

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“PROPUESTA DE PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO
FLOTANTE EN EMBALSE DE AGUA DULCE EN LA
REPÚBLICA DOMINICANA 2021”**

Sustentantes:

Kiarah P. Padilla Peralta	14-1355
John A. Castillo Sánchez	17-0112

Para la obtención del título de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. César E. Mercedes Frías

**Santo Domingo, República Dominicana
Agosto 2021**

Agradecimientos

Agradecer principalmente a Dios, porque con su misericordia he llegado hasta este punto lleno de vida y me ha concedido sabiduría para afrontar las adversidades que se han presentado en el camino.

Gracias a mis padres, Claribel Sánchez y Ramón A. Castillo, porque sin ustedes esto no habría sido posible, por brindarme hasta el cansancio su apoyo incondicional y sostenerme para que siempre siga adelante, por ser la inspiración y el ejemplo que siempre he necesitado para estar motivado y nunca perder mi camino. Ustedes hacen de mí una mejor persona cada día con todos sus consejos, me han brindado los mejores momentos y a la mejor familia que Dios pudo haberme regalado.

A mi abuela, María A. Guerrero, porque cada paso que doy siempre ha estado bajo el norte que desde niño me inculcaste y porque sé que la persona que soy hoy en gran parte es gracias a ti.

Agradecer a mis amigos y compañeros de la universidad, porque con ustedes he vivido grandes momentos que han de quedar en mi memoria por el resto de mi vida; juntos logramos crecer buscando alcanzar un objetivo en común, juntos nos esforzamos para lograr aprobar cada asignatura, juntos disfrutamos las salidas que equilibraban un poco la carga, pero, sobre todo, juntos creamos una historia que hoy da paso a una nueva etapa pero que aún no termina.

A mi compañera de tesis Kiarah Padilla, por haber asumido este reto conmigo, gracias por siempre estar, sin ti esto no hubiera sido posible.

Al Ing. César Mercedes, nuestro asesor de tesis, por cada una de las recomendaciones y correcciones, por siempre estar dispuesto y buscar la forma de sacar lo mejor de nosotros para poder obtener buenos resultados.

Gracias a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, por disponer de las herramientas que me han hecho alcanzar este punto y a todos los maestros que aportaron a mi crecimiento estudiantil durante todo este trayecto, cada una de sus enseñanzas son las que hoy me hacen tener un amplio conocimiento que me permite desenvolverme como un profesional calificado y hoy poder decir que he logrado alcanzar el título de ingeniero civil.

John A. Castillo Sánchez

Agradecimientos

A Dios:

Agradezco en primer lugar a Dios, porque gracias a su gran amor e inagotable y eterna misericordia hoy puedo decir Ebenezer, hasta aquí me has ayudado. A ti, Dios, te doy gracias por amarme primero, porque me has dado la fuerza y la sabiduría necesaria para lograr llegar hasta aquí. Gracias, porque has sido mi amparo y mi fortaleza, mi ayuda segura en momentos de angustia.

Tú me cubres con el escudo de tu salvación, y con tu diestra me sostienes; tu bondad me ha hecho prosperar. Me has despejado el camino, así que mis tobillos no flaquean.

Salmo 18:35-36

A mi madre: (Catalina Peralta Hidalgo)

Luego de Dios eres la persona más importante en mi vida, quien en este proceso de formación académica como en todo en todos los años que tengo de vida me ha motivado y apoyado en momentos de inseguridades, quien ha suplido todas mis necesidades, eres mi orgullo, eres mi ejemplo para seguir, mi mayor motivación. Gracias por tanto amor, te amo mucho ma, sin ti esto no hubiese sido posible.

A mi familia:

Gracias a Carmen Hidalgo, Madelaine Alvarado, Johanna Jiménez, Suleyka villa, Lincoln Rosario, Margot Peralta por tanto apoyo incondicional y comprensión, por todo el amor y motivación.

Al Ing. César Mercedes:

Gracias Ing. César Mercedes por aceptar ser nuestro asesor, gracias por ser parte de esto; sin usted esto hubiese sido misión imposible. Gracias, porque sin importar el momento en que solicitamos su ayuda siempre estuvo ahí para brindarnos orientación y apoyo. Muchas gracias por siempre recordarnos que podemos ser mejores cada día. Gracias por siempre motivarnos a dar lo mejor de nosotros.

A Mis amigos: (Ana Mena, Enmanuel Ramírez, Otniel Ramírez)

Gracias por estar en mi vida, agradezco siempre a Dios por haberme brindado la oportunidad de conocerlos. Son parte importante de todo este proceso, nunca pensé que llegaran a convertirse en seres tan especiales para mí. Gracias por ser mis cómplices, confidentes, gracias por siempre apoyarme, cuidar de mí, ser mi soporte en momentos de necesidad, y sobre todo muchas gracias por soportar a esta amiga tan intensa que Dios les puso en el camino.

A mi compañero de tesis: (John Castillo):

Gracias por acompañarme en esta aventura, aventura tan especial que nos permitirá optar por el título de grado que nos certifica como ingenieros Civiles.

Kiarah P. Padilla Peralta

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
CAPÍTULO I: Problema de investigación.	4
1.1 Planteamiento y formulación del problema.	5
1.2 Preguntas de investigación.	8
1.3 Objetivos de la investigación.	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Justificación	9
1.5 Antecedentes	12
1.5.1 Plantas solares flotantes alrededor del mundo	17
1.6 Alcances y limitaciones de la investigación	24
1.6.1 Alcances	24
1.6.2 Limitaciones	24
CAPÍTULO II: Marco Teórico.	25
2.1 Energía	26
2.2 Electricidad	26
2.3 Energía eléctrica	27
2.4 Fuentes de energía renovables	27
2.4.1 Tipos de fuentes de energía renovable	28
2.5 Red de suministro eléctrico	28
2.6 Servicio Eléctrico Nacional Interconectado (SENI)	29
2.7 Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ADIE)	29
2.8 Río	30
2.9 Cuenca hidrográfica	30
2.10 Presa	31
2.10 Embalse	31
2.11 Central hidroeléctrica	32
2.12 Evolución de la generación de electricidad, El Sol como materia prima	34
2.13 Radiación solar	36
2.14 Irradiancia	38
2.15 Hora solar pico (HSP)	38

2.16 Energía solar	38
2.17 Obtención de energía solar fotovoltaica	39
2.18 Celda o célula fotovoltaica	39
2.19 Paneles solares fotovoltaicos	41
2.19.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos	42
2.20 Eficiencia	46
2.21 Parque solar fotovoltaico	46
2.22 Parque solar fotovoltaico flotante	47
2.23 Sistemas fotovoltaicos conectados a red	47
2.24 Sistemas más utilizados en parques solares flotantes	48
2.24.1 Hydrelío, Ciel & Terre	48
2.24.2 Isifloating, ISIGENERE	51
CAPÍTULO III: Marco Metodológico.	53
3.1 Enfoque de la investigación	54
3.2 Tipo de investigación	55
3.3 Procedimiento de la investigación	55
3.4 Técnica de investigación	55
3.5 Proceso metodológico.	56
3.7 Método de investigación	57
CAPÍTULO IV: Análisis de resultados	58
4.1 Ubicación	59
4.1.1 Ficha técnica de la Presa López-Angostura:	62
4.2 Leyes y Normativas que regulan la implementación de proyectos solares fotovoltaicos	63
4.3 Comparación entre una planta solar fotovoltaica convencional y una planta solar fotovoltaica flotante.	64
4.4 Evaluación tecnológica	65
4.5 Cantidad de paneles solares sugeridos	69
4.5.1 Distancia mínima entre paneles	70
4.6 Pérdidas por orientación y sombras.	70
4.7 Aporte energético al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	75

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO A: Ficha técnica del panel solar seleccionado	79
ANEXO B: Sistema de anclaje de los flotadores del sistema solar flotante	81
ANEXO C: Modelado de sistema solar flotante	83
ANEXO D: Visita a Sabana Iglesias, Santiago de los Caballeros.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Far Niente, Napa Valley, California (Google Maps)	18
Ilustración 2: 20 plantas solares flotantes más grandes del mundo - Instituto de Investigación de la Energía Solar de Singapur (SERIS)	19
Ilustración 3: Evolución de la capacidad global de plantas solares fotovoltaicas flotantes (FPV) - Instituto de Investigación de la Energía Solar de Singapur (SERIS)	20
Ilustración 4: Huainan, China.	21
Ilustración 5: Umenoki, Japón.	22
Ilustración 6: Queen Elizabeth II Reservoir. Reino Unido.	22
Ilustración 7: Otae Reservoir, Corea del Sur.	23
Ilustración 8: Jipyong Reservoir, Corea del Sur.	24
Ilustración 9: Godley Reservoir Floating Solar PV, Reino Unido.	25
Ilustración 10: Kato-Shi, Japón.	25
Ilustración 11: Tsuga IKE, Japón.	26
Ilustración 12: Sakasama IKE, Japón.	27
Ilustración 13: Distribución de la radiación solar.	41
Ilustración 14: Radiación solar en la Tierra.	41
Ilustración 15: Panel solar fotovoltaico.	45
Ilustración 16: Panel solar fotovoltaico monocristalino.	47
Ilustración 17: Panel solar fotovoltaico policristalino.	48
Ilustración 18: Panel solar fotovoltaico de capa fina.	49
Ilustración 19: Sistema solar flotante Hydrelío.	52
Ilustración 20: Ficha técnica de sistema Hydrelío	54
Ilustración 21: Ficha técnica del sistema Isifloating, ISIGENERE	55
Ilustración 22: Radiación Solar Global de la República Dominicana (Fuente: Atlas Solar Global)	63
Ilustración 23: Radiación solar mensual de la provincia de Santiago de los Caballeros (Fuente: PWatts Calculator, National Renewable Energy Laboratory)	64
Ilustración 24: Datos de radiación solar en Santiago de los Caballeros (Fuente: Atlas Solar Global)	65
Ilustración 25: Área propuesta en el Contraembalse López-Angostura	66
Ilustración 26: Tipos de tecnologías de paneles solares	70
Ilustración 27: Rendimiento de los módulos a temperaturas de operación crecientes.	71

Ilustración 28: Sistema de flotación seleccionado.	72
Ilustración 29: Información del panel KYOCERA	73
Ilustración 30: Esquema de distancia mínima entre paneles	74
Ilustración 31: Ficha técnica de panel solar seleccionado	84
Ilustración 32: Sistema de anclaje	86
Ilustración 33: Modelado 2D de la planta solar flotante (AUTOCAD)	88
Ilustración 34: Modelado 3D del sistema de flotadores (AUTOCAD)	89
Ilustración 35: Modelado 3D del sistema (SKETCHUP)	Error! Bookmark not defined.
Ilustración 36: Render de modelo 3D del sistema (LUMION)	90
Ilustración 37: Central Hidroeléctrica de Tavera junto al Ing. Edwin Felipe (Encargado de la hidroeléctrica) (Fuente: Propia 2021)	92
Ilustración 38: Central eléctrica de la hidroeléctrica de Tavera (Fuente: Propia 2021)	92
Ilustración 39: Central eléctrica de la Hidroeléctrica de Tavera (Fuente: Propia 2021)	93
Ilustración 40: Obra Hidroeléctrica Tavera (Fuente: Propia 2021)	93
Ilustración 41: Proyecto hidroeléctrico Tavera-Bao (Fuente: Propia 2021)	94
Ilustración 42: Salida de las aguas turbinadas de la hidroeléctrica de Tavera al Contraembalse López-Angostura (Fuente: Propia 2021)	94
Ilustración 43: Contraembalse López-Angostura (Fuente: Propia 2021)	95
Ilustración 44: Presa de López-Angostura (Fuente: Propia 2021)	95
Ilustración 45: Presa de López Angostura (Fuente: Propia 2021)	96

Introducción

La República Dominicana es una de las economías más importantes y diversificadas de la región del Caribe, y su consumo energético está creciendo de forma acelerada. El país depende en gran medida de las importaciones de combustibles fósiles, los cuales comprenden casi todo el suministro energético primario hasta hoy.

