tratan los fundamentos teóricos necesarios para desarrollar el programa que aquí se propone. En este sentido, se explican las mareas, los diferentes tipos de turbinas utilizados para la generación de energía eléctrica a partir de este movimiento marino, así como la interfaz matemática llamada MatLab.

En el capítulo III, se describe el procedimiento que se llevó a cabo para la construcción de la interfaz Cálculo Aproximado De Energía Mareomotriz Gil Creations (CADEMAGIC). Se empieza con el diseño de cada ventana, con cada uno de los datos de entrada. Y se finaliza con el prototipo final de las ventanas del programa, detallando la función de cada una de ellas. Además, se explica el producto de la investigación, es decir, en detalle, se muestra el total funcionamiento del programa resultante, empezando con la presentación de la portada de la interfaz y el proceso que se lleva a cabo a medida que se está cambiando de ventanas.

En el capítulo IV, se realizan las comparaciones entre la energía que se trató en este trabajo, con dos de las más usadas actualmente: la energía eólica y la energía solar fotovoltaica. Además, se presenta una comparación entre el programa resultante CADEMAGIC y RETScreen, un programa con fines similares.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TURBINAS PARA MAREAS

En este capítulo se presentará el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos generales y específicos, limitaciones, metodología, alcance, factores que indican la necesidad, la importancia y lo realizado para resolver lo planteado.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El siglo XXI se conoce como la era de las computadoras, instrumentos que permiten desarrollar herramientas que facilitan cálculos, análisis, almacenamiento, entre otros, todo esto gracias a los lenguajes de programación. El cálculo manual de procesos está quedando obsoleto por las limitaciones que presenta, tales como: altas probabilidades del error humano, la cantidad de tiempo empleada en realizarlos, poca exactitud, etc. Además, muchos lenguajes computacionales anteriores, como por ejemplo Pascal y Excel, están quedando atrás por ser complicados y no poseer facilidades al momento de diseñar alguna herramienta, ya que estos, son limitados y complicados. En este tiempo, existen lo que se conoce como interfaz gráfica, las cuales permiten la fácil interacción entre el usuario y el programa, los cuales, con el uso de lenguajes de programación más avanzados, como: MatLab, C, C++; Python, etc., los cuales son capaces de realizar diversas acciones en poco tiempo.

En esta era de las computadoras y de lo automatizado, es necesario la creación de programas que permitan a cualquier usuario, sin tener amplios conocimientos, ser capaz de llegar a un resultado que le permita, por lo menos, conocer si es posible realizar alguna acción o no.

Por otro lado, el uso excesivo de combustibles fósiles para la producción de energía por combustión, genera gases que perjudican la atmosfera como es el caso del dióxido de carbono, el monóxido de carbono, entre otros, lo cual potencia el efecto invernadero, generando efectos negativos como, por ejemplo, el cambio climático. Pero, además de la combustión, el transporte de estos combustibles genera derrames en los océanos, lo cual perjudica la vida marina. Debido al cambio climático, se producen cambios en las Mareas, el nivel del mar y se generan tormentas poderosas, las cuales imposibilitan el transporte por mar, causa desastres naturales en las costas, entre otros. Otro fenómeno evidente es el deshielo en las zonas más gélidas del mundo [4].

En Venezuela, la implementación de energías renovables es prácticamente nula, ocasionando el desaprovechamiento de recursos que permitirán solventar muchos de los problemas de generación que atraviesa el país. Una de las mejores alternativas es el agua del mar, siendo una de las principales fuentes de energía en el mundo, ya que tres cuartas partes de la tierra están compuestas por océanos. Afortunadamente, Venezuela es un país que presenta una enorme extensión de costas marinas, las cual es un beneficio que no se está usando.

La existencia de una herramienta computacional que, a partir de datos, como la demanda de carga, permitan dimensionar este tipo de turbinas, es una idea innovadora que fomentará el uso de este tipo de energía renovable conocido como energía mareomotriz. Los programas de computadoras son el futuro para la realización de la mayoría de las acciones tanto académicas como industriales, fomentar a la creación de programas capaces de facilitar los procesos, sería un avance considerable.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El uso de programas computacionales es el futuro de todos los procesos, ya que ellos permiten eliminar el error humano. Cuando se realiza algún calculo o proceso tedioso, existe la posibilidad de que ocurra un error, en el caso de que este procedimiento se realice de manera manual, implicaría que se repita dicho procedimiento, además del tiempo que se

pierde al buscar el error que se cometa, caso contrario con un programa de computadora, el cual con solo colocar los datos de entrada es capaz de generar un resultado inmediato o datos de salidas. Además, es capaz de generar múltiples resultados en menor tiempo, con solo cambiar los valores de entrada. A través de una interfaz gráfica, es posible mostrar gran cantidad de diferentes resultados, imprimirlos y guardarlos para ser utilizados en cualquier momento.

Por tal motivo, es necesario el desarrollo de una herramienta computacional que permita realizar diversas acciones, en este caso, dimensionar las turbinas para mareas de acuerdo con la demanda de carga necesaria, permitirá incentivar la implementación de energías renovables en el país.

Esto, por otra parte, evitara la necesidad de especialistas en el área, los cuales necesitan un mínimo tres (3) años de estudio para su preparación, siendo estos escasos. La mayoría de acciones que realizan los profesionales se hacen mediante un software, ya que permite hacer cálculos en corto tiempo y elimina el error humano, siendo este, la comodidad para cualquier acción a realizar, además, facilitaría que cualquier profesional no especialista tenga una estimación inmediata de cómo aplicar esta tecnología.

En el caso de Venezuela, la creación de este tipo de herramienta incentivará su actualización en la producción de energía, que ya a nivel mundial se está observando y, pondrá al país, a la par tecnológicamente en la creación de energía alternativa. En el caso del país, el desarrollo de variedad de herramientas que faciliten factores como el conocimiento de las energías renovables, causara un impacto tecnológico favorable y necesario, ya que Venezuela está quedando atrás en el desarrollo de tecnologías de este tipo, además, desarrollar programas que permitan a la población conocer la importancia que tienen las energías renovables y el evitar contribuir con el cambio climático.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

1.3.1.1 Crear una herramienta para el dimensionamiento de turbinas para mareas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1.3.2.1 Describir las características, funcionamiento y utilidad de la turbina.

- 1.3.2.2 Analizar la estimación de demanda de carga.
- 1.3.2.3 Estudiar los requerimientos para la instalación de este equipo.
- 1.3.2.4 Diseñar la herramienta computacional para su dimensionamiento.

1.4 METODOLOGÍA

Este es un trabajo de investigación proyectiva, ya que consiste en proponer una solución a partir de un proceso de indagación. Implica las acciones de explorar, describir, explicar y proponer una manera de resolver un problema sin una ejecución. El procedimiento para su realización, se explicará a continuación [5]:

Se empezó con la revisión bibliográfica sobre las características, funcionamiento y utilidad de las turbinas para mareas. Luego se pasó a la revisión de los métodos de cálculo de la demanda. Todo esto con el fin de establecer la cantidad de equipos necesarios para optimizar los costos y espacios en su instalación. Una vez concluidas estas etapas, se realizó el estudio de las proporciones adecuadas del terreno donde funcionarán las turbinas para mareas. Posteriormente, se pasará a la determinación de los datos necesarios para instalar de manera eficiente este equipo. Finalmente, se elaboró la herramienta computacional que permitirá indicar, con el ingreso de datos por parte del usuario, los equipos y materiales necesarios para la instalación de las turbinas para mareas.

1.5 ALCANCES

La aplicación de programas computacionales es la vanguardia en la actualidad, ya que se está en la era de los computadores y la automatización. Una herramienta capaz de calcular, a través de datos sencillos como lo es la demanda de carga, la cantidad de turbinas necesarias para suplir las necesidades de un área residencial determinada, estimulara la adquisición de esta tecnología, servirá de incentivo para las generaciones futuras a informarse de la importancia de aprender a programar en alguno de los lenguajes de la época y lo imprescindible que es implementar las energías renovables en el país, ya que esto trae beneficios tecnológicos y ecológicos. El programa se diseñó para abarcar desde la instalación de la turbina hasta la conexión con el centro de control.

1.6 LIMITACIONES

Esta investigación se circunscribe solamente a la energía mareomotriz y, por lo tanto, sus resultados no se pueden extrapolar para otros tipos de energía renovable, como la proveniente del sol o el viento.

No hubo acceso a un parque mareomotriz, lo cual hubiera permitido tener una experiencia directa con este tipo de equipo y con personal capacitado que hubiera dado información de primera mano y, así, proveer una mejor orientación acerca de cómo generar una herramienta completa y de fácil uso.

El cálculo realizado por este software está limitado desde la parte de generación hasta la conexión al centro de control, es decir, abarca solo la parte de generación del sistema.

No todas las costas son aplicables a este tipo de tecnología, deben cumplir con diferentes parámetros para el correcto funcionamiento.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS GENERALES SOBRE GENERACIÓN MEDIANTE ENERGÍA MAREOMOTRIZ

En el siguiente capítulo, se mencionan los fundamentos teóricos necesarios para realizar este trabajo, donde se mencionan los conceptos más importantes y técnicas utilizadas para la elaboración de este trabajo.

2.1 ANTECEDENTES

García [6], realizó estudios acerca de la posible instalación de algún tipo de energía proveniente de los mares en las costas de Cantabria. Para este estudio, se necesitó revisar las condiciones de la mayoría de las áreas que componen esta bahía. La investigación de estas bahías, se basa principalmente en dos parámetros: la amplitud de la marea y la corriente de la marea.

Los resultados obtenidos en este trabajo, revelan que, en las diferentes bahías de Cantabria no es factible la aplicación diversos tipos de generación a partir de los mares, especialmente la presa de marea y los generadores de corrientes de marea, esto se debe a las bajas velocidades de esta costa.

De la anterior investigación, se pudo extraer como aporte que las mareas poseen corrientes, los diferentes tipos de cambios que perciben las mareas en el día, los métodos de captación de energía eléctrica a través de las mareas e información acerca de los parámetros fundamentales para la instalación de generadores de corrientes de marea.

Barea [7], con el objetivo de instalar turbinas del tipo SEAGEN en el estrecho de Gibraltar, realizó estudios de cómo son las mareas en esa zona, realizando estudios económicos, de ubicación y de cuál de las turbinas es la más eficaz para la zona.

Se obtuvo como resultado que la turbina más conveniente en la zona es la de modelo SEAGEN, además de que la zona posee velocidades de 1,5 m/s, el estrecho de Gibraltar es una zona con potencial de las mareas aprovechable para el país de España.

Del anterior trabajo, se obtuvo información de las diferentes turbinas que se utilizan para la generación de energía eléctrica por este método, además de las empresas y diferentes proyectos que se encuentran en ejecución.

Rutlant y Mery [8], con el fin de aplicar esta tecnología en Chile, realizaron estudios de las diferentes costas de Chile, comprobando datos batimétricos necesarios para el eficaz funcionamiento de los diferentes mareogeneradores, además, estudiar factores como: impacto ambiental, costos, diseño del sistema, zona de navegación, datos relevantes del lugar, entre otros.

Como resultado, se obtuvo que el canal de Chacao, es un recurso importante para Chile en el caso de generación de energía eléctrica a partir de los movimientos de las mareas, ya que cumple con los requisitos necesarios para la implementación de mareogeneradores, además, de poseer características de conexiones favorables.

La anterior investigación, fue de importancia, ya que posee la información de los aspectos necesarios para elegir el lugar de instalación de las turbinas, aspectos que influyen tanto en la eficacia de esta tecnología, como en los costos que puedan traer consigo la implementación de los mareogeneradores.

2.2 ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Las mareas son movimientos de masas de agua originados principalmente por el efecto gravitacional de la luna y el sol sobre la tierra, siendo el efecto de la luna superior que el efecto del sol, debido a que, la luna, con un menor tamaño que el sol, está más próxima a la tierra. Además de estos, otro factor que influye en las mareas, es el efecto centrífugo de la

tierra y la luna. El eje de rotación relativo entre la tierra y la luna no se encuentra en el punto medio de la separación que hay entre ambos cuerpos, sino que se encuentra más próximo a la tierra. El giro entre estos dos cuerpos produce una fuerza centrífuga, relativamente mayor en los mares ubicados en el lado de la tierra más alejado de la luna, elevando el nivel del mar y produciendo lo conocido como pleamar, al igual que los mares que están de frente a la luna como podemos observar en la figura 2.1 [6].

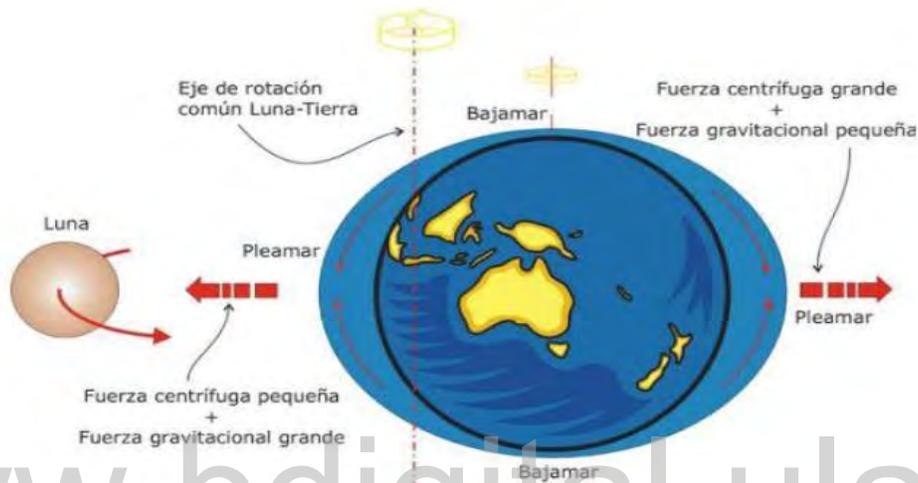


Figura 2.1: Mareas producidas por fuerzas centrífugas y energía gravitacional lunar.
Fuente: Google imágenes.

En las partes del mar donde no se tiene la luna de frente y en su lado opuesto las mareas son menores, a las que se denomina bajamar. Estos ciclos mencionados anteriormente varían cada seis (6) horas entre una bajamar y una pleamar aproximadamente, y, de doce (12) horas para que se repita una misma fase del mar, es decir, entre pleamares o bajamares [6].

Durante las fases de luna nueva y luna llena, en el momento que la luna y el sol se encuentran alineados en un mismo eje, donde las ondas solares y lunares se suman, se originan las conocidas mareas de primavera, mareas vivas o mareas de Sicigias, debido a esto, se producen pleamares más altas y bajamares más bajas que las promedio. Por otro lado, cuando el sol forma un ángulo recto con la luna, de noventa grados (90°), las fuerzas que generan el sol y la luna son opuestas, lo que hace que la amplitud de las mareas sea menor. A este tipo de marea le conocemos como mareas muertas o mareas de cuadratura. Un ejemplo de esto se puede observar en la figura 2.2 [6].

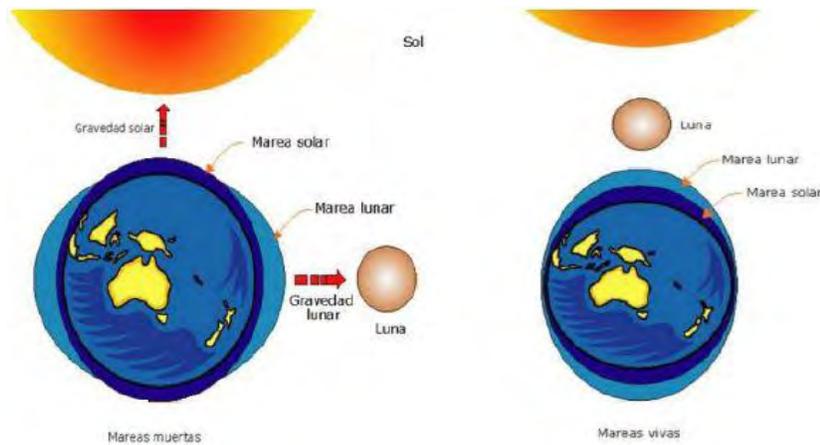


Figura 2.2: Efecto conjunto del sol y la luna sobre las mareas. Fuente: Google imágenes.

2.2.1 TIPOS DE MAREAS

Existen varios tipos de mareas según el lugar del planeta en donde la persona se situó y el tipo de viento característico del lugar:

- *Semidiurnas*: pueden observarse dos pleamares y dos bajamares en un día lunar, el cual tiene veinticuatro (24) horas y cincuenta (50) minutos. Cada seis (6) horas y trece (13) minutos se produce una baja o un aumento en las mareas. Este es el tipo de marea más común [6].
- *Diurnas*: son típicas en zonas cerca del ecuador, donde, son zonas de baja latitud. Solo cuenta con una pleamar y una bajamar en cada día lunar, donde sus cambios ocurren cada doce (12) horas y veinticinco (25) minutos [6].
- *Diurnas irregulares*: cuentan con una pleamar y una bajamar en un día lunar, pero con la característica que, se producen con diferentes alturas y con diferentes tiempos de un día a otro [6].
- *Mareas Mixtas*: son mareas donde algunos días se pueden encontrar una bajamar y una pleamar, y también, encontrar dos bajamares y dos pleamares [6].

(Explicar funcionamiento de energía mareomotriz)

2.2.2 LA GENERACION ELÉCTRICA A PARTIR DE LAS MAREAS

Este proceso de generar energía eléctrica a partir de las mareas es similar al realizado por aerogeneradores, los cuales extraen electricidad a partir de los vientos, siendo ineficaces en comparación con una turbina para mareas, ya que, por poseer el agua una diferencia de

densidad considerable con respecto al viento, además que el mar es predecible con años de anticipación, apunta mucho al futuro prometedor que posee la energía mareomotriz. Dicho proceso se explicará a continuación:

- *Sistema de captación*, está conformado por palas del rotor, capturan el movimiento del agua que choca con ellas, lo cual genera movimiento en ellas, transmitiendo su potencia a través de un eje baja velocidad, el cual está conectado con la multiplicadora [6].
- *El sistema mecánico*, está compuesto principalmente por una multiplicadora, la cual es un sistema de engranajes que hace que el eje secundario gire varias veces más rápido que el eje principal, lo que permite mantener una velocidad constante en el eje que se conecta con el generador eléctrico, es decir, este sistema garantiza la velocidad de giro necesaria para la etapa siguiente la cual se explicará a continuación [6].
- *El Sistema de generación eléctrica* está conformado principalmente por el generador eléctrico. Esta es la etapa final en la producción de energía a partir de los mares. El generador eléctrico capta el movimiento mecánico que se genera en el eje proveniente de la multiplicadora, transformándolo en energía eléctrica. Estos generadores operan en voltajes de 46 kV aproximadamente. En esta etapa concluye la parte de transformación del potencial de los mares a energía eléctrica [6].
- *El sistema de trasmisión* está formado por cables submarinos que transportan la energía producida por las etapas mencionadas anteriormente hasta tierra [6].
- *El sistema de control y monitoreo* es el encargado de, dependiendo del uso que se le quiera dar a esta energía, transportarla a su destino, además, es el encargado de visualizar el correcto funcionamiento de las turbinas para mareas [6].

Las etapas mencionadas anteriormente constituyen los mínimos pasos que se deben llevar a cabo para la extracción de energía eléctrica a partir del potencial que tiene el movimiento de los mares (energía mareomotriz).

2.2.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LAS MAREAS

Es posible aprovechar los movimientos horizontales de agua que se visualizan en las costas, ríos, bahías, etc., producidos por la subida y bajada de las mareas. Las Mareas suelen ser más intensas en canales estrechos. Se han diseñado ciertos equipos (turbinas), muy similares a las

turbinas eólicas, las cuales son sumergidas entre treinta (30) y cien (100) metros, y aprovechan estos movimientos del mar para generar electricidad. Debido a la alta densidad del agua, las turbinas para este tipo de ambiente suelen ser más pequeñas que las turbinas eólicas [9].

Uno de los prototipos de estas turbinas son las del proyecto SEAGEN. El movimiento de las hélices es transmitido a un generador a través de engranajes. Debido a que el generador se encuentra en la cima de la turbina, la cual sale del nivel de mar, esto facilita el mantenimiento. A través de un cable submarino en el fondo, se hace llegar la energía producida por estos equipos a la costa [9].

La manera de aprovechar la energía cinética de los mares es la misma a la del viento, el análisis de dicha energía es el siguiente:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Siendo m la masa en kilogramos, v la velocidad en de las Mareas en metros/segundos y E la energía en Joules [6].

La potencia, siendo energía por unidad de tiempo, es decir, la potencia existente por unidad de área para un flujo de agua se puede expresar como [6]:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (2)$$

Donde A es el área de las Mareas interceptada por la turbina, es decir, el área barrida en metros cuadrados, ρ es la densidad del agua (para el mar de 1000 kg/m^3 y P es la potencia en Watts [6].

Por la diferencia de densidad que tienen el agua del mar y el viento, una central mareomotriz con menos velocidad genera la misma potencia que una central eólica, al igual que con una menor área [6].

Las mareas no son constantes, varían en cada lugar. Como la densidad de potencia depende del cubo de la velocidad de las Mareas, no se puede obtener una velocidad media de la corriente, sino que se debe calcular una media de las densidades de potencia con las distintas velocidades que componen dicha distribución [6].

2.2.4 MÉTODOS PARA LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS MARES

Existen varios métodos al momento de captar la energía que producen las Mareas, entre estos, se encuentran los siguientes:

2.2.4.1 GENERADOR PARA MOVIMIENTO DE LAS MAREAS

Los generadores para las mareas (tidal stream generators), usan el movimiento de las Mareas para activar las turbinas y generar energía, de manera similar, a cómo lo realizan las turbinas eólicas. Este método es el más popular actualmente debido a su bajo costo y un bajo impacto ambiental con respecto a las represas [6].

2.2.4.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES PARA LAS MAREAS

Dependiendo del alineamiento del rotor con respecto al flujo de las Mareas, existen diferentes tipos de turbinas:

- *Turbina de eje horizontal:* son parecidos a los aerogeneradores. Estas se colocan en las profundidades del mar, máximo a unos 100 metros. Las mareas pasan a través de las aspas haciendo, hacer girar los rotores alrededor de un eje horizontal y así genera energía. [7]
- *Turbina de eje vertical:* las Mareas provoca que la turbina gire a través de su eje vertical, lo cual produce energía [6].
- *Hidrodeslizadores recíprocos:* poseen un brazo oscilante unido a un hidropiano. El cambio de las mareas producido por las Mareas gira el brazo, haciendo que oscile lo cual crea energía [6].
- *Dispositivos con efecto Venturi:* estos dispositivos dirigen el agua a conductos, aumentando la velocidad del agua. El flujo de agua que resulta, puede hacer girar una turbina directamente o se puede generar una diferencia de presión para impulsar una turbina de aire [6].

- *Cometa de marea*: posee una turbina debajo del ala y está atada al lecho marino. En las mareas, la cometa vuela. Para aumentar la velocidad del agua que pasa a través de la turbina, la cometa desciende en forma de ocho (8) [6].
- *Tornillo de Arquímedes*: tiene forma de sacacorchos, siendo un aparato helicoidal. A medida que sube las Mareas, atraviesa la espiral que provoca el giro de las turbinas generando energía [6].

En la figura 2.3, se pueden observar los generadores mencionados anteriormente, ordenados de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

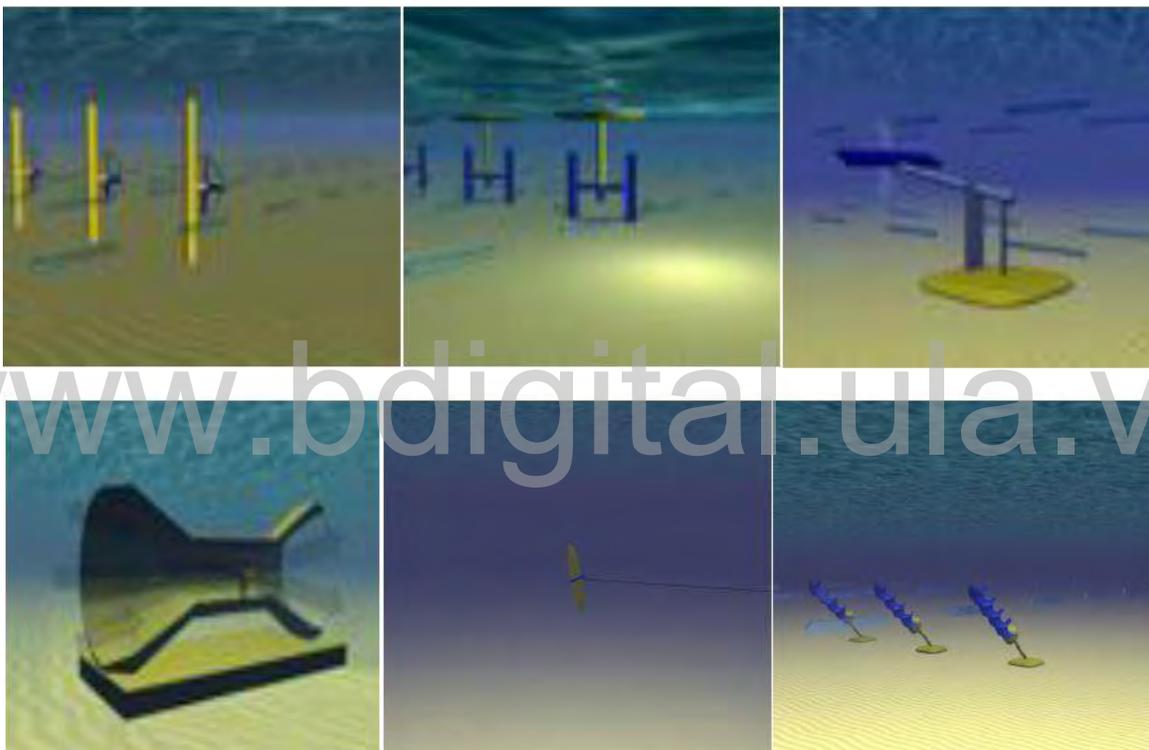


Figura 2.3: Tipos de generadores para las mareas existentes [6].

Tabla 2.1: Comparación de turbinas horizontales y verticales [6].

TURBINAS DE EJE HORIZONTAL	TURBINAS DE EJE VERTICAL
• Diseño complejo	• Simplicidad de diseño
• Alto coste	• Menor coste
• Emisiones de ruido altas	• Menores emisiones de ruido
• Alto par de arranque	• Bajo par de arranque
• Alta eficiencia	• Baja eficiencia
• Fáciles de controlar	• Difíciles de controlar
• Instalación complicada	• Instalación fácil
• Tecnología muy conocida	• Tecnología no muy conocida.

2.2.4.2 PRESA DE MAREA (TIDAL IMPUONDMENT)

Este tipo de captación de energía se beneficia de la diferencia de altura entre una marea alta y una marea baja. Las presas son diques colocados a lo ancho del espacio de almacenamiento de agua, obligando a que, en los cambios de mareas, el agua pase a través de las turbinas colocadas en la presa. Posee varios problemas, como lo son sus altos costos en cuanto a infraestructura civil, escasez mundial de sitios viables para su implementación y sobre todo el alto impacto ambiental que provoca, lo que hace poco factible su instalación [6].



Figura 2.4: Presa de marea [6].

2.2.4.3 EN LAGO DE MAREA

Tienen similitud a las presas de mareas, pero, se pueden construir como estructuras autosuficientes, ya que, no necesitan cubrir todo el estuario lo que implica disminución de costos e impactos globales. Pueden hacerse varias divisiones del embalse, configurarlo, y así, generar un poco más de potencia. Se necesita alto margen de diferencia entre la marea baja y la marea alta para que sea factible esta tecnología [6].



Figura 2.5: Disposiciones de la tecnología lago de marea [6].

2.2.5 EMPRESAS PIONERAS EN EL DESARROLLO DE ENERGÍA A PARTIR DE LAS MAREAS

A continuación, se presentan las empresas pioneras en este tema:

Marine Current Turbines Ltd: es una empresa adquirida por Siemens en 2012, que se encarga de la búsqueda, fabricación, desarrollo y mantenimiento en el área de sistemas de generación para mareas, considerándose la empresa principal en este ámbito [7].

La SEAGEN, la creación principal de dicha empresa, es una turbina de eje horizontal con dos rotores gemelos y con una capacidad de potencia de 1,2 Mega Watts (MW). Fue puesta en el mercado en el año dos mil ocho (2008) y es la turbina más popular, la cual genera e inyecta directamente a la red energía eléctrica. El nuevo desafío de esta empresa es poder agrupar muchas de estas turbinas en un espacio más reducido y así trabajando conjuntamente, maximizar la generación de potencia eléctrica [7].



Figura 2.6: Grupo de turbinas SEAGEN [7].

El SEAGEN es el modelo líder mundial en hidrogeneradores y ha entregado a la red británica más de 800MWh (mega watts por hora). Dicha turbina consta de dos rotores idénticos, con dos palas, montados sobre una base de acero y algunas de sus características son:

- Numero de rotores: 2
- Diámetro de rotores: 15-20 m.
- Área barrida por los rotores: 630 m^2 .
- Velocidad de corte: $0,7 \text{ m/s}$.
- Potencia del rotor: 600-1000 kW.
- Capacidad nominal para velocidad de 2 m/s : 1,1 MW.
- Peso total del dispositivo: 394 toneladas.
- Voltaje del generador: 480 V o 690 V.
- Vida útil: 20 años.

Su cabina sale del mar aproximadamente unos 10 metros donde, en su extremo, se encuentra la cabina de mandos [7].