A pesar de las grandes innovaciones e implementaciones tecnológicas que han ocurrido en los diferentes sectores comerciales, la parte de energías renovables representa uno de los más importantes y una de las tareas pendientes de la República Dominicana. Con la utilización de energía de fuentes renovables o energía limpia, se lograría la disminución en la producción y utilización de energía a base de combustibles fósiles, las cuales generan dióxido de carbono, que lleva al incremento del calentamiento global, según datos de la organización sin fines de lucro Union of Concerned Scientist (UCS).

A pesar de la importancia que tiene la producción de energía renovable para el futuro de la humanidad y el planeta, el desarrollo de esta no está sucediendo tan rápido como debería, aseguró la Agencia Internacional de Energía, en el reporte sobre el sector en 2018. La solución que plantean para cambiar esto, aseguran que está en manos de los gobiernos, los cuales deben crear políticas más fuertes para el desarrollo e implementación de esta energía.

La República Dominicana cuenta con la Ley 57-07 de Incentivo de las Energías Renovables y sus Regímenes Especiales, cuyo objetivo es la reducción de uso y dependencia de combustibles fósiles; estimular inversión de proyectos privados en energía renovable; “propiciar la inversión social comunitaria en proyectos de energías renovables; contribuir a la descentralización de la producción de energía eléctrica y biocombustibles, para aumentar la competencia del mercado entre las diferentes ofertas de energía.”

La Agencia Internacional de las Energías Renovables (**IRENA**) informó que República Dominicana ocupa el primer lugar en el Caribe en capacidad instalada para generar energía renovable al pasar de 1,017 mega watts en 2018 a 1,184 MW al iniciar el 2020.

La energía solar fotovoltaica utiliza tecnología basada en el efecto fotovoltaico para convertir directamente la luz solar en electricidad. Cuando la radiación solar cae sobre una superficie de la celda fotovoltaica (que forma el panel), existe una diferencia de potencial entre las dos superficies, lo que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando corriente. Los paneles solares fotovoltaicos generan electricidad inagotable, no contaminan y contribuyen al desarrollo sostenible.

La energía solar se emplea en la actualidad en RD especialmente para el calentamiento de agua y el suministro de electricidad en zonas remotas y aisladas. El potencial de la energía solar en RD ha sido evaluado por el programa **SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment auspiciado por el Fondo Mundial Ambiental)**. El potencial de radiación solar global (radiación solar promedio sobre una superficie horizontal) varía entre 5.25 y 5.50 kWh/m²/día en la mitad oriental del país y 5.50 y 5.75 a 6.00 kWh/m²/día en la segunda mitad occidental. Esta cifra es ciertamente elevada y permite la utilización de calentadores solares, sistemas solares fotovoltaicos y aún, en principio, de centrales solares fotovoltaicas y centrales solares térmicas interconectadas SENI.

El presente trabajo de investigación busca proponer la implementación de un “Parque solar flotante en un embalse de agua de dulce” perteneciente a una presa hidroeléctrica del país. La combinación de energía hidroeléctrica y solar ofrece la oportunidad de aumentar la capacidad de generación de electricidad en un mismo emplazamiento, y así satisfacer las necesidades energéticas durante las horas punta, ahorrando al mismo tiempo la energía hidroeléctrica en las horas intermitentes, de esta se pueda aprovechar de una forma

ecológicamente amigable la energía que ofrece el Sol al planeta Tierra, energía que puede ser fácilmente convertida en energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos, a su vez la generación eléctrica que se obtenga con la implementación este parque servirá de beneficio directo al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI).

CAPÍTULO I: Problema de investigación.

1.1 Planteamiento y formulación del problema.

En República Dominicana la transformación de la generación eléctrica ha sido significativa en los últimos años, tomando en cuenta que en infraestructura, regulación e institución el sector eléctrico dominicano podría considerarse un mercado relativamente moderno. Este se caracteriza por intentos de mejoras, con historias de éxitos y fracasos, destaca un documento de la Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ADIE). Apunta que los primeros pasos de mayor avance se dieron entre 1955 a 1966 con la construcción de 15 líneas de transmisión de 69 kilovatios, cinco líneas de transmisión de 12.5 kilovatios, 709,667 metros de nuevas líneas de distintos voltajes y 5,187 postes, incluyendo los usados para distribución.

Fruto de las inversiones, realizadas principalmente por el sector privado, que siguieron al proceso de capitalización, la República Dominicana posee una de las matrices de generación eléctrica más variadas en comparación con las de otras naciones de Centroamérica y el Caribe, de acuerdo con el “Informe enero-junio 2019”, de la (ADIE).

En 1997, con la promulgación de la Ley General de Reforma de la Empresa Pública inició el proceso de transformación y reforma de las entidades estatales, a través de la capitalización de diversas empresas públicas.

Después de la capitalización, la energía abastecida en el Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) ha seguido diversificándose. Para Bernardo Castellanos, experto en energía eléctrica, la matriz de generación marcha “bien”. Dicho experto, asegura que la generación térmica a base de derivados del petróleo tiene una tendencia a “desaparecer” en el tiempo.

Esto por la incorporación de nueva generación; carbón y gas natural y el incremento de generación renovable, principalmente la eólica (viento) y fotovoltaica (solar), y en menor proporción hidráulica y biomasa.

Sin embargo, el potencial de la energía fotovoltaica, que podría representar una alternativa para evitar las múltiples horas al día sin energía eléctrica que tienen que soportarlos dominicanos, no está siendo aprovechado en su totalidad.

La Tierra recibe del Sol una cantidad de energía equivalente a 89.000 teravatios (TW, un billón de vatios), una cifra que es seis mil veces mayor que la energía que se consume en todo el mundo, que se calcula en unos 16 TW. Se ha calculado que con seis grandes parques solares colocados en determinados puntos del planeta (situados de tal manera que al menos uno de ellos reciba luz solar directa en todo momento) se podría obtener electricidad suficiente para cubrir la demanda global.

En los últimos años, la industria de las energías renovables no ha dejado de crecer. La superficie de tierra ocupada por instalaciones solares y eólicas sigue creciendo y esto exige plantear nuevas alternativas de aprovechamiento que no demanden una extensión de tierra considerable, especialmente en regiones y países como el nuestro (República Dominicana), que cuenta con poca superficie disponible que pueda ser aprovechada para estos fines. En general, las fuentes de energía renovables ocupan proporcionalmente más terreno que las fuentes de energía convencionales; especialmente si se compara con la energía nuclear, por ejemplo.

Los parques solares flotantes son una de las nuevas alternativas que se han comenzado a desarrollar en los últimos años. Su planteamiento es similar al de los parques eólicos marinos (offshore) que también son cada vez más habituales y que consiste en colocar aerogeneradores más allá de la línea de costa, en mar abierto.

Por tanto, muchas de sus ventajas son también aplicables a las plantas solares flotantes, que igualmente aprovechan superficies a las que no se les está dando ningún uso, ya sea mar abierto, lagos sin valor ecológico o agua embalsada para producir electricidad mediante centrales hidroeléctricas.

Además, es destacable indicar que una planta de energía solar mejora su capacidad para producir electricidad cuando flotan en el agua. Según K-water, compañía gubernamental que gestiona los recursos hídricos de Corea del Sur, los parques solares flotantes resultan hasta un 11 por ciento más eficientes que sus equivalentes instalados en tierra firme, ya que su eficiencia se reduce cuando aumenta la temperatura de los paneles.

Los paneles solares flotantes se benefician de una temperatura ambiental generalmente más baja debido al efecto de refrigeración por la evaporación de agua circundante. También las estructuras de aluminio de los paneles transportan el calor desde los paneles solares hacia el agua que está más fría.

Sin embargo, para los parques solares flotantes instalados en mar abierto, las grandes olas y el salitre suponen una gran amenaza. El problema del fuerte oleaje se reduce con instalaciones situadas en bahías y puertos naturales o artificiales. No obstante, el salitre presente en el aire próximo al mar puede provocar daños en las estructuras metálicas a las que se adhiere provocando corrosión y en el caso de los paneles solares colocados en mar abierto, reduciendo su eficiencia y su vida útil.

Los lagos y los embalses de agua presentan, por tanto, una mejor opción para la colocación de paneles solares flotantes. Estos son generalmente utilizados para tales fines ya que su agua es dulce y por lo regular se caracteriza por su bajo contenido salino, notablemente inferior al agua del mar; eliminando así, el riesgo de corrosión por salinidad.

1.2 Preguntas de investigación.

1. ¿Cuál es la zona que se beneficia con más irradiación solar en la República Dominicana?
2. ¿Cuáles son los embalses de agua dulce que hay disponibles que generan energía en la República Dominicana?
3. ¿Cuáles reglamentos o leyes existen en la República Dominicana que regulen la implementación de proyectos fotovoltaicos?
4. ¿Cuáles serían las ventajas y desventajas de un parque solar flotante en embalse de agua dulce con respecto a un parque solar en una superficie terrestre?
5. ¿Cuál será el aporte energético que proporcionaría el parque solar flotante al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI)?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Proponer la instalación de un parque solar flotante en un embalse de agua dulce en la República Dominicana determinando la zona más idónea para la instalación de una planta solar flotante en embalse de agua dulce en la República Dominicana.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la zona de la República Dominicana que se beneficia de mayores niveles de irradiación solar.
2. Determinar la hidroeléctrica ideal en la República Dominicana, tomando en cuenta la irradiación solar para colocar un parque solar flotante en el embalse de agua dulce.

3. Conocer las normativas y disposición para la implementación de proyectos fotovoltaicos que nos permita Implementar adelantos tecnológicos que contribuyan al aumento de la producción de energía eléctrica y a la minimización del impacto ambiental de la puesta en marcha y durante el funcionamiento del parque solar flotante.
4. Establecer comparaciones entre parque solar de superficie terrestre y un parque solar flotante.
5. Estimar el aporte energético que aportaría el parque solar flotante al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI). Establecer la cantidad de paneles solares que dispondría el parque solar flotante fotovoltaico.

1.4 Justificación

La energía eléctrica es fundamental para sectores clave de la estrategia de desarrollo económico de los países, ya que permite las inversiones, la innovación y las nuevas industrias, que son las principales fuentes de empleos y del crecimiento, plantea el Banco Mundial.

La diversificación de la cartera de generación de electricidad, puede ser clave para minimizar la dependencia del territorio de las importaciones de combustibles y mejorar la estabilidad del abastecimiento de energía, a la luz de su creciente demanda. Las tecnologías de energía renovable ofrecen una vía de bajo precio hacia el futuro.

En los últimos años, Republica Dominicana ha reconocido la necesidad de promover el uso de energías renovables como una herramienta alternativa para el desarrollo económico del país. En el 2000 el 88% de la generación provenía de derivados del petróleo, mientras

que para el primer semestre del 2019, era el 41.6%, según el informe de la ADIE. En cambio, la producción a base de agua (hidroeléctrica) pasó de un 9%, en 2000, a un 6.1% en los primeros seis meses del año pasado (2019). El aporte de esta energía se ha reducido desde diciembre de 2018 producto de la sequía que afecta al país, sobre todo en la Línea Noroeste, Sur y Suroeste.

En tanto el uso de gas natural ha aumentado. De enero a junio de 2019 este combustible producía un 29.3% de la energía. Del viento se obtiene el 4.6%, de la biomasa el 1.3% y del Sol apenas el 1.0%, pese a que el país tiene una radiación solar de 6 kilovatios horas por metro cuadrado, muy por encima de otros de la región. El carbón, de un 3% en 2000 se situó en un 15.38% a junio de 2019 y se espera que incremente con la entrada de la central termoeléctrica Punta Catalina.