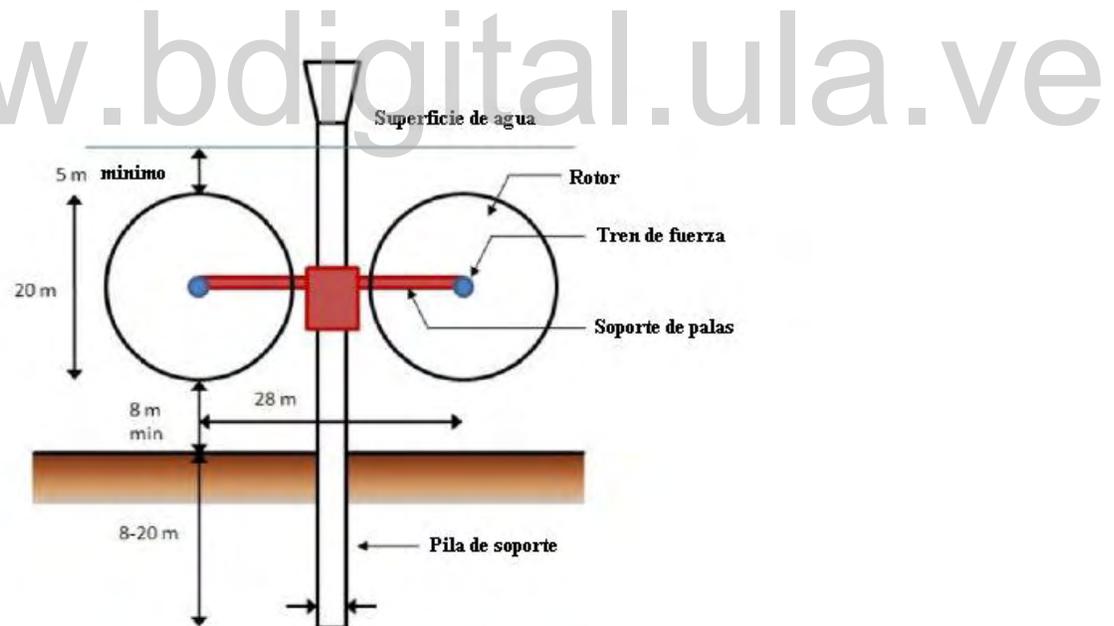


Figura 2.7: Dimensiones de la turbina SEAGEN. Fuente: google imágenes.

Una característica que sobresale de este modelo sobre los demás, es su fácil mantenimiento, ya que como podemos observar en la figura 2.8, este diseño posee un elevador hidráulico con

la capacidad de hacer emerger los rotores por encima del mar, y así, evitar cualquier accidente debido a las fuertes corrientes de los mares de la zona [7].

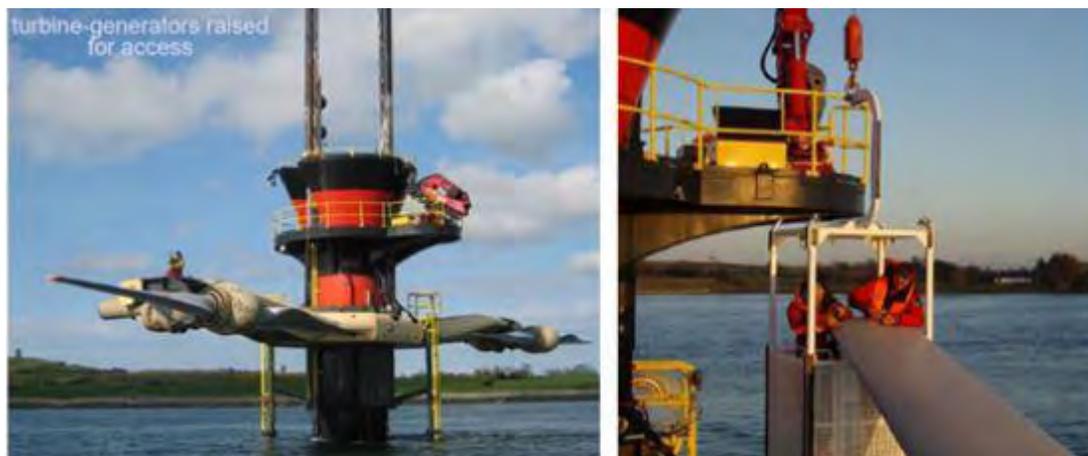


Figura 2.8: Elevación de los rotores del SEAGEN para mantenimiento. Fuente: google imágenes.

Atlantis Resource Corporation Ltd: esta empresa surgió en Australia en 2006. Sus principales proyectos se desarrollan en el Reino Unido. Con más de una década de experiencia, posee variedad de turbinas las cuales se pueden ver en la Figura 2.9 y 2.10 [7].

Algunos de sus diseños son: el Aquanator™ de 100 kW y, su mejora, el Nereus™ de 150 kW, ambos con resultados factibles. Uno de sus principales diseños fue la AK1000, de donde se originaron la AR1000 y la AR1500, ambas turbinas de eje horizontal, con capacidad de 1000 kW y 1500 kW respectivamente, funcionando con un rotor (a diferencia del modelo K1000), gracias a un mecanismo de giro que permite a la serie AR aprovechar el flujo de la corriente en sus dos direcciones [7].



Figura 2.9: Turbinas Aquanator™ y Nereus™. Fuente: google imágenes.



Figura 2.10: Turbinas AK1000 y AR1000. Fuente: google imágenes.

Algunas características del modelo AR1500 son [7]:

- Rango de operación (velocidad de la marea): 3 m/s a 5 m/s .
- Longitud de la turbina: 12 m .
- Peso de la turbina: 150 toneladas.
- Diámetro del rotor: $20,4\text{ m}$.
- Potencia a generar: 1500 kW .
- Voltaje de salida: $4,16\text{ kV}$.
- Eficiencia del generador: 97%.
- Método de enfriamiento: pasivo, es decir, con el agua marina.

2.2.6 COMPONENTES DE UNA TURBINA PARA LAS MAREAS

La función principal de un hidrogenerador es la de transformar la energía cinética de las Mareas en energía eléctrica, esto gracias al mismo principio que siguen los aerogeneradores. El movimiento de las masas de agua, lo que provoca el movimiento del rotor gracias a sus aspas, acciona la caja de cambios, esta, trasmite el movimiento a un generador eléctrico, el cual se encarga de transformar dicha energía en electricidad [7].

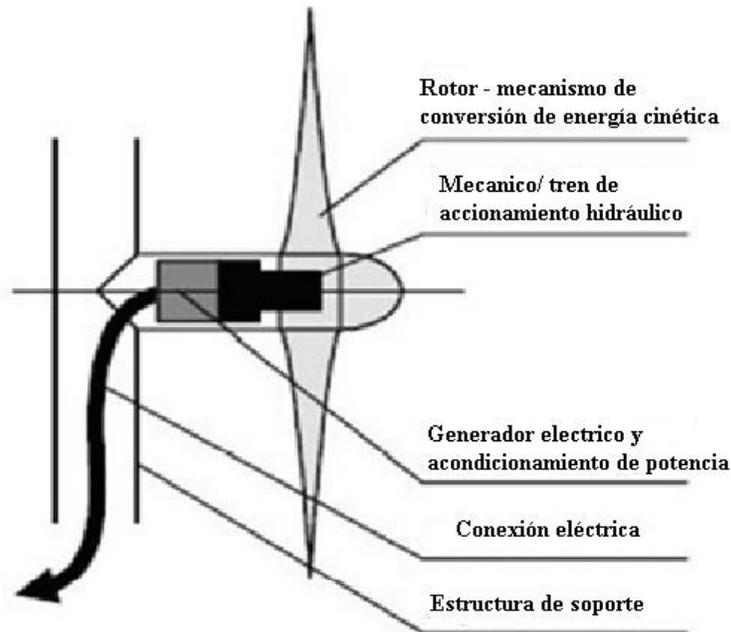


Figura 2.11: Componentes de un hidrogenerador. Fuente: google imágenes.

Debido a los ambientes hostiles donde son instalados los hidrogeneradores, como ríos, estuarios marinos y océanos, se necesita que dichas turbinas posean una robustez y resistencia que las haga aptas para soportar estas condiciones y no necesitar de mantenimiento constante [7].

2.2.7 PROCESO DE INSTALACIÓN DE TURBINAS PARA MAREAS

Al momento de ubicar un equipo como este, se deben tomar en cuenta ciertos aspectos desde la necesidad de desarrollar este tipo de tecnología, hasta las condiciones técnicas que se necesitan para la instalación y desempeño de estos generadores. Entre los criterios más importantes tenemos los siguientes:

- *Distancia al centro de consumo:* en este término, lo primero que se debe hacer es identificar si la transmisión es terrestre o submarina, ya que la submarina posee un costo mayor. Luego estimar la distancia entre la zona de generación y la zona donde se pudiese conectar de al sistema de transmisión si ese fuera el caso [8].
- *Condiciones apropiadas para la generación:* en la mayoría de los prototipos se debe tomar en cuenta lo siguiente [8]:
 - Velocidades mínimas superiores a 1 m/s.

- Corrientes de origen marino (debido a que son un recurso renovable y predecible).
- Profundidades entre 10 – 50 *m*.
- *Batimetría*: en la mayoría de los prototipos hasta ahora, se han desarrollado para profundidades entre 20 y 30 *m*. A pesar de que existen prototipos para profundidades mayores, esto afecta al momento de los costos de mantenimiento y de instalación de los mismos [8].
- *Mecánica de suelos*: es importante conocer las características del suelo donde se fundarán los dispositivos, tomando en cuenta los cambios morfológicos que puedan formarse con los cambios de velocidad de las mareas [8].
- *Aspectos constructivos*: actualmente, los dispositivos existentes son de gran envergadura y peso, difícilmente separables, por lo que, se deben analizar las características de los puertos cercanos donde se recibirán y almacenarán los componentes antes de ser enviados a su ubicación final. Además, se debe analizar la disposición de la maquinaria acorde con los pesos y dimensiones en la localidad seleccionada [8].
- *Conflictos*: es importante destacar que los equipos ocupan un espacio considerable, pudiendo dificultar tareas de pesca y navegación. Además, se deben realizar estudios de su impacto en la flora y la fauna del área seleccionada [8].

2.2.8 POTENCIAL DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN VENEZUELA

Venezuela posee más de 500.000 km^2 de costas marinas y submarinas del mar Caribe. Desde Punta La Peña (estado Sucre) hasta Punta Playa (estado Delta Amacuro) es la costa venezolana sobre el océano atlántico, siendo una extensión de 1008 *km*. En esta gran extensión de territorio marino, el país tiene el privilegio de explotar todos los recursos existentes en el área. Además de que en zonas marinas Venezuela posee reservas petroleras, los mares y océanos ofrecen otras fuentes de energía producto del movimiento de agua, las cuales pueden ser aprovechadas por el país. En Venezuela, se presentó la iniciativa de aprovechamiento de energía proveniente de las olas por la empresa Nova Oceanic Energy Systems, la cual diseñó un prototipo interesante. Este dispositivo trae consigo una ventaja, ya que, funcionando como rompeolas, disminuye los procesos erosivos sobre el litoral. Pero, para la implementación de cualquier energía alternativa en este país, es necesario hacer un

estudio con las tecnologías que existen actualmente. La creación de un organismo que se encargue de implementar políticas de energías alternativas en Venezuela, daría un impulso importante al país en este tema [10].

En cuanto a la adaptación tecnológica de los mareogeneradores, si se realiza un estudio a las características oceanográficas y geológicas de la costa venezolana, se puede lograr un mejor aprovechamiento de las Mareas y, por lo tanto, de la energía que ellas pueden producir [10].

A continuación, se muestran, en la tabla 2.2 y 2.3, datos tomados por el Instituto de Oceanografía de Venezuela, donde cabe a destacar, que se hicieron en el mes de marzo, donde las velocidades son mínimas en comparación con el mes de abril, donde los vientos son más fuertes lo que implica velocidad de las mareas superiores, además que son mediciones de la superficie y subsuperficie, siendo a más profundidad mayores las Mareas [10].

Tabla 2.2: Datos de la velocidad de las Mareas en diferentes coordenadas del Golfete de Coro durante pleamar [11].

Coordenadas (longitud)		Velocidad (cm/s)
E	N	
19 372 737	1 283 414	9,77
19 373 222	1 282 959	26,62
19 373 690	1 282 404	34,94
19 374 117	1 282 006	34,21
19 375 210	1 281 710	49,07
19 375 047	1 281 016	75,69
19 375 006	1 280 474	29,65
19 375 854	1 280 003	30,04
10 376 330	1 279 487	12,66
Promedio de velocidad (cm/s)		33,63

Tabla 2.3: Datos de la velocidad de las Mareas en diferentes coordenadas del Golfete de Coro durante bajamar [11].

Coordenadas (longitud)		Velocidad (cm/s)
E	N	
1937279	1283506	42,94
19373200	1282964	50,56
19373638	1282499	58,63
19374094	1281968	71,23
19374342	1281463	110,74
19374933	1280993	90,58
19374941	1280488	57,89
19375786	1279962	20,85
19376210	1279587	49,73
Promedio de velocidad (cm/s)		64,46

2.3 DEMANDA DE CARGA

Es la cantidad de energía que demanda una vivienda o un conjunto de ellas, donde se sigue una serie de normas, dependiendo del país, por cuestiones de seguridad, comodidad y flexibilidad del servicio. Para establecer las normas a seguir para la demanda de carga, se usará el Código Eléctrico Nacional (CEN) y se hará mención de los apartados de demanda de carga residencial usados a la hora de realizar el programa.

En este trabajo, el cálculo de demanda de carga va destinado al área residencial, para el cálculo de esta, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Primero se debe conocer el espacio de la vivienda, para poder delimitar la cantidad de salidas de iluminación y tomacorrientes.
- Se debe conocer la cantidad y el tipo de artefactos electrónicos que se desean colocar en la vivienda, para así, poder delimitar la cantidad de equipos que necesiten tomas especiales.
- Luego de conocer lo mencionado anteriormente, se deben seguir los pasos establecidos en el Código Eléctrico Nacional (CEN), donde se siguen las tablas que se muestran más adelante.
- Para finalizar, se debe conocer la cantidad de viviendas, para así según las tablas del CEN, poder estimar la vivienda.

Los cálculos de demanda deben realizarse como lo exige el método y el CEN, para así poder disfrutar de un servicio confiable.

En el apartado 220.3 parte (10), se habla de las unidades de vivienda donde se sigue la siguiente tabla para la carga de iluminación de una vivienda [12].

Tabla 2.4: Apartado 220.3(A) del CEN [12].

Tipo de local	Carga unitario Voltamperios por metro cuadrado
Auditorios y salas de armas	11
Bancos	39
Barbería y salones de belleza	33
Iglesias	11
Clubes	22
Juzgados	22
Unidades de vivienda	33

Luego en el apartado 220.3(B)(10), se dice que se incluirá una carga unitaria de once (11) VA por metro cuadrado para las salidas de tomacorrientes de uso general cuando se desconozca el número real de tomacorrientes y se tomara el 100 % de la carga para los primeros 10 *kVA* más el 40 % para la cantidad de carga restante, según el apartado 220.30 (B) [12].

En el caso de secadoras eléctricas, en el CEN, como se puede ver en la tabla 2.5, se encuentran los factores de demanda a tomar en cuenta en el programa.

Tabla 2.5: Tabla 220.18 del CEN [12].

Número de secadoras	Factor de demanda (%)
1-4	100
5	85
6	75
7	65
8	60
9	55
10	50
11	47
12-22	$\% = 47 - (\text{No. De secadoras} - 11)$
23	35
24-42	$\% = 35 - [0.5 \times (\text{No. De secadoras} - 23)]$
De 43 en adelante	25

Para el caso de las cocinas eléctricas, hornos eléctricos, se tiene la tabla 2.6, donde se muestran los factores de demanda de carga para cada uno de ellos. En cuanto a la carga de los equipos de aire acondicionado, se tomará el 100 % de su valor nominal de placa, como lo establece el apartado 220.30 (C) (1) [12].

Tabla 2.6: Tabla 220.19 del CEN [12].

Número de aparatos	Columna B (Régimen 3½ kW a 8¾ kW)	Número de aparatos	Columna B (Régimen 3½ kW a 8¾ kW)
1	80 %	10	34 %
2	65 %	11-15	32 %
3	55 %	16-20	28 %
4	50 %	21-25	26 %
5	45 %	26-30	24 %
6	43 %	31-40	22 %
7	40 %	41-50	20 %
8	36 %	51-60	18 %
9	35 %	61 en adelante	16 %

2.4 CABLES PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Son conductores realizados con cobres de alta pureza, en la mayoría de los casos, los cuales sirven para la transmisión de corriente eléctrica gracias al aislamiento que estos poseen, además sirven para pasar comunicaciones telegráficas y de control [13].

Partes de un cable de transmisión: entre las partes principales se tiene:

- *Conductor:* es un material, en su mayoría metales, con la capacidad de trasladar carga de un lugar a otro gracias a la composición de este, es decir, a la gran cantidad de electrones libres [13].
- *Aislante:* son materiales con alta resistencia al paso de corriente, es decir, se opone al flujo de electrones a través de él [13].

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES

Los cables tienen diferentes clasificaciones, dependiendo de sus características:

Según número de conductores que poseen: dependiendo del uso destinado del cable, este puede poseer uno o más conductores. En el caso de un circuito monofásico, poseerá un solo conductor llamado activo y en algunos casos un cable adicional de puesta a tierra. En los circuitos de transmisión de energía eléctrica es común conseguir circuitos trifásicos, lo que obliga a usar cables con 4 conductores donde existirán 3 fases activas y una neutro, o también, un solo cable con los 4 conductores en su interior. Los sistemas de cables submarinos pueden estar compuestos por cables monopolares o tripolares, dependiendo del uso y de los costos de implementación [13].

Según el tipo de ambiente: se pueden clasificar en tres tipos:

- *Cables de transmisión submarinos o subacuáticos:* se utilizan en el mar, los ríos o lagos para llevar energía eléctrica o sistemas de información principalmente a islas, plataformas marinas, generación en el mar, etc. [13].
- *Cables de transmisión subterráneos:* son para el uso bajo tierra. Se pueden enterrar directamente o ser colocados en ductos previamente construidos para este fin [13].

Los cables subterráneos tienen la capacidad de ser enterrados, cumpliendo ciertas normativas de profundidad, directamente en zanjas, debido a que estos poseen protección

de agentes externos, los cuales evitan el daño de estos por humedad o cualquier otro factor que pueda deteriorarlos [13].

Tabla 2.7: Distancia segura de profundidad en metros de las zanjas para la instalación de cables subterráneos. [14]

Tensión Eficaz (volt)	Distancia mínima en metros
0 a 24	0,00
De 24 a 1 000	1,00
Más de 1 000 a 66 000	3,00
Más de 66 000	5,00

- *Cables de transmisión aéreos:* su uso principalmente se debe a medidas de seguridad, ya que, al estar suspendidos en el aire, su aislamiento es mayor, cumpliendo con normas internacionales y siguiendo lo establecido en el Código Eléctrico Nacional. [13]

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 3

PROGRAMA CADEMAGIC

En este capítulo, se explicará el tipo de trabajo realizado, además, el proceso de diseño del programa. Los pasos que se llevaron a cabo para su creación, se explicaran a continuación.

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación de tipo proyectiva. De acuerdo con [2], en este tipo de investigación se proponen soluciones sobre la base de un estudio sistemático y el resultado puede ser, por ejemplo, un diseño, un programa, o un invento. En este caso, se creó un software.

Por otro lado, su diseño es documental, ya que se siguieron, básicamente, fuentes impresas (libros, tesis y trabajos de grado), y digitalizadas (páginas web, libros, revistas científicas) para la obtención de información [18]

3.2 INTERFAZ DE USUARIO

Una interfaz de usuario es un medio de comunicación entre una persona que representa al usuario de un sistema informático. El tema de las interfaces entre humano maquina se han transformado en un área de investigación importante para el desarrollo de la sociedad. Una interfaz debe ser amigable, esto se refiere a su facilidad de uso, es decir, mientras la interfaz sea fácil para una mayor población de usuarios. La facilidad de uso está relacionada con otro concepto, la interactividad, la cual se refiere a la comunicación entre usuario e interfaz. Un interfaz gráfico usuario se abrevia con las siglas GUI [15].

3.2.1 TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA

A continuación, se encuentran algunas de las técnicas que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar una GUI [15]:

- Acertada combinación de códigos comunicativos distintos: visual (icono), verbal, auditivo. El objetivo es optimizar el proceso de comunicación entre la interfaz y el usuario
- Correcta organización y estructuración de la interfaz con un orden jerárquico.
- La utilización de símbolos conocidos en la vida cotidiana para abarcar mayor población de usuarios.
- Una estrategia alternativa es realizar una investigación exhaustiva en los dominios más usados, con el fin de lograr clasificar los iconos más usados.
- Generar la mayor cantidad de ayudas textuales y gráficas.
- Proporcionar ayudas procedimentales, simulando asesoramiento de un experto.

Para que una interfaz tenga éxito, se debe diseñar para satisfacer las necesidades, preferencias de los distintos tipos de usuarios y que cumplan con el nivel de exigencia técnica que posea la población a la que va dirigida la GUI.

3.2.2 CONTROL Y CALIDAD DE UNA INTERFAZ

Para mantener un control de calidad alto al momento de la creación de una interfaz de deben seguir los siguientes pasos [15]:

- Identificar las necesidades de los diferentes usuarios a los que va dirigida la interfaz.
- Por medio de encuestas, conocer el grado de satisfacción de los usuarios.
- Crear indicadores claros y sencillos que permitan realizar la medición de calidad de la interfaz.
- Aunque no exista un acuerdo absoluto entre algunos aspectos, criterios e indicadores que midan la calidad de la interfaz, debe cumplir en la mayoría posible con características como: utilidad, amigabilidad, claridad, comprensibilidad, legibilidad, eficiencia, utilidad, simplicidad, entre otros.

Algunos problemas frecuentes presentes en una interfaz son los siguientes:

- Los objetivos del usuario y de la maquina no son los mismos.
- La información presentada no es suficiente.
- Desconocimiento de los controles del programa.

- Controles complejos que originan confusión.
- Navegación a través del programa complicado y tedioso.
- Lentitud en la comunicación.

3.2.3 MATLAB Y GUIDE

MatLab es la principal herramienta de cálculo usada en todas las ramas de las ciencias e ingeniería y es famosa en todas las universidades del mundo. Posee gran variedad de paquetes de programas capaz de ejercer muchas funciones en el campo de la economía, estadística, cálculo, etc. Es un programa versátil, ya que posee compatibilidad con la mayoría de sistemas operativos existentes, como Windows, Linux y Mac, además, tiene la posibilidad de utilizar y reconocer variedad de lenguajes y generar código para C, Visual Basic, Excel, etc. Además, posee la capacidad de transformar los códigos en diferentes lenguajes. [16]

Una interfaz gráfica es una forma de vínculo entre el usuario y cualquier programa computacional, gracias a un conjunto de comandos o menús, los cuales son instrumentos para facilitar la interacción con el programa mientras ejecuta operaciones que el usuario desea realizar, mejorando la entrada y salida de información. Una interfaz es la parte más fundamental del programa, ya que dependiendo de lo explícita que sea, facilitará o no el entendimiento del usuario inexperto con éste. Puede que se realice un programa muy poderoso, pero sin la interfaz adecuada, éste podría convertirse en un software pobre. [16]

GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) es un juego de herramientas que cuenta con el soporte de MatLab, creado para facilitar el diseño y presentación de controles de la interfaz, reduciendo la complejidad de seleccionar, tirar y personalizar propiedades. Una vez que los controles se posicionan, se usan las funciones de llamadas (CallBack) de cada uno de ellos, escribiendo el comando o código de MatLab que se ejecutara. GUIDE está diseñado para hacer menos tedioso la aplicación de una interfaz gráfica. Entre sus poderosos componentes se tiene el editor de propiedades (property editor), el cual está disponible en cualquier momento que se esté usando los controles de MatLab. El beneficio de usar GUIDE es notorio, ya que evita la ejecución de código de MatLab sin necesidad de cumplir la incómoda sintaxis funcional necesaria cuando se trabaja desde la línea de órdenes. Es el usuario quien elige en qué orden se ejecutarán las funciones del

programa. Otra ventaja que tiene GUIDE, es la capacidad de mantener abierta la ventana de interfaz mientras se está programando el código. [17]

El desarrollo de GUIDE se hace en dos etapas:

- Diseño de la ventana con los diferentes componentes (controles, menús y ejes) que formaran el GUIDE. [17]
- Realización del código necesario para la respuesta de cada uno de los componentes ante la interacción del usuario. [17]

3.3 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CADEMAGIC

Para la realización de un software, se debe conocer en un primer momento, los datos de entrada necesarios para ejecutar los procesos correspondientes a la función del programa. En el caso de un programa para el cálculo de turbinas para mareas primero, se debe empezar por establecer la información que determinará cuántas y cuáles turbinas se usarán dependiendo de la demanda de carga.

Demanda de carga: inicialmente, debe facilitarse al usuario una casilla donde se introduzca cuál es la demanda de carga, o, en su defecto, una herramienta (calculadora), la cual permitirá al usuario conocer la demanda de carga aproximada. Para esto se debe cumplir con ciertos requisitos:

- Seguir las normas establecidas en el Código Eléctrico Nacional (CEN).
- Como el programa va destinado a residencias, la calculadora debe poseer la información sobre los artefactos eléctricos comunes en una vivienda como aire acondicionado, calentador, cocina eléctrica, etc.

Al tener el cálculo de la demanda de carga, este valor debe guardarse en una variable, para ser manipulado por el programa.

3.4 REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN DE LAS TURBINAS PARA MAREAS

Además de la demanda de carga, las turbinas para mareas requieren de algunos requisitos para su funcionamiento, los cuales son:

- *Profundidad del mar:* estas turbinas tienen un límite de profundidad de operación, en su mayoría, se encuentran entre los treinta (30) metros y los cien (100) metros. El usuario debe colocar este parámetro para que el programa pueda delimitar si cumple o no con el requisito de profundidad de cada turbina.
- *Velocidad de las Mareas:* cada turbina necesita de una velocidad mínima de operación, la cual debe ser colocada en el programa para ser procesada en una variable, y así, comprobar si cumple o no con lo requerido por el equipo.

Para facilitar al usuario el uso del programa, puede colocarse la información de algunas costas del país, que cumplen con los requerimientos mínimos de las turbinas. Así, se podría recomendar la turbina conveniente dependiendo de la costa seleccionada.

Lo anterior son los datos que proporcionarían la información necesaria para la selección de la turbina. Otro dato de entrada que se debe pedir al usuario, es la distancia existente entre la ubicación de la turbina y la costa, de esta manera es posible calcular el calibre del cable que transmite la energía generada por la turbina hasta la costa, y, también, conocer si cumple con las normas de caída de tensión.

3.5 TIPOS DE TURBINAS SELECCIONADAS PARA EL PROGRAMA

Las condiciones de las costas son desiguales, por lo que debe existir variedad de turbinas, para así, poder adaptarse a los diferentes tipos de costas. Para ello, se seleccionaron las siguientes turbinas:

- *AR1500:* esta turbina pertenece al proyecto AR, dirigido por la empresa Atlantis Resource Corporation. Este tipo de equipo puede ser instalado a profundidades de hasta cien (100) metros, siendo una de las que puede instalarse a mayor profundidad. Opera entre velocidades de 1 m/s y 5 m/s aproximadamente. Esta turbina es recomendada para altas profundidades y velocidades rápidas de las Mareas para su mejor desempeño. Forma parte de las turbinas más avanzadas, funcionan en ambos sentidos de la corriente y poseen rotores pequeños lo cual permite el paso, a ciertas profundidades, del tráfico marino por la zona donde son instaladas. Otro fuerte es que su mantenimiento se realiza cada siete (7) años. La ilustración de dicha turbina la podemos ver a continuación:



Figura 3.1: Turbina modelo AR1500.

- *TIDEL*: son turbinas menos complejas y de bajo costo. Se usan para bajas profundidades entre dieciocho (18) y cuarenta (40) metros. Pueden funcionar con bajas velocidades a partir de 0,7 m/s. Se requiere de diversidad de turbinas para cumplir en su mayoría con las necesidades del usuario, esta, sería la turbina característica para velocidades bajas, profundidades de pocos metros y de bajo costo en comparación con las demás. Su mantenimiento se realiza cada dos (2) años, donde la turbina se desmonta para su revisión, llevándola a un taller para dejarla óptimamente operativa nuevamente. Este tipo de turbinas posee palas fijas, pero a pesar de ello, pueden funcionar con un amplio rango de velocidades. Su costo aproximado, tomando en cuenta los materiales que se necesitan para ser interconectada al sistema, con una producción de 100MW es de 2840 USD/kW.

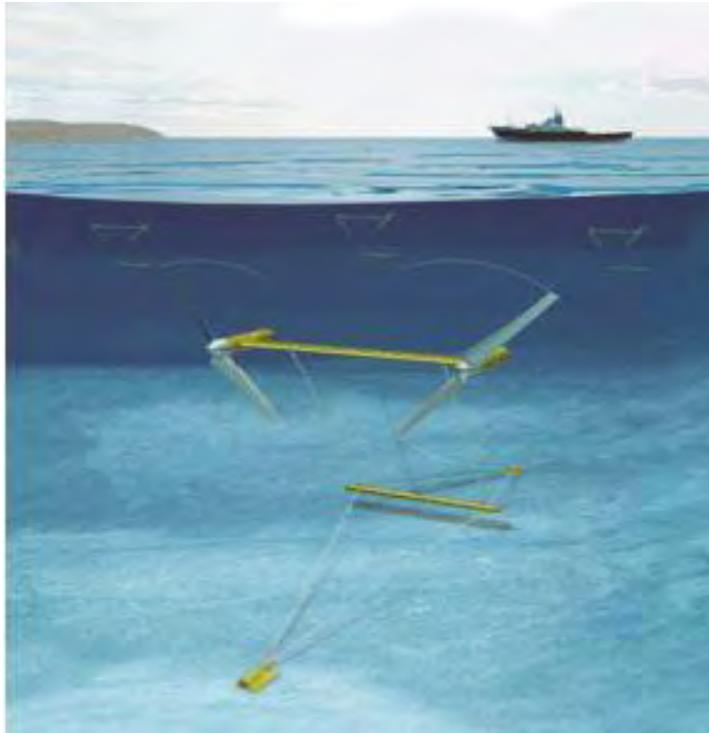


Figura 3.2: Turbina modelo TIDEL.