Las redes de suministro eléctrico están expuestas a la ocurrencia de una gran diversidad de eventos que causan fallas en el sistema, lo que finalmente se ve reflejado en cortes de energía. La energía solar se muestra como una de las posibles soluciones a esta problemática, ya que puede funcionar como respaldo si en el sitio afectado por la falla operan equipos a los cuales se les debe garantizar un suministro de energía constante por la importancia de las funciones que desarrollan.

La tecnología de la energía fotovoltaica tiene cada vez más acogida en su implementación para la generación distribuida, ya que además de usar una fuente primaria de energía inagotable, posee gran facilidad de instalación y requiere un mantenimiento mínimo. Otra peculiaridad de esta tecnología es la facilidad con la que se puede integrar a la red eléctrica, por lo que los lugares en los que se adopte pueden llegar a convertirse en sitios energéticamente autónomos que entregan electricidad a la red en lugar de realizar un consumo de la misma.

Al hablar de las debilidades de las fuentes de energía renovable, una de sus deficiencias se destaca por su densidad energética, es decir, la cantidad de tierra necesaria para generar la misma energía que las centrales eléctricas tradicionales. En muchos casos, estas tierras son muy aptas para labores agrícolas, ganaderas e incluso habitacionales. La superficie de tierra ocupada por instalaciones solares y eólicas sigue creciendo y no es extraño que se planteen nuevas fórmulas, sobre todo en aquellos países y regiones con una superficie disponible reducida. Cada día que pasa son más las plantas fotovoltaicas que se instalan en el agua en todo el mundo. Estos sistemas solares flotantes o ‘floatovoltaics’ son una solución adecuada a las situaciones en la que la superficie sobre techo o suelo es limitada.

Los parques solares flotantes son una de estas nuevas fórmulas que se han comenzado a desarrollar en los últimos años. Se trata de un sistema muy innovador que produce energía solar en una estructura que flota en un cuerpo acuático, en mar abierto o en una cuenca artificial, embalse o lago.

GreenPowerMonitor, a DNV GL company, lleva varios años trabajando en diversos parques solares flotantes, especialmente en Japón, donde por su geografía y recursos han visto cómo esta podría ser una solución eficaz para la generación de energía limpia.

La entrada de nuevos proyectos basados en energías renovables contribuye al desarrollo energético sostenible de los países en desarrollo. Por las razones antes mencionadas se propone que se implemente la instalación de un parque solar flotante en un embalse de agua dulce de la República Dominicana, dado que se ha demostrado el rotundo éxito de dicha innovación en los sistemas generadores de electricidad utilizando como elemento principal las energías renovables, específicamente la energía solar, en los países donde ya se ha instalado este sistema.

La ubicación geográfica de la República Dominicana, en el lado oriental de la isla caribeña la convierte en privilegiada en lo que se refiere a fuentes renovables. En la energía solar se encuentran grandes oportunidades de desarrollo de energías renovables, para el país sería un avance significativo en lo que concierne a la generación de electricidad mediante las energías renovables, debido a que nuestro país no cuenta con este tipo de innovación.

El potencial solar es particularmente grande, con niveles GHI de 5–7 kWh/m²/día en la mayor parte del país (Instituto Worldwatch, 2015). La irradiación es constante durante todo el año, ofreciendo una ventaja particular. Esto proporciona condiciones favorables para sistemas solares fotovoltaicos

Buscando encaminar a la República Dominicana hacia un futuro exitoso en materia de generación de energía eléctrica y adoptar estas innovaciones al sistema de generación de energía eléctrica del país, surge la necesidad de presentar esta propuesta como una fuente de producción de energía eléctrica innovadora y moderna, con el fin de combatir la carencia de energía eléctrica del país, quien será beneficiado por medio de la implementación de un parque solar flotante que aporte a la generación de energía eléctrica de una manera ecológicamente amigable, tomando como referencia los parques solares de esta naturaleza que han sido empleados en países del primer mundo. Por tal razón nace la imperante necesidad de investigar y desarrollar esta propuesta reformadora, en busca de que el país se modernice desde el punto de vista de las innovaciones mundiales con respecto a la producción de energía eléctrica con el uso de fuentes de energías renovables.

Implementar paneles solares que generen energía a partir de radiación solar implica un gran avance para nuestra sociedad, es dejar atrás la generación del exceso de gases de invernadero que afectan directamente a la atmósfera e indirectamente a todos los seres vivos del planeta.

1.5 Antecedentes

Con el pasar de los años, los países buscan nuevas formas de generación eléctrica con ayuda de las energías renovables, específicamente la generación de energía eléctrica a través de plantas solares fotovoltaicas, cada día más se instalan más plantas de este tipo de energía renovable con la particularidad de que estas aparte de poder ser instaladas sobre el espacio terrestre también pueden ser instaladas en el agua. Estos sistemas solares flotantes o ‘floatovoltaics’ son soluciones adecuadas para situaciones en las que la superficie sobre techo o del suelo está restringida. Los paneles solares flotantes son cada vez más populares: ya hay instalaciones en funcionamiento en Australia y en Estados Unidos. Se planean y construyen más en otros lugares. El creciente interés se debe en parte al tremendo desarrollo del mercado solar en los últimos años, ya que el costo de la tecnología se ha reducido rápidamente.

El primer sistema fotovoltaico flotante se completó en 2007 en Aichi, Japón. Los estadounidenses, daneses, franceses, italianos y japoneses tomaron la delantera en la solicitud de patentes de energía solar flotante entre 2007 y 2014. Sin embargo, inicialmente, estos pequeños sistemas se construyeron con fines de investigación y demostración.

Según el informe del Banco Mundial “Where the sun meets water“, la primera instalación comercial fue un sistema de 175 kWp construido en la bodega Far Niente en California en 2008. Los dispositivos flotantes medianos y grandes (más de 1 MWp) comenzaron a aparecer en 2013, pero ahora se están desarrollando en todo el mundo.



Ilustración 1: Far Niente, Napa Valley, California (Google Maps)

Según el Banco Mundial, con un potencial global de 400 GW bajo supuestos muy conservadores, la energía solar flotante podría duplicar la capacidad instalada existente de energía solar fotovoltaica, pero sin la adquisición de tierra que se requiere para las instalaciones montadas en tierra. Hay más de 400,000 kilómetros cuadrados (km²) de depósito artificiales de agua en el mundo (Shiklomanov 1993), lo que sugiere que la energía solar flotante tiene un potencial teórico en una escala de teravatios, puramente desde la perspectiva de la superficie disponible. Desde 2013, las capacidades de las plantas de energía fotovoltaica flotante se han incrementado. A mediados de 2018, la capacidad instalada acumulada de energía solar flotante se acercaba a 1,1 gigavatios-pico (GWp), el mismo hito que alcanzó la energía fotovoltaica montada en tierra en el año 2000. Actualmente, la mayor parte de la capacidad instalada mundial de 1.100 MWp está en Asia, que actualmente lidera la ola de energía solar flotante.

Siguiendo las tendencias de los últimos años, la tecnología fotovoltaica flotante ha seguido ganando popularidad en 2019. A medida que la tecnología madura y se va abaratando, más países comienzan a desarrollar sus propios sistemas de PV flotante (FPV) en diferentes espacios en aguas dulces y marinas. Hoy, hay operativos proyectos en presas hidroeléctricas, embalses de agua, antiguos emplazamientos mineros inundados, ríos, lagos y agua de mar cerca de la costa e incluso en alta mar.

En el último trimestre de 2019, se puso en marcha el proyecto de FPV más grande de Europa, al iniciar las operaciones la planta de 17MW O’MEGA1 en el valle del Ródano en el sur de Francia construida por Ciel & Terre. Sin embargo, este récord no será de larga duración, dado que ya se ha iniciado la construcción de un proyecto FPV de 27,4 MW en un lago artificial en Países Bajos. Esto marca el cuarto proyecto de la empresa conjunta entre BayWa r.e. y Groenleven, cuyos tres primeros proyectos fueron encargados en 2019 y tienen una capacidad total de unos 25 MW. De acuerdo con la investigación del Instituto de Investigación de la Energía Solar de Singapur (SERIS), la capacidad mundial acumulada de PV alcanzó más de 1.6 GW en 2019, **lo que se traduce en un aumento de más del 35% en comparación con 2018.**

Nombre de la planta/región	Capacidad (MW)	País	Año de operación	Proveedor	Continente
Guqiao Huainan China coal subsidence	150,000	China	2017	Sungrow	Asia
Anhui province	150,000	China	2018	Three Gorges New Energy	Asia
Xinji Huainan China coal subsidence	102,000	China	2017	Sungrow	Asia
Weishan Jining China large-scale waters	100,000	China	2018	Sungrow	Asia
Anhui Cecep	70,005	China	2019	Ciel & Terre	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	70,000	China	2019	Ciel & Terre	Asia
Huancheng Jining China coal subsidence	50,000	China	2018	Sungrow	Asia
Da Mi Hydropower Reservoir	47,500	Vietnam	2019	NA	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	40,000	China	2016	Sungrow	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	32,686	China	2017	Ciel & Terre	Asia
Weishan Jining China coal subsidence	31,000	China	2018	Sungrow	Asia
Xinyi / Anhui province Coal Subsidence	20,000	China	2016	Sungrow	Asia
O’mega1	17,000	Francia	2019	Ciel & Terre	Europa
Sekdoorn	14,500	Países Bajos	2019	BayWa r.e + Groenleven	Europa
Yamakura solar power plant	13,744	Japón	2018	Ciel & Terre	Asia
Thailand JA solar (industrial reservoir)	12,500	Tailandia	2020	NA	Asia
Pei County	9,982	China	2017	Ciel & Terre	Asia
Tynaarlo	8,400	Países Bajos	2019	BayWa r.e + Groenleven	Europa
Agongdian extension	7,674	Taiwan	2018	Ciel & Terre	Asia
Umenoki	7,550	Japón	2015	Ciel & Terre	Asia

Ilustración 2: 20 plantas solares flotantes más grandes del mundo - Instituto de Investigación de la Energía Solar de Singapur (SERIS)

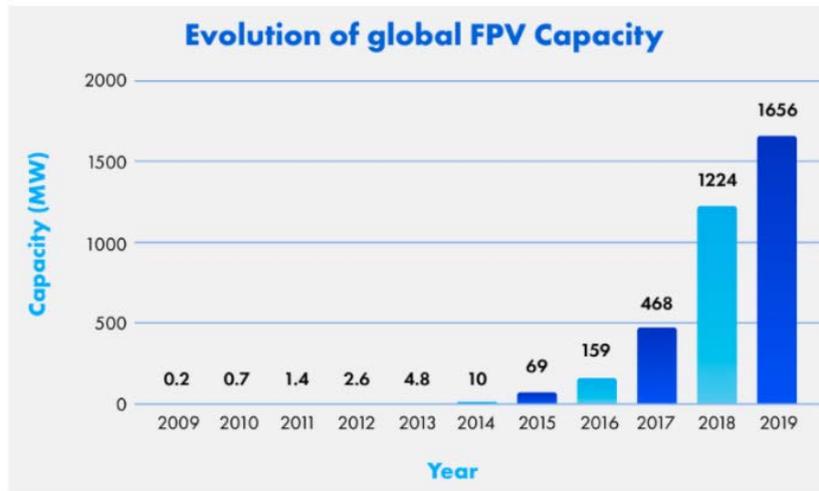


Ilustración 3: Evolución de la capacidad global de plantas solares fotovoltaicas flotantes (FPV) - Instituto de Investigación de la Energía Solar de Singapur (SERIS)

Corea del Sur tendrá la planta solar flotante más grande del mundo, con emplazamiento en la presa de Hapcheon-gun. El proyecto de 41 MW que estará a cargo de Q CELLS, empresa productora de módulos fotovoltaicos, iniciará a finales de 2020; y se espera que pueda cubrir la demanda de 60 mil personas.

Fue en agosto del presente año cuando Q CELLS consiguió los derechos de esta obra de K-water (Instituto de Recursos Hídricos de Corea); la cual tendrá su diseño inspirado en la flor simbólica del condado de Hapcheon, la flor del ciruelo.

La construcción en cuestión contará con los paneles solares Q.PEAK DUO Poseidon Edition, de Q CELLS; mismos que se fabrican especialmente para operar en instalaciones solares flotantes. Están fabricados a partir de materiales ecológicos, y pueden funcionar en altas temperaturas, así como en alta humedad; de acuerdo con las pruebas de verificación KS. Estas pruebas suponen para los módulos exposiciones de más de 3 mil horas en ambientes de 85° Celsius y 85% de humedad relativa.

Asimismo, la estabilidad medioambiental en la presa para el desarrollo de la planta solar se verificó por el Instituto de Medio Ambiente de Corea. Este estudio consideró la calidad del aire y la ecología acuática del sitio; con 4 pruebas de monitoreo en el Complejo de Estudio Empírico de Energía Solar del Lago Hapcheon. Se llegó a la conclusión de que la planta fotovoltaica no impactará negativamente a la zona.

1.5.1 Plantas solares flotantes alrededor del mundo

Huainan City. 20 MW. China



Ilustración 4: Huainan, China.

La provincia china de Anhui acoge la mayor planta fotovoltaica flotante del mundo. La planta, de 40 MW, se encuentra en una zona de subsidencia de la minería de carbón de la ciudad de Huainan, que en la actualidad acoge una piscifactoría y se conectó a la red en abril de 2016, entonces con una capacidad de 20 MW. La planta ha completado su segunda fase de un proyecto de 300 MW, según se recoge en el acuerdo firmado entre el gobierno local de Anhui y el contratista general Hefei Jntech New Energy. La inversión total prevista es de alrededor de 462 millones de dólares, y acabará ocupando una superficie de más de 1.640 hectáreas. El proyecto ha sido completado por Xinyi Solar, dispone de inversores de la también china Sungrow y se prevé que contribuirá a reducir las emisiones de dióxido de carbono en más de 420.000 toneladas al año, objetivo que ha estado en la agenda de muchos gobiernos regionales en China durante algún tiempo.

Umenoki. 7,5 MW. Japón



Ilustración 5: Umenoki, Japón.

Esta planta solar flotante de 7.750,4 kWp está instalada en una balsa de riego, que se encuentra cerca de la ciudad de Higashimatsuyama, prefectura de Saitama, Kanto, Japón.

El sistema solar flotante Hydrelío apoya 27.456 paneles (módulos de 275 Wp de Yingli), y abarca aproximadamente el 57,46% de la superficie del agua (7,43 de 12,93 ha). Para este proyecto, Ciel & Terre se encargó de suministrar el sistema Hydrelío ©, el diseño de la isla solar y del sistema de anclaje. La parte inferior de anclaje con las anclas de tierra fue diseñado para satisfacer una profundidad máxima de 6,9 m y una variación nivel de 6,9 m. La construcción se realizó en 22 semanas y se conectó a la red en octubre de 2015.

Queen Elizabeth II Reservoir. 6,3 MW. Reino Unido



Ilustración 6: Queen Elizabeth II Reservoir. Reino Unido.

El desarrollador de energía solar fotovoltaica Lightsource Renewable Energy ha realizado la mayor planta solar flotante de Europa en el Queen Elisabeth II Reservoir, ubicado al oeste de Londres, cerca de Walton-on-Thames. El proyecto está compuesto por 23.000 paneles solares fotovoltaicos y genera electricidad suficiente para cubrir las necesidades de energía eléctrica de alrededor de 1.800 hogares de la localidad.

En la realización del proyecto Ennoviga Solar utilizó un total de 61.000 flotadores y 177 anclajes. “Este es nuestro proyecto más grande fuera de Japón y el primero con financiación de la banca europea, lo que demuestra que nuestra tecnología no sólo es adecuada para los servicios de agua, sino que también ha sido reconocida como financiable tanto en Europa como en Asia”, declaró Eva Pauly, directora de desarrollo de negocio internacional de Ciel et Terre.

Otae Reservoir. 3 MW. Corea del Sur



Ilustración 7: Otae Reservoir, Corea del Sur.

El desarrollador surcoreano LG CNS completó la construcción de la planta fotovoltaica flotante en el embalse de Otae, en Sangju, provincia de Gyeongsang, en diciembre de 2015. La planta fue construida al mismo tiempo que la del embalse de Jipyong, y tiene una capacidad de generación de 3 megavatios (MW).

Los paneles solares cubren alrededor de 64.000 metros cuadrados de superficie de agua – aproximadamente el tamaño de 10 campos de fútbol – y generan 8.600 megavatios hora (MWh) al año, cantidad de energía suficiente para alimentar 2.400 hogares. La planta solar flotante también es capaz de reducir hasta 3.600 toneladas de dióxido de carbono, casi el mismo efecto que plantar 1,2 millones de pino, según la filial del Grupo LG.

Jipyong Reservoir. 3 MW. Corea del Sur



Ilustración 8: Jipyong Reservoir, Corea del Sur.

La planta fotovoltaica flotante de Jipyong, como acabamos de decir, fue realizada por LG CNS y se conectó a la red en diciembre de 2015. La planta, como su homónima de del embalse Otae tiene una capacidad de 3 MW y está también en la ciudad de Sangju, en la provincia de Gyeongsang

Los paneles solares cubren alrededor de 64.000 metros cuadrados de superficie de agua – aproximadamente el tamaño de 10 campos de fútbol – y generan 8.600 megavatios hora (MWh) al año, cantidad de energía suficiente para alimentar 2.400 hogares. La planta solar flotante también es capaz de reducir hasta 3.600 toneladas de dióxido de carbono, casi el mismo efecto que plantar 1,2 millones de pino, según la filial del Grupo LG.

Godley Reservoir Floating Solar PV. 3 MW. Reino Unido



Ilustración 9: Godley Reservoir Floating Solar PV, Reino Unido.

La planta fotovoltaica flotante del embalse de Godley fue realizada por Forrest para United Utilities en Hyde, en el Gran Manchester. La planta tiene una capacidad de 3 MW y en ella se han invertido 3,5 millones de libras esterlinas.

La instalación es una de las más grandes del sistema fotovoltaico flotante en Europa. El sistema consta de 12.000 paneles solares que flotan en el agua del depósito y cubre un área de 45.500 metros cuadrados. La instalación tiene 46 anclajes de acero y dispone de 29.263 flotadores primarios y secundarios. United Utilities genera en Godley 2,7 GWh anuales de energía renovable con cero emisiones carbono.

Kato-Shi. 2,8 MW. Japón



Ilustración 10: Kato-Shi, Japón.

Esta planta solar flotante de 2.870,28 kWp está instalada en dos balsas de riego, que se encuentran cerca de la ciudad de Takaoka, en la prefectura de Hyogo, Kansai, Japón.

El sistema solar flotante Hydrelío apoya 11.256 paneles (módulos de 255 Wp de Kyocera), y abarca aproximadamente el 59,28% de la superficie del agua (3,13 de 5,28 ha).

Para este proyecto, Ciel & Terre se encargó del suministro del sistema Hydrelío ©, el diseño de la isla solar y del sistema de anclaje. La parte inferior de anclaje con las anclas de tierra fue diseñado para satisfacer una profundidad máxima de 5,7 m y una variación de nivel de 5,7 m. La construcción de la planta duró 15 semanas y se conectó a la red en marzo de 2015.

Tsuga IKE. 2,4 MW. Japón



Ilustración 11: Tsuga IKE, Japón.

Esta planta solar flotante de 2.449 kWp está instalada en un depósito de riego, que se encuentra en la ciudad de Susuka, en la prefectura de Mie, Japón.

El sistema solar flotante Hydrelío © soporta 9.072 paneles (270 módulos Wp Kyocera), y abarca aproximadamente el 27% de la superficie del agua (2,48 de 9,21 ha). Para este proyecto, Ciel & Terre se encargó del suministro del sistema Hydrelío ©, el diseño de isla solar y el diseño del sistema de anclaje. La parte inferior de anclaje con las anclas de tierra fue diseñado para satisfacer una profundidad máxima de 7,2 m y una variación nivel de 7,2 m. La construcción de la planta se realizó en 8 semanas y se conectó a la red en julio de 2016.

Sakasama Ike. 2,3 MW. Japón



Ilustración 12: Sakasama IKE, Japón.

La japonesa Kyocera Corporation acabó de construir la central de energía solar fotovoltaica flotante de 2,3 megavatios en una balsa de riego en la ciudad de Kasai, en la prefectura de Hyogo, al oeste de Japón, en el mes de abril de 2015. La nueva planta propiedad conjunta de Kyocera y de Century Tokyo Leasing Corporation, genera 2.680 megavatios hora (MWh) cada año.

El sistema solar flotante Hydrelío soporta 9.072 paneles (módulos de 255 Wp de Kyocera), y abarca aproximadamente el 36,66% de la superficie del agua (2,61 de 7,12 ha).

Para este proyecto, Ciel & Terre se hizo cargo del suministro del sistema Hydrelío ©, el diseño de la isla solar y del sistema de anclaje. La parte inferior de anclaje con las anclas de tierra fue diseñado para satisfacer una profundidad máxima de 4,5 m y una variación nivel de 4,5 m. La planta se construyó en 11 semanas y se conectó a la red en mayo de 2015.

1.6 Alcances y limitaciones de la investigación

1.6.1 Alcances

Esta investigación tiene como alcance determinar la zona más idónea para la instalación de una planta solar flotante en embalse de agua dulce en la República Dominicana.

En el presente se toman en cuenta las leyes que rigen la implementación de proyectos fotovoltaicos. Se busca implementar todos los adelantos tecnológicos que contribuyan al aumento de la producción de energía eléctrica y a la minimización del impacto ambiental de la puesta en marcha y durante el funcionamiento del parque solar flotante.

Otros alcances que posee este trabajo de investigación son: la estimación del aporte energético del parque solar flotante al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) y la cantidad de paneles solares del que dispondría el parque solar flotante fotovoltaico.

1.6.2 Limitaciones

- Dicho trabajo de investigación se limita únicamente a la propuesta de un parque solar fotovoltaico flotante en un embalse de agua dulce de República Dominicana
- No se realizará diseño, ni dimensionamiento del mismo.
- No se incluirá presupuesto de construcción, instalación y puesta en marcha del parque solar flotante.
- No se incluirá estudio del impacto medio ambiental que dicha propuesta pueda provocar por su implementación.

CAPÍTULO II: Marco Teórico.

2.1 Energía

La energía ha constituido una pieza clave para el desarrollo de la humanidad. El hombre, desde el principio de su existencia, ha necesitado la energía para sobrevivir y avanzar. La energía es esencial en el proceso básico de la vida en el planeta Tierra. El sol es la fuente de energía de la que depende toda la vida terrestre. Es la capacidad que poseen los cuerpos para poder efectuar un trabajo a causa de su constitución (energía interna), de su posición (energía potencial) o de su movimiento (energía cinética). Es una magnitud homogénea con el trabajo, por lo que se mide en las mismas unidades, es decir en julios en el Sistema Internacional. Según la forma o el sistema físico en que se manifiesta, se consideran diferentes formas de energía: térmica, mecánica, eléctrica, química, electromagnética, nuclear, luminosa, etc.

Aunque la energía puede cambiar de forma en los procesos de conversión energética, la cantidad de energía se mantiene constante conforme con el principio de conservación de la energía que establece que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma". Por consiguiente, la energía total de un sistema aislado se mantiene constante y en el universo no puede existir creación o desaparición de energía, sino transferencia de un sistema a otro o transformación de energía de una forma a otra.

2.2 Electricidad

La electricidad es el conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas. Se manifiesta en una gran variedad de fenómenos como los rayos, la electricidad estática, la inducción electromagnética o el flujo de corriente eléctrica. La electricidad es una forma de energía tan versátil que tiene un sinnúmero de aplicaciones, por ejemplo: transporte, climatización, iluminación y computación.