- ROTECH TIDAL TURBINE (RTT)*: es una turbina de eje horizontal la cual va ubicada en el fondo marino. Tiene un tubo alargado el cual permite aprovechar de manera eficaz las Mareas. Tiene palas regulables y caja de engranajes para mantener la frecuencia de generación requerida por el sistema de interconexión. Es una turbina removible, es decir, fácil de desanclar del fondo del mar para su mantenimiento, el cual se realiza cada 4 años. Es una turbina que funciona con velocidades de entre 1 m/s a 3,1 m/s, posee sistemas que la permiten funcionar con variaciones de la dirección de la corriente, para esto, posee un control de direcciones. Debido a que instalar un sistema automático incrementaría el gran tamaño de la turbina, posee unos tubos que la direccionan de manera normal a las Mareas para aprovechar su máximo rendimiento. Aunque no es muy común que las Mareas estén cambiando de dirección, esta turbina es la indicada para ese tipo de corrientes. La eficiencia general de esta turbina es del 66%, siendo un porcentaje alto para este tipo de equipo. Una característica favorable es que este artefacto posee la cualidad de detectar el 99,9% de las fallas que se puedan generar.

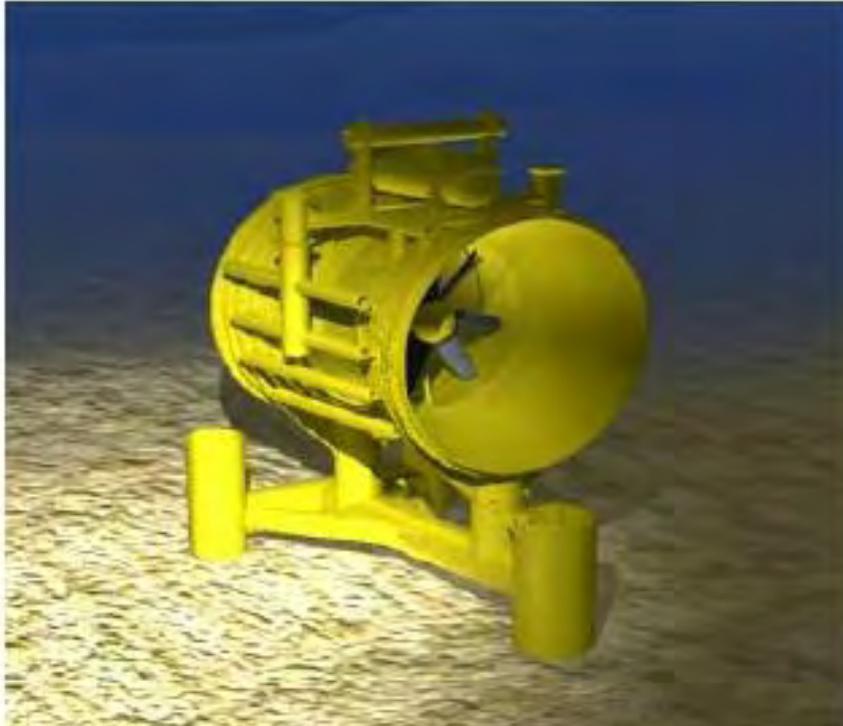


Figura 3.3: Turbina ROTECH.

- *SEAGEN*: la turbina SEAGEN cuenta con dos rotores, los cuales generan 1 MW de potencia cada uno. Es la turbina que lidera el mercado, siendo la más eficiente y antigua en este tema. Es simple su sistema, consta de dos palas que pueden rotar 180 grados y funciona en ambos sentidos de la corriente. Su funcionamiento es el más similar al de los aerogeneradores. Funciona con velocidades de entre 0,7 m/s y 2,5 m/s. como las demás turbinas, su voltaje de salida es de 11 kV. La turbina es totalmente sellada, por lo que el generador y todos sus componentes son sumergibles. Tiene un alto rendimiento: 94% la caja de engranajes y de 96% la eficiencia del generador. Su sistema de enfriamiento es manejado por la misma temperatura del mar, la cual refresca los generadores eléctricos. En cuanto al mantenimiento, anualmente se emergen los rotores para limpiarlos de cualquier desperdicio marino, pero, cada cinco (5) años se espera un mantenimiento a profundidad, cambiando el rotor, el cual puede ser usado luego por otro SEAGEN. Se calcula que la turbina está operativa 11 meses del año, eso quiere decir un 93% de lo que corresponde a un año. Lo que la hace la turbina más comercial son los años de experiencia que tiene esta tecnología, además es resistente a las tormentas marinas, por lo que tiene una vida útil prolongada de 20 años, la cual puede alargarse dependiendo de la cantidad

de olas de mediana magnitud a las que se someta. En cuanto a la corrosión, existen buenos tratamientos los cuales previenen este efecto negativo.



Figura 3.4: Turbina SEAGEN.

Al momento de construir cada ventana del programa, se debe tener presente todo lo mencionado anteriormente, para así, con dichas entradas, el programa tenga la capacidad de procesar la información y poder arrojar los resultados.

Finalmente, todo programa debe presentar una portada, en la cual se presente su nombre de dicho programa y con una opción, donde el usuario pueda conseguir ayuda o información acerca de lo que el programa es en sí, además de poseer opciones sobre iniciarlo o cerrarlo.

Para la creación del programa se planteó inicialmente el siguiente esquema:

3.6 DISEÑO DE PROTOTIPO CADEMAGIC

Luego de plantearse el prototipo anterior, se realizó una investigación bibliográfica profunda, además, se buscó un modo para facilitar el manejo del programa al usuario y hacerlo mucho más completo. Finalmente, el último diseño fue el que se describirá a continuación:

Para describir el diseño del programa, se mostrarán pequeños diagramas de flujo, donde se explicará el diseño de cada una de las ventanas que contendrá el software.

El programa iniciará con una portada que contiene 3 opciones a elegir (figura 3.5):

- *Iniciar*: esta opción iniciará al programa.
- *Salir*: esta opción cerrará al programa.
- *Ayuda*: esta opción facilitará al usuario información, la cual le ayudará a comprender este tipo de energía renovable.

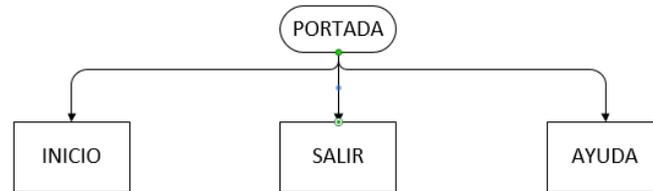


Figura 3.5: Diseño de portada para el programa

En la figura 3.6, se observa el diagrama de diseño de la segunda ventana, en donde se colocará la demanda de carga, o, de no conocerse, se contará con una calculadora que facilitará el cálculo de la demanda según lo establecido en el Código Eléctrico Nacional.

En la parte de la figura 3.6 llamada selección de datos, se encontrarán los artefactos eléctricos más comunes en las viviendas como aire acondicionado, calentador eléctrico, cocina eléctrica, etc., donde el usuario seleccionara qué equipos hay o no en el modelo de vivienda, además, los metros cuadrados de la vivienda y la cantidad de ellas. A partir de esto, la calculadora le dará un valor estimado de demanda para el cálculo de la turbina.

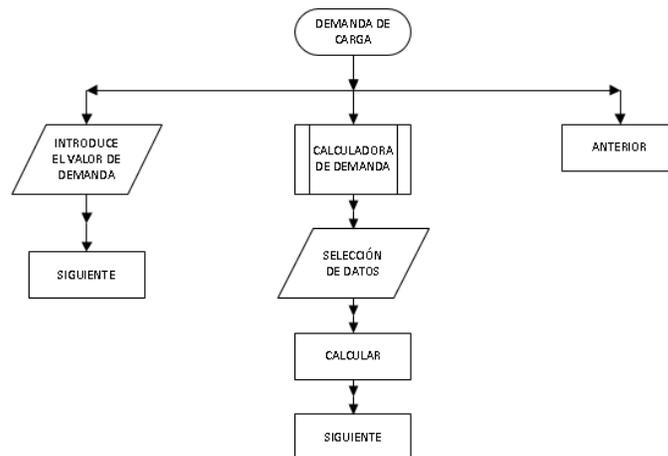


Figura 3.6: Diseño cálculo de demanda de carga.

La parte de diseño información de costa que se ven en la figura 3.7, se refiere a que el usuario tendrá dos maneras de ingresar estos datos:

- Una forma será seleccionando alguna de las costas precargadas en el software, donde se encontrarán datos sobre las costas venezolanas. Las costas que se encontrarán precargadas serán las que cumplen con los requisitos mínimos de al menos una de las turbinas.
- La otra forma consistirá en introducir directamente los requisitos en el programa, los cuales son: velocidad de las Mareas, distancia desde la costa a la turbina, distancia de la costa a donde se quiere colocar el centro de control y la profundidad del área donde se desea instalar la turbina.

Luego de seleccionar o introducir los datos anteriores, el programa comparara dichos valores con los mínimos requeridos por las turbinas, y, seleccionara la turbina que se adapte de mejor forma a los requisitos introducidos.



Figura 3.7: Diseño Información de costa.

En esta fase del programa (figura 3.8), se mostrará la turbina recomendada. El programa seleccionará automáticamente la turbina que se recomienda de acuerdo a los datos introducidos, además, permitirá al usuario cambiar de tipo de turbina por la de su preferencia.

Antes de mostrarse en pantalla los resultados, ocurren ciertos procesos de cálculo:

- Dependiendo de la demanda de carga, el programa determinara cuantas turbinas son necesarias para cubrir dicho aspecto. Cada turbina tiene un nivel de generación diferente,

al seleccionar una de ellas, se dará el número de turbinas necesarias para cubrir la demanda de carga en su totalidad.

- Dependiendo de la distancia de la costa hasta donde se va a instalar la turbina, calculara los metros de cable submarino necesarios y su respectiva caída de tensión.
- Dependiendo de la distancia de la costa hasta el posible lugar donde se podrá construir el centro de control, el programa calculara cuantos metros de cable subterráneo serán necesarias y cuantos metros de canalización subterránea se necesitarán para dicho cable.
- Calculara la posición de la cantidad de turbinas que se necesiten para cubrir la demanda, cumpliendo con la distancia requerida para eliminar cualquier efecto negativo, provocando así, el máximo desempeño del grupo de turbinas.
- Luego hará un cálculo de costos los cuales van a variar dependiendo de las turbinas que sean necesarias.

Al finalizar con todos los procesos mencionados anteriormente, se mostrará la ventana de resultados, donde se encontrarán todos los valores calculados por el software.

www.bdigital.ula.ve

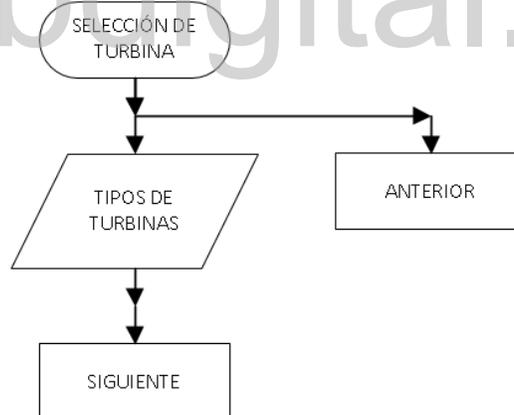


Figura 3.8: Selección de turbinas.

3.7 PARTES DE CADEMAGIC

A continuación, se explicará a detalle el funcionamiento de cada una de las ventanas, mencionando la función de cada uno de los botones y procesos que realiza cada una de ellas:

3.7.1 PORTADA

El programa recibe el nombre de CADEMAGIC y su presentación se muestra a continuación:



Figura 3.9: Portada programa CADEMAGIC.

El nombre detallado se puede observar en la figura 3.9, donde se encuentra la primera ventana que encontraremos al iniciar el programa. Consta de tres (3) botones los cuales realizan las siguientes funciones:



Figura 3.10: Portada, botón de inicio.

Al presionar el botón de inicio como se observa en la figura 3.10, el programa pasará de la portada a la siguiente página, la cual se mostrará más adelante.



Figura 3.11: Portada, botón de ayuda.

El botón de ayuda (figura 3.11), el programa nos pasara a la ventana de ayuda de la portada (figura 3.12).

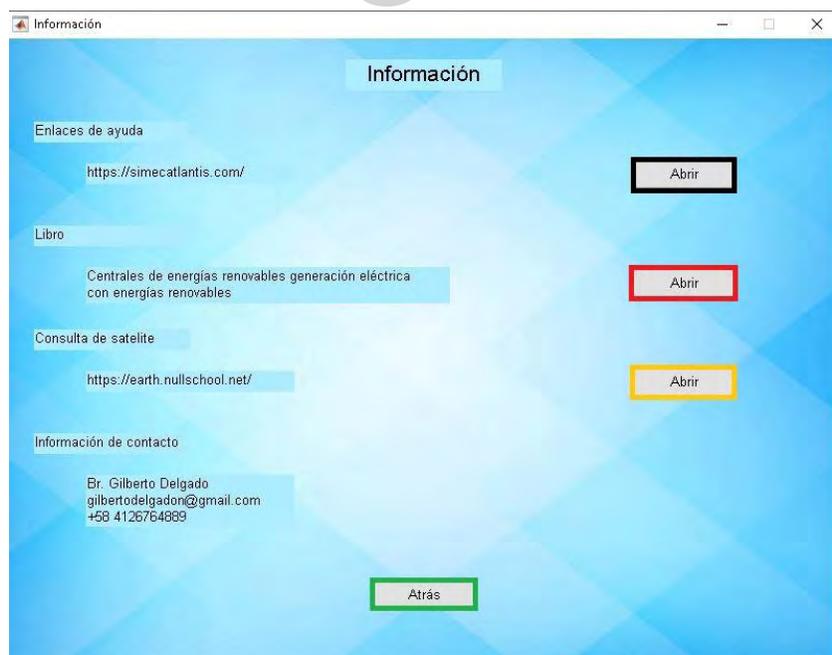


Figura 3.12: Portada, ventana de ayuda.

Los botones que pertenecen a la ventana de información de la portada (figura 3.12), se han subrayado de colores diferentes para su explicación:

- Si se presiona el botón abrir subrayado en negro, el programa dirigirá al usuario a la página web de la mayor empresa comercializadora de turbinas para mareas donde podrá encontrar información acerca de estas.
- Al presionar el botón abrir subrayado en rojo, se tendrá acceso a un libro, el cual su referencia se podrá observar en el [9], en la parte de bibliografía. Este libro contiene información de las diferentes energías alternativas que existen en el mundo.
- El botón abrir subrayado en amarillo direcciona al usuario a una vista de satélite, para consultar la velocidad de las Mareas y otros parámetros en tiempo real, resaltando que la velocidad de las corrientes es superficial.
- Haciendo clic en el botón atrás subrayado de color verde, el usuario volverá a la pantalla de inicio o portada.