La electricidad se da por el conjunto de fenómenos causados por la existencia, interacción y movimiento de cargas eléctricas. Esta forma de energía se manifiesta con el movimiento de partículas cargadas en la superficie de un material conductor. Las partículas cargadas pueden ser, electrones, protones o iones.

2.3 Energía eléctrica

La energía eléctrica es una forma de energía que se deriva de la existencia en la materia de cargas eléctricas positivas y negativas que se neutralizan. Esta puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. Es una de las formas de energía más importantes para el desarrollo tecnológico debido a su facilidad de generación y distribución y a su gran número de aplicaciones.

La energía eléctrica apenas no se puede encontrar de forma libre en la naturaleza de una forma que pueda ser aprovechable. Se puede observar en las tormentas eléctricas, pero a la práctica no se pueden almacenar y controlar tal cantidad de energía. Las centrales eléctricas son capaces de producir electricidad desde diferentes fuentes. Los diferentes tipos de centrales dependerán de la fuente de energía que utilicen.

Estas fuentes las podemos clasificar en:

- Fuentes de energía renovables.
- Fuentes de energía no-renovables.

2.4 Fuentes de energía renovables

Las Fuentes de energía renovables son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza.

Las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitiva. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero –causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

2.4.1 Tipos de fuentes de energía renovable

Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias se encuentran:

- **Energía eólica:** la energía que se obtiene del viento
- **Energía solar:** la energía que se obtiene del sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol)
- **Energía hidráulica o hidroeléctrica:** la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce
- **Biomasa y biogás:** la energía que se extrae de materia orgánica
- **Energía geotérmica:** la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra
- **Energía mareomotriz:** la energía que se obtiene de las mareas
- **Energía undimotriz u olamotriz:** la energía que se obtiene de las olas

2.5 Red de suministro eléctrico

Dentro del sistema de suministro eléctrico se diferencian tres actividades principales: la generación de la energía necesaria para satisfacer el consumo; el transporte, que transfiere la energía hasta las subestaciones; y la distribución, que hace posible que la energía llegue a los clientes finales. La red de distribución está formada por el conjunto de cables subterráneos y los centros de transformación que permiten hacer llegar la energía hasta el cliente final.

Se trata de la parte del sistema de suministro eléctrico responsable de las compañías distribuidoras de electricidad hasta los consumidores finales. El sistema de suministro eléctrico es el conjunto de medios y elementos utilizados para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica, los cuales cuentan con mecanismos de control, seguridad y protección.

Está regulado por un sistema de control que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y buena calidad de servicio. La red de transporte puede ser propiedad, estar operada y gestionada por un ente independiente de las compañías propietarias de las centrales y de las distribuidoras o comercializadoras de electricidad.

2.6 Servicio Eléctrico Nacional Interconectado (SENI)

Conjunto de instalaciones de unidades eléctricas generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y de líneas de distribución, interconectadas entre sí, que permite generar, transportar y distribuir electricidad, bajo la programación de operaciones del organismo coordinador. Es el conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de distribución que se encuentran interconectados entre sí. La programación y operación integrada del SENI está a cargo del Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC).

2.7 Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ADIE)

La Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica, es una organización profesional de carácter sectorial sin fines de lucro incorporada bajo Resolución No. 0057 de fecha 11 de septiembre del 2009 emitida por la Procuraduría General de la República. ADIE busca promover, a través de la cooperación voluntaria de sus miembros, el desarrollo, expansión y fortalecimiento de las actividades asociadas al sector eléctrico de la República Dominicana, dentro de un marco de justa competitividad y de prácticas éticas.

Entre los objetivos específicos de la ADIE - Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica se encuentran estudiar los problemas básicos que afecten las actividades de los actores del mercado eléctrico dominicano, aportar soluciones, velar por la adopción e implementación de las mejores prácticas en el sector eléctrico, incentivando la eficiencia en la industria e incluyendo la promoción de reglas y políticas claras que sean coherentes con el sano desarrollo de la industria eléctrica y contribuir a la difusión de información relacionada con el área, y a la educación vinculada a este sector.

Adicionalmente la ADIE establece y mantiene relaciones con organismos internacionales que promuevan la industria eléctrica, así como con otras organizaciones empresariales, asociaciones, fundaciones, federaciones.

2.8 Río

Un río es una corriente de agua que fluye desde su nacimiento hasta su desembocadura en otro río, lago o en el mar. Un río puede ser más o menos caudaloso dependiendo de las partes del río, y se pueden alimentar de varias formas:

- Precipitaciones.
- Escorrentía terrestre.
- Manantiales y filtraciones.
- Agua de deshielo en zonas con nieve y glaciares.

2.9 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es un área de tierra que drena todas las corrientes y las precipitaciones hacia una salida común, como la salida de un embalse, la desembocadura de una bahía o cualquier punto a lo largo del canal de un arroyo. La palabra cuenca hidrográfica a veces se usa indistintamente con cuenca de drenaje o cuenca hidrográfica. Las cuestas y las colinas que separan dos cuencas hidrológicas se llaman divisoria de drenaje.

La cuenca hidrográfica está compuesta por agua superficial (lagos, arroyos, embalses y humedales) y todas las aguas subterráneas subyacentes. Las cuencas hidrográficas más grandes contienen muchas cuencas hidrográficas más pequeñas. Todo depende del punto de salida; toda la tierra que drena el agua hasta el punto de salida es la cuenca hidrográfica para esa ubicación de salida. Las cuencas hidrográficas son importantes porque el caudal y la calidad del agua de un río se ven afectados por factores inducidos por el hombre o no, que ocurren en el área terrestre "arriba" del punto de salida del río.

2.10 Presa

La presa, dique o represa es una pared que se coloca en un sitio determinado del cauce de una corriente natural con el objeto de almacenar parte del caudal que transporta la corriente (Giraldo Betancourt, 2014). La pared debe ser diseñada para que soporte las fuerzas que se generan por la presión del agua, y para que impida filtraciones a lo largo de su estructura y en las superficies de contacto entre la estructura y el terreno natural adyacente. Además, la presa debe contar con obras complementarias que permitan el paso del agua que no se embalsa y con estructuras de toma para captar y entregar el agua embalsada a los usuarios del sistema (Arango Tobón).

Las presas son estructuras hidráulicas de grandes dimensiones que permiten almacenar o retener agua para aprovecharla en actividades como el riego, el consumo humano, la generación de energía eléctrica, entre otras. Sirven, también, para el control de inundaciones, ya que impiden que el agua de las montañas baje hasta las comunidades que se sitúan en terrenos planos y cercanos a ríos.

2.10 Embalse

Un embalse es una estructura hidráulica que contiene un gran depósito de agua, donde se almacenan aguas de ríos. Es un depósito de agua que se forma artificialmente.

Lo habitual es cerrar la desembocadura de un valle a través de un dique de una presa, almacenando el agua de un río o un arroyo. Contiene agua, puede abastecer a poblaciones cercanas, producir electricidad o regar la tierra. Entre otros fines, el embalse es usa para el riego, abastecimiento, producción de energía eléctrica y actividades de ocio.

Básicamente un embalse creado por una presa que interrumpe el cauce natural de un río pone a disposición del operador del embalse: un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para múltiples fines, algunos de ellos complementarios y otros conflictivos entre sí; así como también pone a disposición del operador del embalse, un potencial energético derivado de la elevación del nivel del agua.

2.11 Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella en la que la energía potencial del agua almacenada en un embalse se transforma en la energía cinética necesaria para mover el rotor de un generador, y posteriormente transformarse en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas se construyen en los cauces de los ríos, creando un embalse para retener el agua. Para ello se construye un muro grueso de piedra, hormigón u otros materiales, apoyado generalmente en alguna montaña. La masa de agua embalsada se conduce a través de una tubería hacia los álabes de una turbina que suele estar a pie de presa, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, que hace mover los álabes de la turbina.

Una central eléctrica no almacena energía, sino que su producción sigue a la demanda solicitada por los usuarios. Como esta demanda es variable a lo largo del día, y con la época del año, las centrales eléctricas pueden funcionar con una producción variable. Sin embargo, la eficacia aumenta si la producción es constante; para ello existe un camino para almacenar la energía producida en horas de bajo consumo, y usarla en momentos de fuerte demanda,

mediante las centrales hidráulicas de bombeo. Estas centrales tienen dos embalses situados a cotas diferentes. El agua almacenada en el embalse superior produce electricidad al caer sobre la turbina, como antes se indicó, cubriendo las horas de fuerte demanda. El agua llega posteriormente al embalse inferior, momento en que se aprovecha para bombear el agua desde el embalse inferior al superior, usando la turbina como motor, si fuera reversible, o el alternador.

2.12 Evolución de la generación de electricidad, El Sol como materia prima

La historia de la humanidad ha estado marcada por múltiples revoluciones que se han formado en silencio, pequeños acontecimientos que se integran para formar una idea, un pensamiento, una metodología y nuevos paradigmas que han marcado un hito en el proceso de desarrollo del ser humano.

El tiempo nos ha permitido apreciar el producto y resultado de cada una de las distintas revoluciones que como raza hemos vivido, así mismo nos ha dado la madurez y las herramientas para el estudio de las revoluciones vigentes y latentes de hoy en día como lo es la revolución energética.

El científico francés Alexandre Edmond Becquerel en el año 1839, se percató de que al sumergir una pila electrolítica en una sustancia de la misma propiedad y luego al exponerla a la luz esta generaba más electricidad.

Luego el ingeniero británico Willoughby Smith en 1873, desarrolló un método para probar continuamente un cable submarino, mientras iba siendo instalado para su circuito de prueba, necesitaba un material semiconductor con una alta resistencia y para ello seleccionó usar varillas de selenio. El selenio parecía hacer el trabajo correctamente, sin embargo, daba resultados inconsistentes, luego de investigar, descubrió que la conductividad de las varillas

de selenio aumentaba significativamente cuando se exponía a una luz intensa, esto lo motivó a escribir el artículo "Efecto de la Luz en selenio durante el paso de una corriente eléctrica".

En 1883 el inventor estadounidense Charles Fritts, crea la primera célula fotoeléctrica del mundo, este recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de solo un uno por ciento (1%) y no era rentable por los altos costos de los materiales.

Más adelante en 1885, el artículo de Smith llamó la atención de otros dos científicos británicos, William Grylls Adams y Richard Evans Day, que para poder comprobar que el selenio respondía a la luz, hicieron varias pruebas con velas encendidas hasta que pudieron verificar que el flujo eléctrico que se generaba se debía al haz de luz de la vela no al calor que generaba la llama de la misma.

El físico alemán Heinrich Rudolf Hertz para mediados de 1887, observó que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad, también notó que un objeto cargado pierde su carga más fácilmente al ser iluminado con esta luz, descubriendo así el efecto fotoeléctrico.

En 1905 Albert Einstein dió la explicación teórica del efecto fotoeléctrico y descubrió que al iluminar con luz violeta, que es de alta frecuencia, los fotones pueden arrancar los electrones de un metal y producir corriente eléctrica. Esta investigación le permitió ganar el Premio Nobel de Física en 1921.

Años más tarde en 1918 Jan Czochralski científico polaco, inventa un método para conseguir el crecimiento de mono cristales de metal. Décadas más tarde, el método fue adaptado para producir silicio monocristalino.

El ingeniero estadounidense Russell Ohl, patentó las primeras células solares de silicio en 1946, estas fueron consideradas como la célula solar moderna y se las nombró como "dispositivo sensible a la luz".

2.13 Radiación solar

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas. La radiación se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol.

La radiación solar es la energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol. Esta radiación se genera a partir de las reacciones nucleares de fusión que se producen en el núcleo solar. Las radiaciones nucleares producen radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda. La radiación electromagnética se propaga en el espacio a la velocidad de la luz.

La energía solar es la principal fuente energética y, por lo tanto, el motor que mueve nuestro medio ambiente.

La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular. No solamente varía la insolación máxima diaria (horas en las que el Sol está por encima del horizonte del lugar) sino que la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa. En término medio sólo el cuarenta y siete por ciento (47%) de la radiación incide sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El treinta y uno por ciento (31%) lo hace directamente y el otro dieciséis por ciento 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y moléculas de

aire. La energía restante, un cincuenta y tres por ciento 53% es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmósfera.

Ilustración 13: Distribución de la radiación solar.

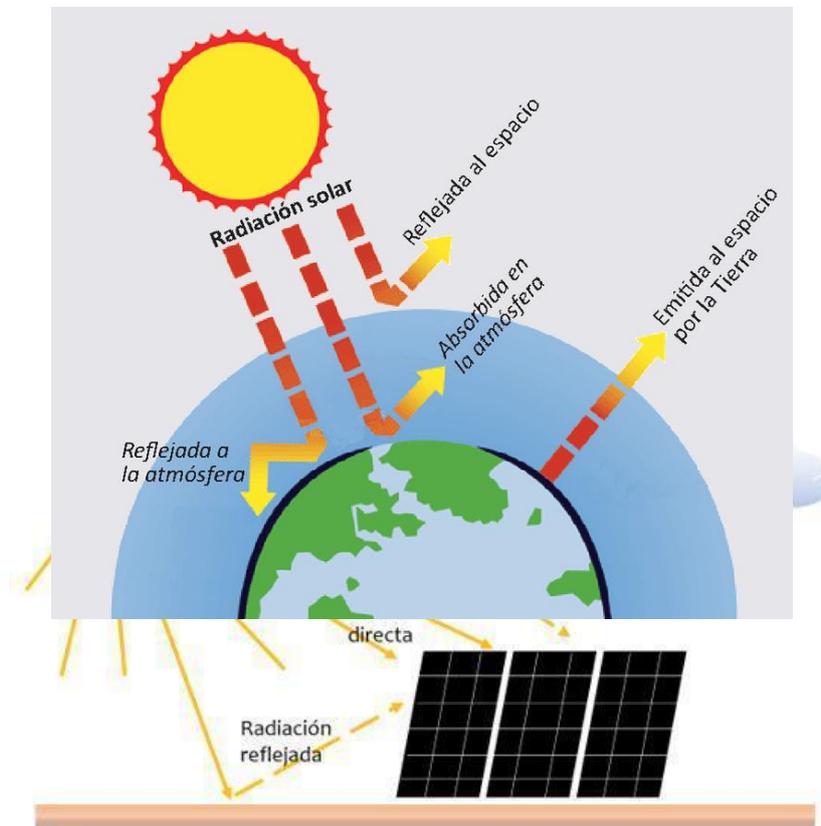


Ilustración 14: Radiación solar en la Tierra.

2.14 Irradiancia

La irradiancia es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una determinada superficie. Esta cantidad de radiación solar que incide sobre una superficie se mide a lo largo del espacio y el tiempo especificado.

2.15 Hora solar pico (HSP)

Es una unidad que mide la radiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Una hora solar pico equivale a $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m^2 , tal y como se muestra en la siguiente conversión: Se utiliza en el dimensionado de paneles fotovoltaicos.

2.16 Energía solar

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar. Este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y, posteriormente, puede ser aprovechada.

La energía solar se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Cuando se trata de energía térmica obtenemos calor para calentar un fluido.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar. Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo escogido para el aprovechamiento de la energía solar:

- Mediante captadores solares térmicos (energía solar térmica)
- Mediante paneles solares fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica)
- Sin ningún elemento externo (energía solar pasiva)

2.17 Obtención de energía solar fotovoltaica

El sol es el encargado de calentar la tierra por medio de la radiación solar, la cual viaja desde el sol a través del espacio mediante unas partículas llamadas fotones. Estas partículas funcionan como vehículos transportadores de la energía solar.

La luz del sol (que está compuesta por fotones) incide en las células fotovoltaicas de la placa, creándose un campo de electricidad entre las capas. Así se genera un circuito eléctrico, principal responsable de cómo funciona la energía solar fotovoltaica. Cuanto más intensa sea la luz, mayor será el flujo de electricidad.

Las células fotoeléctricas transforman la energía solar en electricidad en forma de corriente continua, y esta suele transformarse a corriente alterna para poder utilizar los equipos electrónicos que tenemos en nuestras casas.

El dispositivo que se encarga de esta transformación se denomina inversor. Este transforma la corriente continua en corriente alterna con las mismas características que la de la red eléctrica a la que va a verse, controlando la uniformidad y calidad de la señal.

Dicha corriente alterna (generada finalmente) pasa por un contador (que la cuantifica) y de allí es inyectada a la red general. Así es posible aprovechar la energía solar para transformarla en energía eléctrica, un elemento indispensable para la sociedad actual.

2.18 Celda o célula fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas (también llamadas células solares, célula fotovoltaica, fotocélula o celdas solares), tienen su origen en el año 1839 y fueron un descubrimiento realizado por Alexandre-Edmond Becquerel, un físico de origen francés que se dedicó al estudio del espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica, entre otras cosas.

Las células fotovoltaicas son mecanismos o dispositivos eléctricos que consiguen transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Dicho de otro modo, son dispositivos que producen electricidad cuando la luz solar les alcanza o recae sobre ellos.

El principal componente de las celdas fotovoltaicas son los semiconductores. Estos semiconductores, normalmente están hechos en base silicio.

Se utiliza el silicio porque tiene unas propiedades muy ventajosas frente a otros materiales, es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. Un átomo de silicio cuenta con 14 electrones repartidos en diferentes capas. La última capa consta de 4 electrones y se encuentra semivacía. El silicio se tiene que dopar con otro elemento para generar una

inestabilidad eléctrica, que lo convierta así en semiconductor de lo contrario al tener el mismo número de electrones que de protones es un elemento eléctricamente estable y no es útil para nuestro fin. Los dopantes más comunes son el fosforo (p-tipo) o el boro (n-tipo), esto genera que la última capa esté siempre buscando llenarse.

El funcionamiento es más sencillo de lo que parece: la luz solar incide sobre la celda solar y una porción de ella es absorbida por el material semiconductor (sea el silicio u otro). Es decir, el material semiconductor utilizado absorbe la luz del sol. Cada fotón genera en el semiconductor lo que se conoce como par electrón-hueco dadas las propiedades del semiconductor cada uno se dirige a una parte de la célula, la cual, cuando es conectada a través del circuito externo, se generan la electricidad que observamos al encender, por ejemplo, una bombilla.

2.19 Paneles solares fotovoltaicos



Ilustración 15: Panel solar fotovoltaico.

Un panel fotovoltaico es un tipo de panel solar diseñado para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Su función es transformar la energía solar en electricidad. También recibe el nombre de módulo fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos se pueden utilizar para generar energía eléctrica tanto en aplicaciones domésticas como en aplicaciones comerciales.

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. El panel fotovoltaico es el encargado de transformar de una manera directa la energía de la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua.

La célula solar sólo es capaz de generar una tensión de unas décimas de voltio (+/- 0,5 V) y una potencia máxima de 1 o 2 Watts. Por tanto, es necesario conectar en serie varias células (que se comportan como pequeños generadores de corriente) para conseguir tensiones de 624 V, aceptadas en muchas aplicaciones. Las placas fotovoltaicas producen electricidad en forma de corriente continua y suelen tener entre 20 y 40 células solares. De todos modos, es habitual que los módulos estén formados por 36 células para alcanzar los voltios necesarios para la carga de las baterías (12V).

Un parque fotovoltaico es una instalación de energía solar a gran escala, establecido en terrenos o superficies acuáticas y compuesto por un gran número de placas solares interconectadas. Requieren varios inversores, una sala de control centralizada y transformadores de alta tensión para su funcionamiento.

2.19.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

No todos los paneles solares son iguales e igualmente no todos te servirán para conseguir los mismos objetivos, esta es una razón por la cual hemos decidido realizar este artículo sobre los tipos de paneles solares. En muchos casos siempre hablan de los paneles fotovoltaicos, pero en realidad existen tres tipos de paneles solares:

- Paneles Solares Térmicos
- Paneles Solares Fotovoltaicos
- Paneles Solares Híbridos (Térmicos + Fotovoltaicos)

Paneles Solares Térmicos

A este tipo de panel también se le conoce como colector solar. Su principal característica es que pueden convertir la energía solar en energía térmica (calor), usados principalmente para el calentamiento solar activo.

Este tipo de colectores por lo general están montados en los **techos** y son muy **resistentes** a los cambios bruscos de clima. Se usan a nivel doméstico e industrial, ya sea para climatizar piscinas, como también para el calentamiento de agua para uso personal o para producir vapor, entre otros usos.

Paneles Solares Fotovoltaicos.

La principal característica de este tipo de panel, sin darle tantas vueltas al asunto, es que permiten transformar la energía solar en electricidad. Por tal motivo fueron puestos bajo la mira con el supuesto impuesto al sol, del cual hoy en día decimos adiós.

Paneles Solares Híbridos

El panel solar híbrido combina la tecnología tanto del panel solar térmico y la del fotovoltaico, lo que permite que puedan producir calor y electricidad de manera simultánea. Este tipo de paneles solares han venido tomando fuerza en los últimos años en cuanto a su desarrollo, ya que la eficiencia en promedio puede aumentar hasta en un 75% en comparación con los otros tipos de paneles.

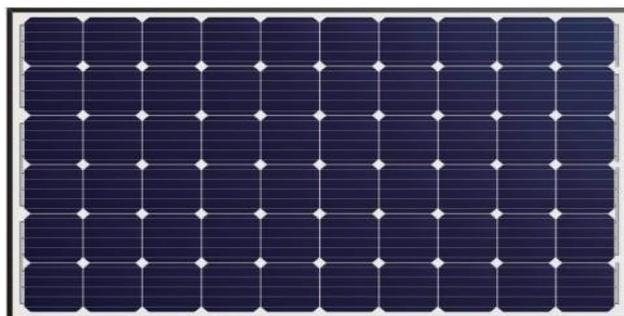


Ilustración 16: Panel solar fotovoltaico monocristalino.

Panel solar Monocristalino

El panel solar monocristalino cuenta con unas excelentes características técnicas para climas que habitualmente tienen nubes, tormentas y con temperaturas máximas no muy altas, esto es debido a que la sensibilidad del panel solar monocristalino consigue la máxima radiación solar en bajas temperaturas y no resiste demasiado bien el sobrecalentamiento.

Se caracterizan por la sensibilidad para la captación en de la energía solar, pues a efectos prácticos, el panel solar monocristalino es recomendable para climas con tendencia a tormenta, inestabilidad climatológica, niebla y lluvia, pues, aunque absorben mejor el calor no están preparados para el sobrecalentamiento.

Su rendimiento de laboratorio es cercano al 24%, y su rendimiento comercial oscila entre 17% y el 20%. Este es un factor importante cuando no se dispone de mucha superficie para instalar paneles, ya que así podemos conseguir mayor potencia con el mismo espacio. Generalmente se comportan mejor con radiación difusa.

Panel solar Policristalino

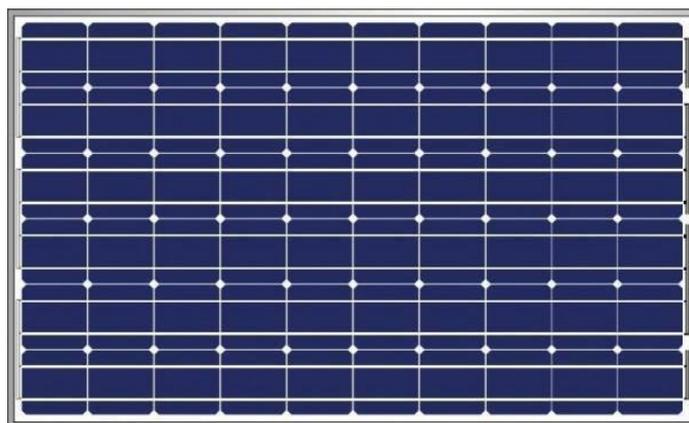


Ilustración 17: Panel solar fotovoltaico policristalino.