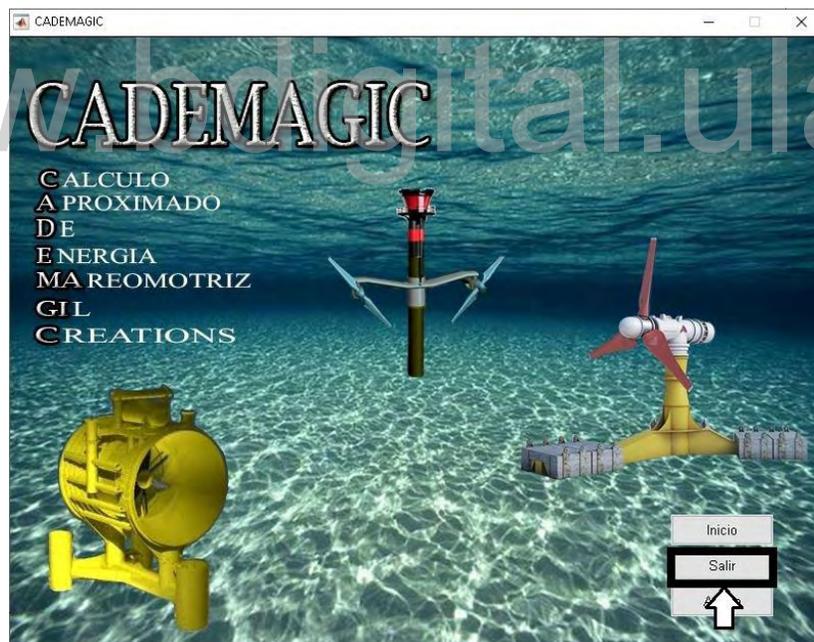


Figura 3.13: Portada, botón salir.

Al presionar el botón salir subrayado en negro (Figura 3.13), el usuario deberá confirmar si desea o no salir del programa como se muestra en la Figura 3.14 a continuación:

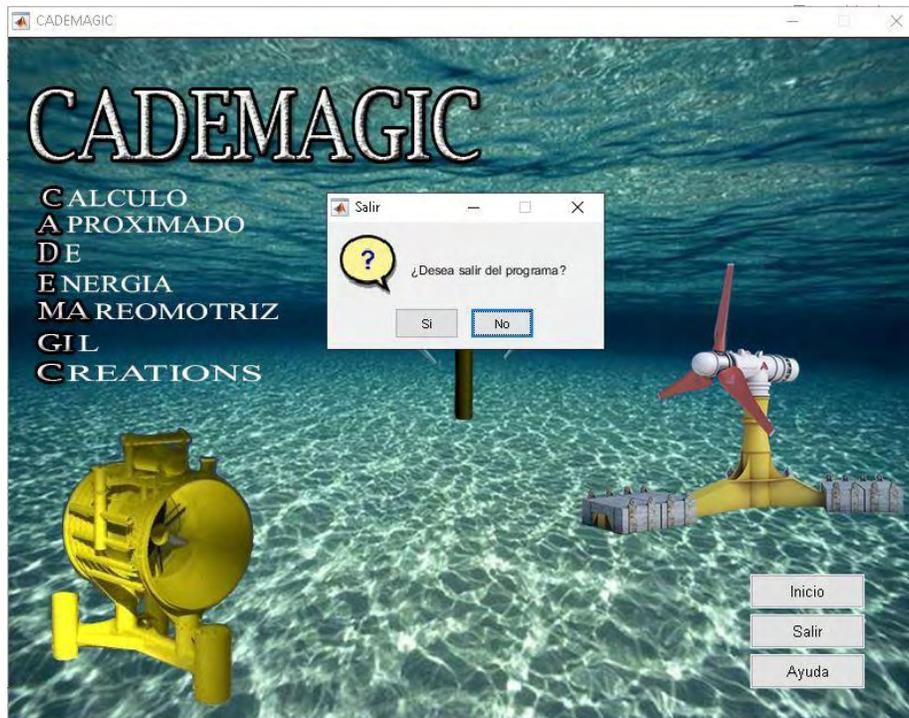


Figura 3.14: Portada, confirmación de salir.

Si el usuario presiona “sí” (figura 3.14), el programa se cerrará, de lo contrario al presionar “no”, solo se cerrará la ventana de confirmación.

3.7.2 DEMANDA DE CARGA

A continuación, la presentación de la ventana encargada de la demanda de carga (figura 3.15).

Figura 3.15: Ventana demanda de carga.

En la casilla remarcada (figura 3.15), es donde se introduce el valor de demanda de carga que debe ser mayor a 600 kVA, de lo contrario el programa mostrara un mensaje de error indicando que el valor debe ser mayor a 600 kVA, como se muestra en la figura 3.16:



Figura 3.16, Ventana demanda de carga, error de demanda menor a 600 kVA.

Otro de los errores que se pueden presentar en esta ventana es cuando el usuario deja en cero el valor de la casilla “Ingrese la demanda de carga”, donde el programa indicara al usuario que la demanda no puede ser cero (figura 3.17). Hasta que el usuario no coloque en la casilla de demanda de carga mencionada anteriormente un valor que este dentro de los parámetros del programa (mayor a 600), no podrá procesar la información para realizar el cálculo correspondiente a esta sección.

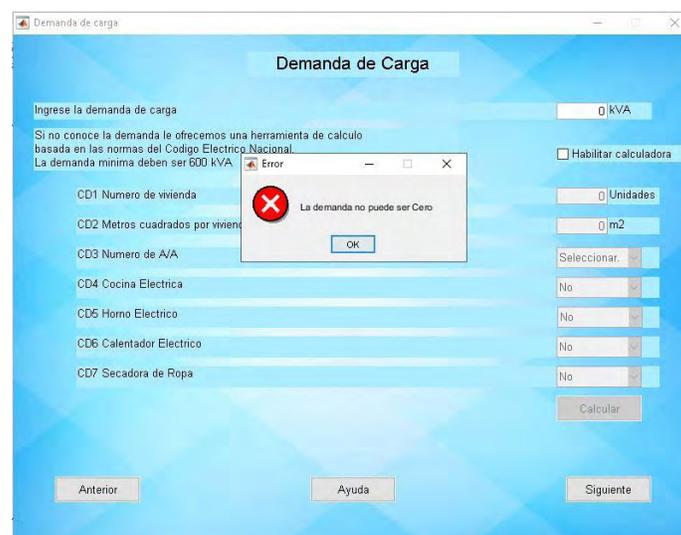


Figura 3.17: Ventana Demanda de carga, error demanda no puede ser cero.

Por otra parte, si el usuario no conoce la demanda de carga, el programa tiene la cualidad de calcularla a partir de saber ciertos parámetros, como lo son el número de viviendas, los metros cuadrados habitables de la vivienda, y, la selección de si la vivienda posee o no ciertos equipos electrónicos comunes como lo son los aires acondicionados, cocina eléctrica, horno eléctrico, calentador eléctrico y secadora de ropa. A partir de estos valores, dependiendo de lo que el usuario seleccione, el programa realizara el cálculo de demanda de carga y lo colocara en la casilla correspondiente, pero, para habilitar la calculadora, el usuario debe presionar el check “habilitar calculadora” (figura 3.18). La calculadora de demanda de carga está basada en todo lo establecido en la norma COVENIN 200 o conocido como Código Eléctrico Nacional.

Demanda de carga

Demanda de Carga

Ingrese la demanda de carga

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA

Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda

CD2 Metros cuadrados por vivienda

CD3 Numero de A/A

CD4 Cocina Electrica

CD5 Horno Electrico

CD6 Calentador Electrico

CD7 Secadora de Ropa

Calcular

Anterior Ayuda Siguiente

Figura 3.18: Ventana Demanda de carga, habilitador de calculadora.

A continuación, se dará explicación a cada uno de los parámetros de la calculadora encontrada en la ventana demanda de carga:

Demanda de carga

Demanda de Carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m2

CD3 Numero de A/A Seleccionar. ▾

CD4 Cocina Electrica No ▾

CD5 Horno Electrico No ▾

CD6 Calentador Electrico No ▾

CD7 Secadora de Ropa No ▾

Calcular

Anterior Ayuda Siguiete

Figura 3.19: Ventana Demanda de carga, numero de vivienda.

En la figura 3.19, podemos observar lo encerrado en el recuadro negro, donde se debe colocar el número de viviendas que posee la residencia a la cual queremos calcular la demanda de carga.

Demanda de carga

Demanda de Carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m2

CD3 Numero de A/A Seleccionar. ▾

CD4 Cocina Electrica No ▾

CD5 Horno Electrico No ▾

CD6 Calentador Electrico No ▾

CD7 Secadora de Ropa No ▾

Calcular

Anterior Ayuda Siguiete

Figura 3.20: Ventana demanda de carga, casilla metros de vivienda.

La casilla recubierta en el recuadro negro (figura 3.20), se debe colocar los metros habitables de la vivienda en metros cuadrados, para el cálculo de demanda de luminarias y tomacorrientes de uso general. Los metros habitables de la vivienda son aquellos donde está construida dicha edificación, omitiendo el patio o jardín de dicha vivienda, es decir, solo la casa.

The screenshot shows the 'Demanda de carga' window with the following fields and values:

- Ingrese la demanda de carga: 0 kVA
- CD1 Numero de vivienda: 35 Unidades
- CD2 Metros cuadrados por vivienda: 106 m²
- CD3 Numero de A/A: Selecionar (dropdown menu open showing options: 0 Unidad, 1 Unidad, 2 Unidades, 3 Unidades, 4 Unidades, No)
- CD4 Cocina Electrica: Selecionar
- CD5 Horno Electrico: Selecionar
- CD6 Calentador Electrico: Selecionar
- CD7 Secadora de Ropa: Selecionar

Buttons: Anterior, Ayuda, Siguiente, Calcular.

Figura 3.21: Ventana Demanda de carga, numero de aire acondicionado.

Como se observa en la imagen anterior (figura 3.21), en lo encerrado por el recuadro negro, el usuario puede seleccionar la cantidad de aire acondicionado que pueda poseer la vivienda para el cálculo de demanda con un máximo de 4 unidades.

The screenshot shows the 'Demanda de carga' window with the following fields and values:

- Ingrese la demanda de carga: 0 kVA
- CD1 Numero de vivienda: 35 Unidades
- CD2 Metros cuadrados por vivienda: 106 m²
- CD3 Numero de A/A: Selecionar
- CD4 Cocina Electrica: No (dropdown menu open showing options: No, Si)
- CD5 Horno Electrico: Selecionar
- CD6 Calentador Electrico: Selecionar
- CD7 Secadora de Ropa: Selecionar

Buttons: Anterior, Ayuda, Siguiente, Calcular.

Figura 3.22: Ventana Demanda de carga, cocina eléctrica.

Demanda de carga

Demanda de Carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 KVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m²

CD3 Numero de A/A ▼

CD4 Cocina Electrica ▼

CD5 Horno Electrico ▼

CD6 Calentador Electrico ▼

CD7 Secadora de Ropa ▼

Figura 3.23: Ventana Demanda de carga, horno eléctrico.

Demanda de carga

Demanda de Carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 KVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m²

CD3 Numero de A/A ▼

CD4 Cocina Electrica ▼

CD5 Horno Electrico ▼

CD6 Calentador Electrico ▼

CD7 Secadora de Ropa ▼

Figura 3.24: Ventana Demanda de carga, calentador eléctrico.

Demanda de carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m2

CD3 Numero de A/A Selecionar. v

CD4 Cocina Electrica No v

CD5 Horno Electrico No v

CD6 Calentador Electrico No v

CD7 Secadora de Ropa No v
 Si v

Anterior Ayuda Siguiente

Figura 3.25: Ventana Demanda de carga, secador de ropa.

En las figuras 3.22, 3.23, 3.24 y 3.25, se puede apreciar la selección de si la vivienda posee o no los artefactos que necesitan conexiones especiales, el usuario debe seleccionar “si” o “no” en los desplegables correspondientes a cada equipo electrónico para realizar el cálculo de demanda.

Demanda de carga

Ingrese la demanda de carga kVA

Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA Habilitar calculadora

CD1 Numero de vivienda Unidades

CD2 Metros cuadrados por vivienda m2

CD3 Numero de A/A Selecionar. v

CD4 Cocina Electrica No v

CD5 Horno Electrico No v

CD6 Calentador Electrico No v

CD7 Secadora de Ropa No v

Calcular

Anterior Ayuda Siguiente

Figura 3.26: Ventaja Demanda de carga, botones anterior.

En la Figura 3.26 el botones “anterior” al ser presionado, regresara a la ventana anterior, que en este caso, es la portada del programa o inicio del programa.

The screenshot shows a software window titled "Demanda de carga". At the top, there is a header "Demanda de Carga". Below it, a text input field contains "600 kVA". A note states: "Si no conoce la demanda le ofrecemos una herramienta de calculo basada en las normas delCodigo Electrico Nacional. La demanda minima deben ser 600 kVA". To the right of this note is a checkbox labeled "Habilitar calculadora". Below the note are seven rows of input fields: "CD1 Numero de vivienda" (0 Unidades), "CD2 Metros cuadrados por vivienda" (0 m2), "CD3 Numero de A/A" (Seleccionar.), "CD4 Cocina Electrica" (No), "CD5 Horno Electrico" (No), "CD6 Calentador Electrico" (No), and "CD7 Secadora de Ropa" (No). A "Calcular" button is located below these fields. At the bottom of the window are three buttons: "Anterior", "Ayuda" (highlighted with a black box), and "Siguiente".

Figura 3.27: Ventana Demanda de carga, botones ayuda.

Al presionar el botón de ayuda el cual se puede observar en el recuadro negro (figura 3.27), se abrirá un archivo de ayuda, donde se explicará el funcionamiento completo de esta ventana.

This screenshot is identical to the previous one, showing the "Demanda de carga" window. In this version, the "Siguiente" button at the bottom right is highlighted with a black box, while the "Ayuda" button is no longer highlighted.

Figura 3.28, Ventana Demanda de carga, botones siguiente.

El botones “siguiente” (figura 3.28), cuando es seleccionado, el programa dará acceso a la siguiente ventana la cual se explicará en el siguiente subtítulo.

3.7.3 PARÁMETROS DE COSTA

Los parámetros de costa son los valores o batimetría que posee cada zona del mar, los cuales son la profundidad del mar, la velocidad de las Mareas, la distancia existente entre el sitio donde se instalara la turbina y la costa, por último, la distancia de la costa al posible lugar donde se espera construir el centro de control. Esta ventana se divide en dos partes, algunos parámetros de costa precargados, los cuales están basado en las costas venezolanas que cumple con los parámetros mínimos de alguna de las turbinas y la otra parte, la cual se puede ingresar los datos directamente para que el programa determine cuál es la turbina recomendada para el caso correspondiente.

Figura 3.29: Ventana Parámetros de costa, seleccione costa venezolana.

Una de las modalidades del programa es seleccionar alguna de las zonas precargadas en el (figura 3.29), con el fin de facilitar al usuario la selección de los parámetros de la turbina. Cualquiera sea la opción de costa que se seleccione, el programa tomara doscientos (200) metros para cada una de las distancias (distancia desde ubicación de turbina y la costa, además, la que existe entre la costa y donde se planea instalar el centro de control).

Parametros de costa

Barcelona Costas en Venezuela, valores promedios

Profundidad del mar: 30 a 200 m

Velocidad de la corriente marina: 0.7 m/s

Si no desea utilizar los valores de costa que le ofrecemos, habilite el ingreso de datos e introduzca manualmente los parametros

Ingreso de datos: Habilitar ingreso de datos

Profundidad del mar: 0 m

Velocidad de la corriente marina: 0 m/s

Distancia aproximada del punto de instalacion de la turbina a la costa: 0 m

Distancia aproximada de la costa al centro de control: 0 m

Anterior Ayuda Siguiente

Figura 3.30: Ventana Parámetros de costa, costa seleccionada.

Como se puede observar en la figura 3.30, al seleccionar una de las costas se precargarán en pantalla los valores de dicha costa, internamente, el programa tomara las distancias mencionadas anteriormente.