Los paneles Policristalinos tienen un rendimiento de laboratorio cercano al 19%, y su rendimiento comercial oscila entre 13 y el 15%. A pesar de tener un rendimiento menor, los paneles policristalinos tienen un menor precio que los monocristalinos y un mejor

comportamiento a altas temperaturas, con lo que bajo estas condiciones pueden generar más energía que el resto de los paneles.

El panel solar policristalino suministra la tensión perfecta para instalaciones de bajo consumo. Los paneles solares fabricados en silicio policristalino son los más empleados por su bajo coste de fabricación y su gran eficiencia. Es considerado una de las buenas opciones para quienes desean incorporar este tipo de generador de energía cuando se desea aprovechar al máximo la luz del sol.

Panel solar de capa fina (thin film)

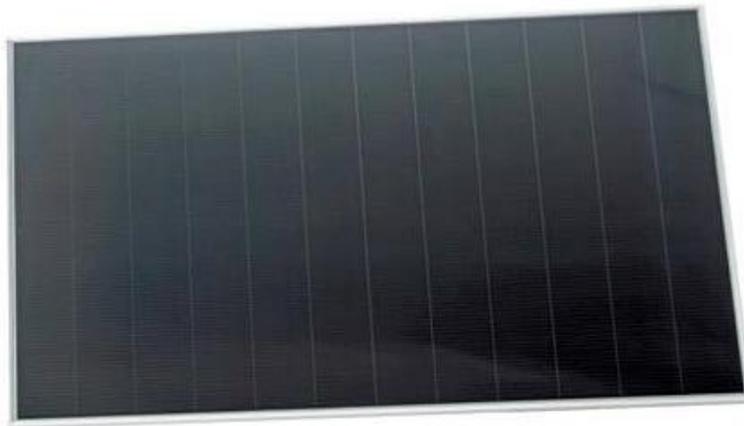


Ilustración 18: Panel solar fotovoltaico de capa fina.

Actualmente, en la industria fotovoltaica, encontramos paneles solares de diferentes tecnologías. Si bien el silicio sigue siendo el elemento fotosensible predominante (gracias a su capacidad de producir mayor electricidad que otros componentes) los paneles varían en eficiencia, aplicabilidad y vertiente estética.

Los paneles solares de Capa Fina -Thin Film– se presentan como una innovación económicamente eficiente y estéticamente atractiva. Sus componentes extremadamente delgados contenidos entre dos láminas de vidrio templado, resultan en un producto más liviano, versátil y que se adapta a cualquier tipo de superficie de instalación: concreto, madera, metal, plástico o vidrio.

Los paneles de capa fina (thin film) generalmente tienen un rendimiento de laboratorio cercano al 13%, y su rendimiento comercial oscila entre 7 y el 9%.

2.20 Eficiencia

La eficiencia del panel solar es una medida de la cantidad de energía solar que cae sobre la superficie de un panel y se convierte en electricidad. Debido a los actuales avances en la tecnología de células solares en los últimos años, la eficiencia promedio de conversión de paneles ha aumentado de 15% a casi 20%. Este gran salto en la eficiencia ha aumentado la potencia nominal de salida de los paneles de tamaño estándar de 240-260W a 300-330W.

La eficiencia del panel solar está determinada por dos factores principales, la eficiencia de la celda fotovoltaica basada en el diseño de la celda y el tipo de silicio, y la eficiencia total del panel basada en la configuración de la celda y el diseño del panel.

2.21 Parque solar fotovoltaico

Un parque fotovoltaico es una instalación de energía solar a gran escala, establecido en terrenos o superficies acuáticas y compuesto por un gran número de placas solares interconectadas. Requieren varios inversores, una sala de control centralizada y transformadores de alta tensión para su funcionamiento.

Estos parques solares, creados con la finalidad de captar grandes cantidades de luz solar y transformarla en energía eléctrica, pueden generar miles de vatios de electricidad por segundo, abasteciendo industrias, complejos urbanos, ciudades o incluso vender su energía a las redes de distribución eléctrica.

Un parque fotovoltaico está compuesto de miles de paneles solares conectados entre sí, por medio de conductores eléctricos agrupados por áreas.

Dependiendo de sus características, los parques solares tienen la capacidad de generar miles de vatios de electricidad por segundo y son una fuente de energía renovable cada vez más eficiente.

2.22 Parque solar fotovoltaico flotante

Las plantas fotovoltaicas flotantes son una forma emergente de sistemas fotovoltaicos que flotan en la superficie de depósitos de agua potable, lagos, presas, canales de riego y balsas de residuos. Son una de las nuevas fórmulas que se han comenzado a desarrollar en los últimos años. Su planteamiento es similar al de los parques eólicos marinos (offshore), los cuales también son cada vez más comunes. Consisten en:

- **Un sistema flotante:** También conocido como pontón, es una estructura resistente que sostiene el panel solar. Se compone de una estructura y un flotador que permite la instalación del módulo fotovoltaico.
- **Un sistema de amarre:** Es una estructura permanente utilizada para detener el libre movimiento de la estructura flotante en el agua. Esto permite ajustar las fluctuaciones del nivel del agua mientras mantiene su posición en dirección sur. La estructura flotante se puede fijar en un punto en la parte inferior de la vía fluvial, eliminando la necesidad de conectarse a la estructura flotante en la orilla. Esto se puede hacer con la ayuda del anclaje de amarre.
- **Un sistema FV:** equipos de generación FV. La mayoría de los módulos solares fotovoltaicos utilizados en la industria son cristalinos.
- **Cable submarino:** para transferir la energía generada a la subestación eléctrica.

2.23 Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Esta aplicación consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica. Este tipo de centrales fotovoltaicas pueden ir desde pequeñas instalaciones de 1 a 5 kwp en nuestra terraza o tejado, a instalaciones de hasta 100 kwp sobre cubiertas de naves industriales o en el suelo, e incluso plantas de varios megavatios. Tiene como componente fundamental el inversor, y su función es convertir la corriente continua que viene del subsistema de generación en corriente alterna e inyectar a la red.

2.24 Sistemas de flotadores más utilizados en parques solares flotantes

2.24.1 Hydrelío, Ciel & Terre



Ilustración 19: Sistema solar flotante Hydrelío.

La empresa francesa **Ciel & Terre** ha desarrollado una innovadora plataforma que podría mejorar los sistemas actuales de energía solar.

Se trata de **Hydrelío**: El sistema de granjas solares fotovoltaicas flotantes, que funciona de manera sencilla, accesible, fácilmente escalable y duradera, aseguran sus creadores. La plataforma permite instalar placas solares fotovoltaicas estándar en grandes superficies acuáticas, como embalses, lagos, canales de riego, estanques, etcétera.

Hydrelío fue presentado como una alternativa más sencilla y económica en comparación con las granjas solares instaladas en zonas donde las empresas deben invertir para ocupar el suelo.

Además de este ahorro, el sistema permite que, gracias al efecto de enfriamiento del agua en los paneles solares, se produzca más energía que en los instalados en tierra de tamaño similar. También, al protegerse el agua del calor del sol, las plataformas evitan la evaporación, aumentando así el retorno de la inversión.

Mejora la calidad del agua y reduce los costos de mantenimiento al reducir el crecimiento de las algas. Además, se le pueden incorporar aireadores y dispositivos para hacer circular el agua, alimentados con energía solar, que la oxigenan y mantienen en buen estado, ahorrando en productos químicos y mantenimiento.

Esta innovadora tecnología tiene una vida útil estimada que ronda los 30 años y desde el año 2011 está siendo probada en un proyecto piloto en Francia, donde ha demostrado su eficacia y correcto funcionamiento.

Actualmente la tecnología Hydrelío ha sido implementada en países de América Latina, tales como:

- **Sobradinho:** ubicada en el estado de Bahía, Brasil, esta planta solar flotante de 1.005 kWp está instalada en una presa hidroeléctrica con una superficie de 421.400 ha (hectáreas). La plataforma está equipada con la versión Classic de la tecnología Hydrelío® y admite 3,792 paneles solares flotantes
- **Las Tórtolas:** ubicado en Chile, este piloto solar flotante de 85 kWp está instalado en un lago minero con un área de 140 ha (hectáreas). La plataforma está equipada con la versión Classic de la tecnología Hydrelío® y admite 256 paneles solares flotantes.

- **Peñol Guatapé:** ubicado en Colombia, este piloto solar flotante de 99 kWp está instalado en un depósito de retención de agua. La plataforma está equipada con la versión Classic de la tecnología Hydrelío® y admite 368 paneles solares flotantes
- **Goias Farm:** ubicado en Brasil, este piloto solar flotante de 305 kWp está instalado en un estanque agrícola con una superficie de 6.994 m² (0,7 hectáreas). La plataforma está equipada con la versión Classic de la tecnología Hydrelío® y admite 1,150 paneles solares flotantes.
- **Miraflores:** ubicado junto al Canal de Panamá, Panamá, este piloto solar flotante de 24 kWp está instalado en un estanque de retención de agua con un área de 144,040 m² (14 hectáreas). La plataforma está equipada con la versión Classic de la tecnología Hydrelío® y admite 96 paneles solares flotantes.



Ilustración 20: Ficha técnica de sistema Hydrelío

2.24.2 Isifloating, ISIGENERE

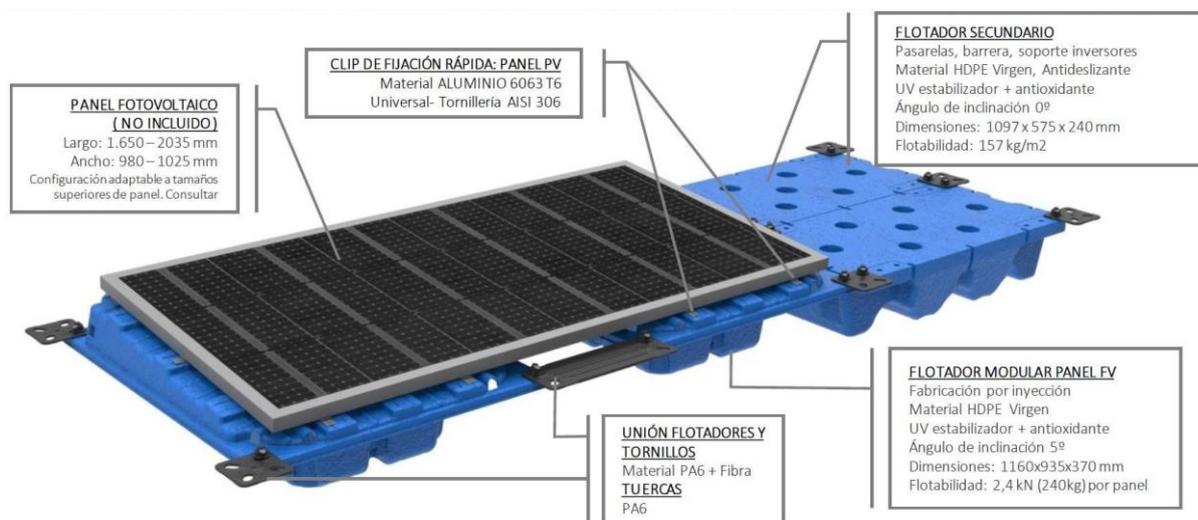


Ilustración 21: Ficha técnica del sistema Isifloating, ISIGENERE

Isigener es una compañía de ingeniería y desarrollo de producto que ha creado Isifloating, el sistema solar flotante pionero en el mundo desde 2008.