Parametros de costa

Seleccionar Costas en Venezuela, valores promedios

Profundidad del mar:

Velocidad de la corriente marina:

Si no desea utilizar los valores de costa que le ofrecemos, habilite el ingreso de datos e introduzca manualmente los parametros

Ingreso de datos: Habilitar ingreso de datos

Profundidad del mar: 0 m

Velocidad de la corriente marina: 0 m/s

Distancia aproximada del punto de instalacion de la turbina a la costa: 0 m

Distancia aproximada de la costa al centro de control: 0 m

Anterior Ayuda Siguiente

Figura 3.31: Ventana parámetros de costa, activación de datos manuales.

Al activar la calculadora como se observa en lo encerrado por el recuadro negro (figura 3.31), se posee la cualidad de colocar directamente los parámetros que se explicaran a continuación:

- *Profundidad del mar:* consiste en un valor de batimetría, el cual es la diferencia de altura entre el lecho oceánico y la superficie del mar, siendo este. En la figura 3.31 se puede observar dentro del recuadro rojo. Este dato es utilizado para la selección de alguno de los tipos de turbinas.
- *Velocidad de las Mareas:* es la velocidad con la cual se mueven las masas del agua del mar, las cuales van a pasar a través de las aspas de las turbinas para que éstas giren. Se puede observar encerrada por un recuadro amarillo (figura 3.31). También se utiliza para la selección de la turbina.
- *Distancia aproximada del punto de instalación de la turbina a la costa:* este dato es utilizado para calcular la caída de tensión del conductor submarino entre la turbina y la costa, además, para conocer los metros de cable necesarios para la instalación de la turbina e influye en el cálculo de costos. Se puede observar en la figura 3.31 cubierta por un recuadro verde.
- *Distancia aproximada de la costa al centro de control:* consiste en la distancia que existe entre la costa y la posible ubicación del centro de control de las turbinas. Se usa para calcular los metros de cables y canalización subterráneos necesarios para transmitir la energía producida por las turbinas y, además, para el cálculo de la caída de tensión. Se encuentra en el recuadro marrón de la figura 3.31.

Figura 3.32: Ventana parámetros de costa, botones anterior, ayuda y siguiente.

En la figura 3.32 se observan los siguientes botones:

- *Anterior*: cuando se presiona este botones se regresará a la ventana anterior (ventana demanda de carga).
- *Ayuda*: este botones proporcionara información del funcionamiento de dicha ventana.
- *Siguiente*: para cambiar a la siguiente ventana del programa, introduciendo en las casillas de la ventana actual los parámetros correctos, será necesario presionar el botones “siguiente”.

3.7.4 SELECCIÓN DE TURBINA

Esta es la ventana encargada de seleccionar la turbina deseada, para, realizar el cálculo de cuantas turbinas se deben instalar dependiendo de la demanda de carga exigida por el usuario. Al llegar a esta ventana, el programa recomendará una de las turbinas, pero, se podrá cambiar la turbina por otra de los tres restantes.

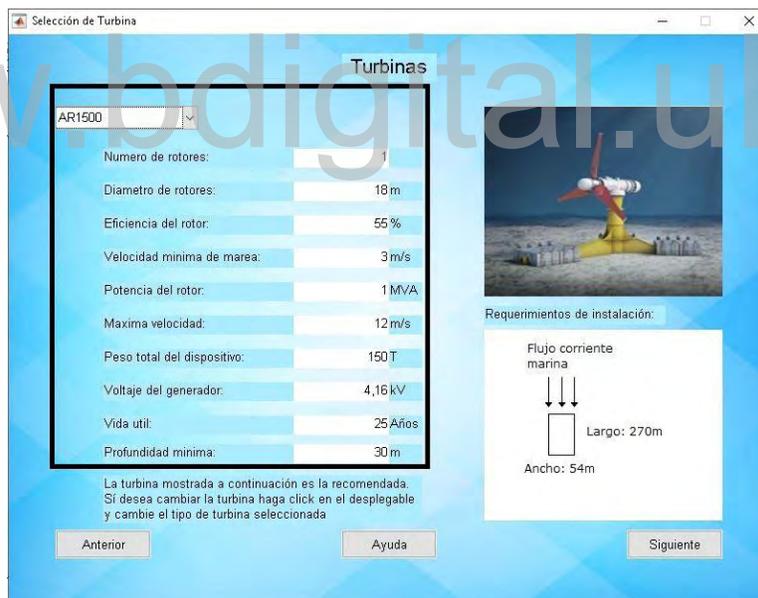


Figura 3.33: Ventana selección de turbina recomendada.

En la figura 3.33 se observa uno de los casos de turbina recomendada, donde se mostrará algunos de los parámetros característicos de cada turbina dependiendo de cuál sea la seleccionada. Si se desea cambiar la turbina recomendada solo se debe presionar el desplegable como se observa en la figura 3.34.



Figura 3.34: Ventana selección de turbina, cambio de tipo de turbina.

En el recuadro negro de la figura 3.34, se encuentran las demás turbinas que se pueden seleccionar para realizar los cálculos finales, los cuales se harán basados en la turbina seleccionada por el usuario.

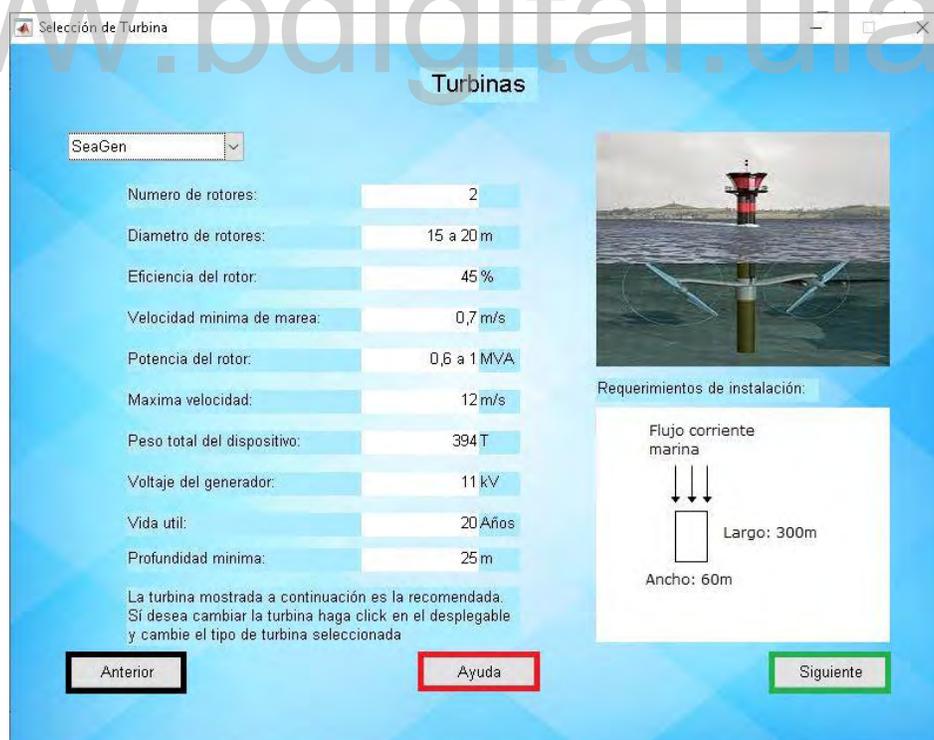


Figura 3.35: Ventana selección de turbinas, botones anterior, ayuda y siguiente.

En la figura anterior (Figura 3.35), se observan en recuadros los botones de la ventana selección de turbina, los cuales realizan la siguiente función:

- *Anterior*: este botón permite volver a la ventana anterior (Ventana parámetros de costa).
- *Ayuda*: al presionar este botón se accederá a la información de funcionamiento de esta ventana.
- *Siguiente*: luego de seleccionar la turbina deseada, al presionar el botones siguiente se llegará al final del programa, es decir, los resultados como se observará más adelante.

3.7.5 RESULTADOS

Es la primera ventana donde se arrojan resultados, y su diseño se muestra a continuación:



Figura 3.36: Ventana resultados, partes de esta ventana.

En la figura 3.36 se encuentran las partes de la ventana resultados, los cuales se explicarán a continuación:

- En el recuadro negro se presentan resultados como el número de turbinas necesarias para suplir la demanda de carga, la potencia que dichas turbinas generan, el calibre de los

conductores necesarios para la transmisión de esta energía, los metros de cable submarino y cable subterráneos necesarios, además, los metros de canalización para el cable subterráneos. Todos estos resultados son variables, depende de los datos introducidos en el programa.

- En el recuadro rojo, se muestra un gráfico de barras donde se compara la energía que generan las turbinas con respecto a la energía que demanda el conjunto residencial, de esta forma, ver la diferencia entre ellas.
- En el recuadro amarillo se observará la foto de la turbina seleccionada.
- Por último, en el recuadro verde, se observará la cantidad de turbinas representadas por un círculo y la distancia entre cada una ellas.

Como en las ventanas anteriores, esta ventana posee botones “anterior” el cual retrocede a la ventana anterior (Ventana selección de turbina), “ayuda” lo que permite acceder a información de cómo funciona la ventana y “siguiente” para acceder a la página de costos la cual se explica más adelante.

3.7.6 COSTOS

En esta ventana se muestran detalladamente los costos necesarios para la instalación de turbinas para mareas, su diseño final es el siguiente:



Figura 3.37: Ventana costos.

A continuación, se dará explicación a cada uno de los costos (figura 3.37):

- *Costos de la turbina:* se refiere al costo del equipo turbina o hidrogenerador, el cual a medida que pasa el tiempo disminuye. Este varía dependiendo de la cantidad de turbinas.
- *Costo del cable:* indica el total de inversión que se debe hacer tanto de cable submarino como subterráneo.
- *Costo de instalación de la turbina:* la inversión necesaria para la instalación de cada una de las turbinas se muestra en este dato, el cual depende de la cantidad de turbinas que se deseen instalar.
- *Costo de instalación del cable:* al instalar el cable en el fondo del mar implica una inversión considerable, la cual, se representa en este dato.
- *Costo de canalizaciones:* se refiere a la cantidad de inversión que se necesita para las canalizaciones donde se va a instalar el cable subterráneo. Este varía dependiendo de los metros de cable que se deseen instalar.
- *Costo de conexión al sistema interconectado:* se refiere a la inversión necesaria para conectar el sistema de generación de las turbinas al sistema de trasmisión de energía más cercano.
- *Costos de operación y mantenimiento:* como todos los equipos de generación, estos necesitan de operadores los cuales se encargan de mantener el óptimo funcionamiento y de mantenimientos a los equipos los cuales se hacen cada cinco (5) a siete (7) años.
- *Costo anual y seguro:* este representa al pago que se le hace a la empresa para mantener monitoreo del equipo y al producirse una falla no programada, la empresa ayude a solventar dicho problema.

Como las ventanas anteriores poseen tres botones los cuales hacen lo siguiente (figura 3.37):

- En el recuadro negro el botones “Anterior”, regresara a la ventana anterior resultados.
- El recuadro rojo o “reiniciar”, regresa al usuario a la ventana demanda de carga para empezar el cálculo nuevamente.
- Para el recuadro verde o “Salir”, se preguntará al usuario si desea salir del programa (si presiona “si” el programa se cerrara, de lo contrario o “no”, el programa seguirá en su situación anterior). Esto se observa en la figura 3.38.



Figura 3.38: Ventana costos, ¿Desea salir del programa?

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 4:

ANÁLISIS Y RESULTADOS:

En este capítulo se hará una comparación entre las energías renovables comerciales actualmente para conocer sus pros y contras.

4.1 COMPARACIÓN DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ CON LA SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA

Para comparar estos tres tipos de energía renovable se hará uso de una tabla de doble entrada, en la cual se encuentran diferentes categorías los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4.1: Características de las energías mareomotriz, eólica y solar fotovoltaica.

Tipo de energía renovable Categorías	Mareomotriz	Eólica	Solar Fotovoltaica
Modo de operación	- Turbina.	- Turbina	- Paneles solares y subsistemas.
Transporte	- Terrestre y marítimo.	- Terrestre.	- Terrestre.
Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Mareas son predecibles. - Es relativamente nueva. - Alta inversión para avances. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia prima variable. - No es predecible. - Tiempo necesario para el estudio de los vientos de la zona. - Tiempo alto en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia prima disponible solo en el día solar. - La nubosidad no es predecible, por lo que es un tipo de energía variable. - Tiempo alto en el mercado.
Rendimiento	- Entre el 40% y 42%.	- 46%	- 15%

Tabla 4.1: Características de las energías mareomotriz, eólica y solar fotovoltaica (continuación).

Tipo de energía renovable Categorías	Mareomotriz	Eólica	Solar Fotovoltaica
Aplicabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Limitado a zonas costeras y con altas velocidades de las Mareas. - Baja contaminación visual. - Casi nulo impacto ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitado a zonas con fuertes vientos. - Alta contaminación visual. - Impacto ambiental considerable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación en cualquier lugar, mayor rendimiento en zonas de fuerte luz solar. - Baja contaminación visual. - Impacto ambiental bajo.
Costos	1.2 a 3 \$/kWhora	0.9 \$/kWhora	0.79 \$/kWhora

Ahora, se analizará cada una de las categorías mencionadas en la tabla 4.1:

- *Modo de operación:* se refiere a él o los equipos necesarios para generar energía a partir del recurso renovable. Los modos de operación de las energías mencionadas anteriormente son las siguientes:

La energía mareomotriz opera a través de una turbina que capta el movimiento que se generan en las mareas, producto de la subida y bajada del mar, el cual, hace girar un rotor que se encuentra conectado a un generador eléctrico y así generando potencia eléctrica. Este equipo se encuentra conectado a la red eléctrica. A diferencia de los demás tipos de energías, los diámetros de las aspas de los mareogeneradores son diez veces de menor tamaño que los aerogeneradores, produciendo cantidades de energía similares. Además, no necesita de tantos subsistemas como en los sistemas fotovoltaicos.

- *Transporte:* dependiendo del tipo de energía y del área donde se va a instalar alguno de los tipos de energía renovable, es necesario transportar los implementos necesarios para lo dicho anteriormente, por lo que algunos tipos de generación de energía renovable son complicados de transportar en comparación a otros. En el caso del transporte, a continuación, se mencionarán los tipos que se necesitan para el traslado de los equipos necesarios para la implementación de alguno de los tipos de energía renovable mencionados en la tabla 4.1:

La energía mareomotriz necesita de transporte marítimo y terrestre, lo cual indica que se necesitara de un muelle cercano al sitio de instalación con la capacidad de recibir los

equipos de transporte por mar de gran envergadura, de no ser así, los costos por transporte se verían afectados. Actualmente existe la maquinaria necesaria para el transporte de los mareogeneradores, por ser a través del agua en su mayoría, posee ventajas sobre los aerogeneradores, que, por su localización de instalación mayormente remota, se debe de abrir camino para las maquinarias de transporte e instalación. También, la turbina se instala directamente en el cimiento anclado o base de la turbina en el fondo marino, no es necesario el transporte de los diferentes subsistemas que posee la energía solar fotovoltaica.

- *Confiabilidad:* este parámetro se refiere al comportamiento de la fuente de generación, ya sea el viento, el mar o el sol como son los casos a comparar. Estos recursos naturales se comportan de la siguiente manera:

En el caso del mar, se puede conocer su comportamiento con dos años de anticipación, a pesar de que la tecnología en este campo es relativamente nueva, la anticipación del mar apunta al gran futuro de esta tecnología, a diferencia del viento, el cual depende de datos estadísticos inexactos. Por otro lado, el sol no es constante a lo largo del día, y, existe la posibilidad de un día con alta nubosidad, lo cual afecta la producción de energía por dicho método.

- *Rendimiento:* se refiere a que tanto por ciento eficaz es el tipo de energía. El rendimiento de cada uno de los métodos de obtención de energía son los siguientes:

La energía mareomotriz posee un rendimiento de entre el 40 % y 42 %, esto debido a las pérdidas de la turbina. Este rendimiento es comparable con la energía eólica a pesar de que los mareogeneradores son de menor envergadura. Con respecto a la energía solar fotovoltaica, posee un rendimiento superior.

- *Aplicabilidad:* en este caso, consiste en las ventajas y desventajas de implementar algún tipo de energía, y, además, que tan limitado son las zonas donde puede ser posible la instalación de estas. En el caso de las energías a comparar es lo siguiente:

La energía mareomotriz está limitada a las zonas costeras con movimientos de las mareas medianamente rápidos, debido a esto zonas limitadas las zonas donde se puede aplicar esta tecnología. A pesar de esto, posee ventajas con respecto al medio ambiente, ya que,

por estar sumergidas en el mar, no generan contaminación visual, y, por la baja velocidad de sus aspas, el impacto ambiental es muy reducido. Debido a lo mencionado anteriormente, su aplicabilidad es alta, a diferencia de los aerogeneradores, estas turbinas se encuentran en el fondo del mar sin afectar el ecosistema, la navegación a través de las zonas de instalación y el ruido de estas es menor. Con respecto a los paneles solares, los generadores de corriente de los mares no ocupan espacios menores, por lo que, se puede producir mayor potencia eléctrica usando menos espacio en la instalación de la misma.

- *Costos:* se refiere al valor en kilovatio por hora en USD (dólares americanos) que se necesitan para implementar algunos de estos tipos de energía.

En el caso de la energía mareomotriz, siendo la más reciente en avanzar, sus costos se encuentran entre 1,2 \$/kWhora a 3 \$/kWhora, estos varían dependiendo de la cantidad de potencia instalada. Los aerogeneradores son equipos de gran tamaño, con diámetros de aspas superiores a los 100 metros, esto afecta el costo de materiales para su construcción, además, las áreas de instalación se realizan en zonas remotas, por lo que se necesita de una inversión para conectarse al sistema de transmisión. Por otro lado, la energía solar fotovoltaica, a medida que se desea generar mayor potencia eléctrica, el costo del subsistema de almacenamiento (baterías) aumenta considerablemente.

4.2 COMPARACIÓN DE PROGRAMA CADEMAGIC CON RETScreen

RETScreen: se refiere a un paquete de programas que fue creado por el gobierno de Canadá. Posee treinta y seis (36) lenguajes diferentes. Tiene como objetivo incrementar el interés de la industria y los inversionistas en energías renovables. Posee herramientas las cuales mejoran los costos de estudio de pre factibilidad, ya que este programa posee la capacidad de determinar qué tan factible es implementar generación de energía renovable en determinadas zonas. Este programa fue construido con el apoyo de expertos del gobierno, la industria y académicos. Este incluye base de datos como datos de productos, costos y climáticos. Este programa posee el apoyo de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para saber la el estado climático y datos ambientales de cualquier parte del mundo.

A continuación, se tomará como referencia de comparación el programa RETScreen con CADEMAGIC y se proporcionará un análisis de sus entradas y salidas.

4.2.1 DATOS DE ENTRADA

En la siguiente tabla, se mostrarán las entradas que poseen los programas a comparar:

Tabla 4.2: Características de entrada de los programas CADEMAGIC y RETScreen

ENTRADAS	CADEMAGIC	RETScreen
Demanda de carga	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Calculadora de demanda de carga	<i>Si</i>	<i>No</i>
Parámetros de costa venezolana	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Parámetros de costas mundial	<i>No</i>	<i>Si</i>
Satélite para consultar datos de costa	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Información precargada de costas venezolanas	<i>Si</i>	<i>No</i>
Base de datos de turbinas	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Tipo de idioma	<i>No</i>	<i>Si</i>
Tipo de idioma del manual	<i>No</i>	<i>Si</i>
Tipo de red	<i>No</i>	<i>Si</i>
Tipo de moneda	<i>Solo \$</i>	<i>Si</i>

En la tabla 4.2 se muestra la comparación de las entradas de los programas CADEMAGIC y RETScreen. En ambos programas se tiene la posibilidad de ingresar la cantidad de demanda que se quiere suplir, sin embargo, CADEMAGIC ofrece una calculadora capaz de calcular la demanda residencial, introduciendo la cantidad de equipos eléctricos y la cantidad de viviendas de los cuales se requiere la estimación de demanda de carga.

El programa CADEMAGIC se basa en datos de las costas venezolanas, pero, RETScreen no posee información detallada de las costas venezolanas. CADEMAGIC posee acceso a información de un satélite que puede agilizar la selección de áreas donde se pueda instalar las turbinas ya que informa de las velocidades de la superficie marina de las costas, de manera fácil haciendo clic en la zona de interés. En RETScreen se deben tener conocimientos de navegación, es decir, deben conocerse las coordenadas para acceder a la información del área de interés, lo cual es tedioso y menos práctico.

CADEMAGIC ofrece información de los costos de las turbinas, mostrando además las características de placa que cada una de ellas posee, información importante que RETScreen no facilita.

El programa CADEMAGIC está orientado en abarcar la mayor población posible de usuarios, por lo que se diseñó de una manera más sencilla y agradable. Para poder hacer uso del programa RETScreen se debe de tener conocimientos básicos de economía, el programa CADEMAGIC es menos complejo en ese aspecto, además, sus imágenes y colores son más atractivos a la población de usuarios.

4.2.2 DATOS DE SALIDA

A continuación, se mostrará las salidas que poseen los programas a comparar:

Tabla 4.3: Características de salida de los programas CADEMAGIC y RETScreen

SALIDAS	CADEMAGIC	RETScreen
Cantidad de turbinas necesarias para cubrir la demanda de carga	<i>Si</i>	<i>No</i>
Cantidad de potencia generada	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Caída de tensión	<i>Si</i>	<i>No</i>
Materiales necesarios (Metros de cable y canalizaciones)	<i>Si</i>	<i>No</i>
Gráfico de comparación entre potencia generada y potencia solicitada	<i>Si</i>	<i>No</i>
Imagen de turbina seleccionada	<i>Si</i>	<i>No</i>
Parámetros financieros (tasa de inflación, tiempo de vida del proyecto, relación de deuda, tasa de interés de la deuda, duración de la deuda)	<i>No</i>	<i>Si</i>
Pago de la deuda	<i>No</i>	<i>Si</i>
Ahorro y renta anuales	<i>No</i>	<i>Si</i>
Costo de la turbina	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo del cable	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo de instalación de las turbinas	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo de instalación de los cables	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo de canalizaciones	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costos de conexión al sistema interconectado	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo de operación y mantenimiento	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costo anual y seguro	<i>Si</i>	<i>No</i>
Costos totales	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Ubicación turbinas	<i>Si</i>	<i>No</i>

En la tabla 4.2 se pueden apreciar las salidas de los programas a comparar, donde, uno de los fuertes del programa CADEMAGIC es la capacidad de abarcar más cantidad de usuarios, esto se debe a la sencillez de su diseño.

La muestra de las turbinas necesarias para cubrir la demanda dependiendo del tipo, es una cualidad que posee CADEMAGIC. Ambas demuestran la potencia que se generará con esta inversión, pero a pesar de esto, solo CADEMAGIC enseña la caída de tensión que se genera dependiendo de la distancia existente entre el centro de control y el punto de instalación de las turbinas. CADEMAGIC muestra una imagen de la turbina seleccionada y un gráfico que compara la potencia generada con la potencia que se le introdujo al programa.

El programa CADEMAGIC en el tema de los costos, los especifica desde materiales necesarios hasta los costos de instalación, sin embargo, RETScreen es más un programa orientado al tema económico, donde se habla de inversión y cantidad de tiempo que se tardaría en recuperar el capital invertido.

www.bdigital.ula.ve

CONCLUSIONES

A través de los resultados obtenidos, se muestra el logro del objetivo principal de esta investigación: crear una herramienta para el dimensionamiento de turbinas para mareas. En este sentido, en sus diferentes capítulos, se distinguen los siguientes aspectos que han conllevado a dicho resultado:

La energía mareomotriz es una opción de energía renovable, reconocida, actualmente, para la generación no contaminante de energía eléctrica. Su desarrollo tecnológico está en crecimiento y su materia prima (las mareas) se encuentra en todo el planeta. Además, las mareas son predecibles, lo cual es un punto a su favor al comparársele con otras energías alternativas. Venezuela es un país con una extensa amplitud de costas marinas, por lo que presenta excelentes condiciones para la generación de este tipo de energía renovable. Sin embargo, en este país, este tipo de energía no ha sido aprovechada.

El funcionamiento y la utilidad de las turbinas, las cuales se encuentran en el fondo marino, son movidas por las mareas para su funcionamiento. Son equipos de gran utilidad, ya que son una alternativa limpia sobre otros tipos de generación de energía eléctrica.

Entre los requerimientos que se deben tomar en cuenta para instalar al menos una turbina, se encuentran los siguientes: transporte: transporte, velocidad de las Mareas, profundidad del lecho marino, distancia desde el punto de instalación al punto de control en tierra, entre otros, los cuales son indispensables.

La energía mareomotriz tiende a ser, en un futuro cercano, competitiva con otros tipos de energía. Este tipo de energía renovable con respecto a dos de las más usadas (energía eólica y solar fotovoltaica), está llegando a ser comparable, contando con un factor interesante como lo es la predictibilidad de los mares.

La calculadora de demanda de carga basada en los requerimientos del Código Eléctrico Nacional de Venezuela, le facilita al usuario del programa la estimación de la demanda de carga que desea cubrir con este tipo de energía.

La implementación un programa, que, a partir de datos de entrada como características de la costa (profundidad, velocidad de las Mareas), tipo de turbina, cantidad de demanda de carga, es capaz de proporcionar datos de salida como: materiales necesarios (cable submarino, cable subterráneo, cantidad de turbinas) y los costos de instalación (costo de: cables, turbinas, mantenimiento, etc.) los cuales permitirán saber que tan factible es aplicar un proyecto de este tipo.

El programa resultante en este trabajo tiene características similares a otro programa de la misma área, en el cual se pudo observar el parecido que poseen. Se compararon los resultados con valores de entrada iguales, observando el parentesco de dichos resultados.

www.bdigital.ula.ve

RECOMENDACIONES

Continuar con estudios en el área para profundizar lo realizado en este trabajo.

Buscar la cooperación de los entes gubernamentales para adquirir datos precisos de las costas y cooperación de la industria, para tener información de tecnología y costos de primera mano.

Realizar trabajos similares en otros tipos de energías renovables, para al final, crear un programa con la cualidad de determinar qué tipo de energía renovable es conveniente para la zona de estudio.

Otro dato importante es buscar la conexión con un satélite de alta tecnología que permita el conocimiento instantáneo de la batimetría de cualquier costa, de esta manera, obtener datos exactos de la zona donde se quiere implementar el proyecto.

Se debe incentivar en la Universidad el estudio de estos tipos de energía renovable, ya que, por las condiciones mundiales actuales, este tipo de generación de energía eléctrica apunta a ser de los más importantes en un futuro próximo, siendo el objetivo de esta, transformar en autosustentable cada zona habitada del mundo.

REFERENCIAS

- [1] Correa P., Gonzalez D., Pacheco J., “Energías Renovables y Medio Ambiente”, *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 8, pp. 179-183, sep 2016.
- [2] Rosso F., “Energía y Ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistemas Energéticos basados en Energías Alternativas”, *Geoenseñanza*, vol. 7, pp. 54-73, 2002.
- [3] Hernandez C., Garcia R., Diaz M., “Energías Renovables y Eficiencia Energética”, primera edición, muestra gratuita, Canarias, España, 2008.
- [4] Emiliano Javier Vázquez, “Crisis energética: causas, consecuencias y soluciones”, disponible: <https://www.ecosiglos.com/2017/08/crisis-energetica-causas-consecuencias-y-soluciones.html>
- [5] J. Hurtado de Barrera, “El Proyecto de Investigación”, Bogotá-Caracas, 2010
- [6] C. García López, “ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA”, trabajo de fin de grado, Universidad de Cantabria, Santander, España.
- [7] A. Barea Luna, “ENERGÍA DE LAS CORRIENTES MARINAS. APLICACIÓN EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR: PARQUE DE TURBINAS SEAGEN”, trabajo de fin de grado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- [8] Rutllant Costa J, Horacio Mery Mery, “APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LAS MAREAS Y SU POSIBLE DESARROLLO EN CHILE”, Trabajo de fin de grado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- [9] José Antonio Carta González, Roque Calero Pérez, Antonio Colmenar Santos y Manuel-Alonso Castro Gil, “CENTRALES DE ENERGÍAS RENOVABLES: GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES”, Madrid, España, 2009.

- [10] A. Herrera, A. Quintero, “*LA ENERGIA DE ORIGEN MARINO Y SU USO POTENCIAL EN VENEZUELA*”, *INTERCIENCIA*, vol. 42, no. 6, pp. 393-399, jun. 2017.
- [11] A. Quintero, G. Terejova, “*INFUENCIA DE LAS CORRIENTES MARINAS SOBRE EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA BOCA DEL GOLFETE DE CORO, VENEZUELA*”, *INST. OCEANOGR. VENEZUELA*, Vol. 47, Núm. 1, pp. 77-87, mayo 2008.
- [12] CODELECTRA, “*CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL*”, Venezuela, 2004.
- [13] R. Ponte Araujo, “*ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA DE LA INSTALACION DE UN CABLE SUBMARINO DE POTENCIA ENTRE MARGARITA Y COCHE, ESTADO NUEVA ESPARTA*”, trabajo de fin de grado, UNIVERSIDAD METROPOLITANA, Caracas, Venezuela.
- [14] M. Galarza, D. Noboa, J. Gallo, “*Proyecto de Instalaciones de Media Tensión*”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- [15] M. Claudia Albornoz (2014), Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario, WICC 2014 XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 540-544, disponible:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41578/Documento_completo.pdf?sequence=1
- [16] M. Quintero, “*INTRODUCCION RAPIDA A MATLAB Y SIMULINK PARA CIENCIA E INGENIERIA*”, Madrid, España: Díaz de Santos, 2003, pp 82.
- [17] M. España, “*Diseño de Interfaz Gráfica en MatLab*”, pp 56-57, Disponible:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11986/fichero/CAP%C3%8DTULO+3%252FCAP%C3%8DTULO+3.pdf>
- [18] F. Arias, “*El PROYECTO de INVESTIGACIÓN*”, Caracas, Venezuela, EDITORIAL EPISTEME, C.A., 2012, 6TA EDICIÓN.
- [19] *Manual AR1500 TIDAL TURBINE*, Atlantis resources, Reino Unido, 2015.