Isifloating es el sistema solar flotante de más alta calidad, durabilidad y eficiencia en costes del mundo. Su tecnología única y patentada permite la cobertura parcial o completa de la superficie del agua (de fondo y taludes). Puede usarse en balsas de riego o de uso industrial, embalses así como en plantas hidroeléctricas o de tratamiento de aguas, lagos de minas, etc.

Además de ayudar a reducir el cambio climático, Isifloating ha sido diseñado para facilitar a la empresa la instalación y mantenimiento de forma segura para el personal así como reducir los costes logísticos mientras aporta un máximo de rendimiento energético. Otra de las ventajas de estos flotadores solares, que salen de fábrica con una inclinación fija de 5° –la óptima en coste/eficiencia para este tipo de instalaciones, según Isigener– es que permiten colocar sobre ellos paneles fotovoltaicos de diferentes dimensiones y potencias. El rango de

potencia va de los 250 a los 400 Wp, la longitud de los 1.650 a 2.000 mm y el ancho de 980 a 1.046 mm. Cada placa solar puede soportar 240 kg de peso, vientos de hasta 180 km por hora, olas de un metro y medio y temperaturas de entre -20°C y 60°C. El sistema también se adapta a los diferentes y cambiantes niveles del agua, al apoyarse los flotadores entre sí y sobre los taludes cuando el agua baja.

Actualmente la tecnología Isifloating ha sido implementada en distintos países del mundo, tales como: España, Alemania, Países Bajos, Israel, Chile y Kenya.

CAPÍTULO III: Marco Metodológico.

3.1 Enfoque de la investigación.

Según Sampieri, el enfoque de la investigación puede ser cualitativo, cuantitativo y mixto.

El **enfoque cualitativo** de una investigación se basa en el empleo de métodos de recolección de datos no estandarizados, ni completamente predeterminados, sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación. Este tipo de enfoque se basan más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas), van de lo particular a lo general y buscan principalmente “dispersión o expansión” de los datos e información. (Hernández, Fernández y Baptista 2010)

El investigador cualitativo utiliza técnicas para recolectar datos, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, e interacción e introspección con grupos o comunidades. (Hernández, Fernández y Baptista 2010)

Taylor y Bogdan (1986) consideran, en un sentido amplio, la investigación cualitativa como "aquella que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable".

Esta investigación requiere de la exploración a profundidad de los datos recolectados, para su desarrollo no es necesario fundamentarla en datos estadísticos, no cuenta con una secuencia lineal y responde un proceso totalmente inductivo por lo que se puede concluir que esta investigación tiene un enfoque cualitativo.

3.2 Tipo de investigación.

De acuerdo con Danhke, 1989 (citado por Hernández, Fernández y Baptista, 2010), los estudios descriptivos “miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar”. Esto con el fin de recolectar toda la información que obtengamos para poder llegar al resultado de la investigación.

Se considera como investigación descriptiva según Salkind (1998), es aquella en que se reseñan las características o rasgos de la situación o fenómeno objeto de estudio.

La descripción implica la observación sistemática del objeto de estudio y catalogar la información que es observada para que pueda usarse y replicarse por otros. En la investigación descriptiva, el objetivo es describir el comportamiento o estado de un número de variables. El método descriptivo orienta al investigador en el método científico.

3.3 Procedimiento de la investigación.

Según Hernández, Fernández y Baptista, (2010) en el procedimiento cualitativo las etapas se constituyen más bien con acciones que efectuamos para cumplir con los objetivos de la investigación y de esa manera responder a las preguntas del estudio. No hay momentos en el proceso donde podamos decir: “aquí terminó esta etapa y ahora sigue tal etapa”, sino que, al ingresar al campo o ambiente, por el simple hecho de observar lo que ocurre en él, estamos recolectando y analizando datos, y durante esta labor, la muestra puede ir ajustándose, es decir, que el muestreo, la recolección y el análisis resultan actividades casi paralelas.

3.4 Técnica de investigación.

Entre las técnicas de estudios a utilizar están la recopilación de datos bibliográficos, trabajos de gabinete y trabajos de campo.

3.4.1 Análisis bibliográfico.

Se realizaron consultas de documentos y publicaciones de los parques solares fotovoltaicos flotantes en embalse de agua dulce más importantes del mundo, como también de su capacidad de producción de energía eléctrica, y terrenos propicios para el desarrollo de este tipo de proyecto; estas informaciones sirvieron de antecedentes a la investigación. Este contenido en su mayoría también sirvió como base de conocimiento para lograr el desarrollo del tema de trabajo.

3.4.2 Trabajo de Gabinete.

La información recopilada consiste en datos estadísticos y estandarizados facilitados por varias instituciones públicas, dentro de las que cabe mencionar: la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), Comisión Nacional de Energía (CNE) la Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ADIE), el Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA), Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.4.3 Trabajo de Campo.

La labor de campo consistió en visitar a el embalse de la hidroeléctrica seleccionada, para observar la factibilidad de este en cuanto a uso, condiciones del embalse, extensión de este, asentamientos aledaños, actividades desarrolladas a la periferia y en del embalse, flora, fauna, facilidad de acceso.

3.5 Proceso metodológico.

Este trabajo de investigación fue llevado a cabo con una metodología de carácter bibliográfico, ya que se obtuvo información teórica de diferentes autores, diferentes proyectos, y diferentes autoridades en el área, para integrar las fases que componen la propuesta del proyecto y de esta manera poder valorar la factibilidad del mismo.

En el transcurso de la investigación se realizaron las siguientes fases:

Fase 1: Se recolectaron las informaciones necesarias en publicaciones, normas, documentos, informes.

Fase 2: Se realizó la elaboración de la propuesta de un parque solar fotovoltaico flotante en embalse de agua dulce en la República Dominicana.

Fase 3: Se presentan las conclusiones y recomendaciones que sirven de base para que esta propuesta sirva como modelo.

3.7 Método de investigación.

La investigación es inductiva, no se tomaron informaciones para evaluar teorías, sino que a partir del análisis y evaluación del trabajo se llega a la conclusión general.

CAPÍTULO IV: Análisis de resultados

4.1 Ubicación

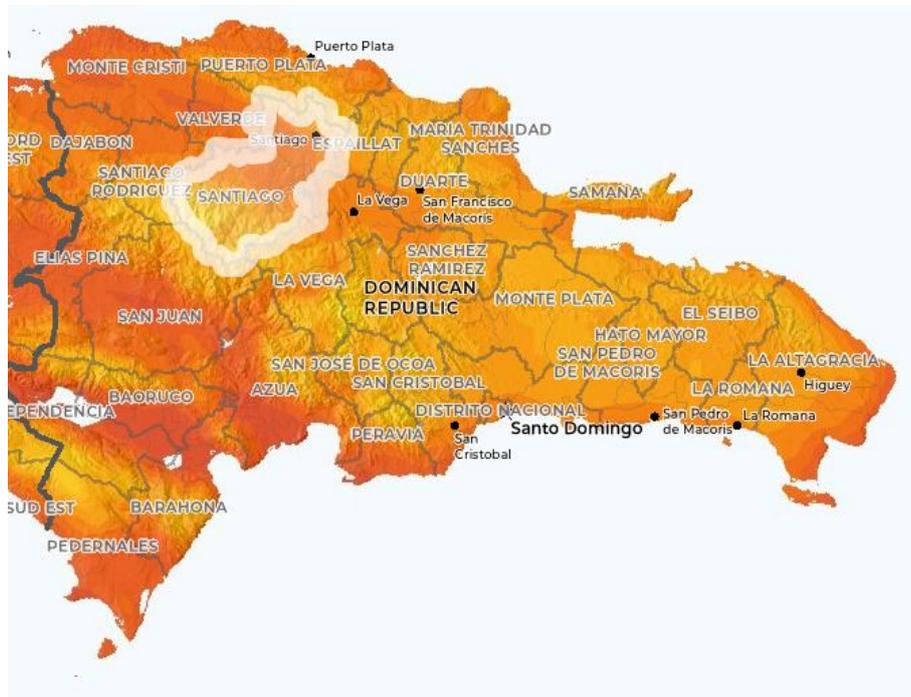


Ilustración 22: Radiación Solar Global de la República Dominicana (Fuente: Atlas Solar Global)

Por su posición geográfica nuestro país tiene recursos naturales idóneos como fuentes para la producción de Energías Renovables (sol, viento) lo que cada vez más despierta el interés en inversionistas para la generación de energía eólica y solar. Según las investigaciones realizadas. De acuerdo con proyecciones de la **Comisión Nacional de Energía en el año 2021** en el país se podrían aprovechar 50000 MW de potencia solar.

La energía solar se emplea en la actualidad en RD, especialmente para el calentamiento de agua y el suministro de electricidad en zonas remotas y aisladas. El potencial de la energía solar en RD ha sido evaluado por el programa SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment auspiciado por el Fondo Mundial Ambiental). El potencial de radiación solar global (radiación solar promedio sobre una superficie horizontal) varía entre 5.25 y 5.50

kWh/m²/día en la mitad oriental del país y 5.50 y 5.75 a 6.00 kWh/m²/día en la segunda mitad occidental.

Esta cifra es ciertamente elevada y permite la utilización de calentadores solares, sistemas solares fotovoltaicos y aún, en principio, de centrales solares fotovoltaicas y centrales solares térmicas interconectadas SENI.

La radiación solar global promedio anual en regiones de alta insolación en el mundo está entre 6.0 y 6.5 kWh/m²/día; mientras que en R. D., varía entre 5.0 y 6.0 kWh/m²/día, entre 80% y 92% de los valores máximos.

Los principales ríos, represas y contra embalses tienen como objetivo aprovechar las aguas para suministrar agua potable a la población, irrigar tierras agropecuarias, producir energía-hidroeléctrica y crear lagos artificiales que transforman el medio ambiente y producen peces de diferentes tipos.

Las cuencas y represas son: Cuenca hidrográfica Yaque del Norte. Comprende las provincias Valverde, Santiago Rodríguez, Dajabón, Montecristi, Puerto Plata, Santiago y Espaillat. En esta cuenca están las represas y contra embalses siguientes: Taveras-Bao-López-Angostura, Maguaca, Chacuey, Cabeza Cabello, Juana Juma, Las Cayas, Caño Salado, El Charcaso, Los Amaceyes y los Tomines. Estas represas son de uso múltiple, que suministran agua a diferentes poblaciones, irrigación e hidroeléctricas.

Cuenca hidrográfica Yaque del Sur. Abarca las provincias de Azua, San Juan, Elías Piña, Bahoruco, Independencia, Barahona y Pedernales. Las represas y contra embalses son: Sabaneta, Sabana Yegua, El Salto, Las Damas, Villa Pando y Palma Sola; de usos múltiples.

Cuenca hidrográfica Yuna-Camú. Provincias Sánchez Ramírez, Bonao, La Vega, Salcedo, Duarte, Trinidad Sánchez y Samaná. Las represas son Hatillo-Yuna, Río Blanco,

Tireíto, Arroyón, Rincón-Jima, Jimenoa, Mejitas, Las Lagunas y Arroyo Hondo, las cuales son de uso múltiple.

Cuenca hidrográfica Nizao-Ozama. Provincias Monte Plata, Santo Domingo, San Cristóbal, Peravia y Ocoa. Esta cuenca está destinada principalmente a suministrar agua a la población y producir energía eléctrica, con las presas Jigüey, Aguacate, Valdesia, Las Barías y Mijo.

Cuenca hidrográfica del Este. La integran las provincias de San Pedro, Hato Mayor, El Seibo, La Altagracia y La Romana. Hasta el 2015 no se ha construido ninguna represa y tiene los ríos Soco, Macorís, Higuamo, Cumayasa, La Romana, Chavón, Yuma, etc.

Las principales represas y sus ríos son, con sus capacidades máximas en millones de metros cúbicos (MMm³): Hatillo-Yuna 375.28 MMm³; Monción-Mao 360.85 MMm³; Sabana Yegua-Yaque Sur 354.20 MMm³; Jigüey-Nizao 167.30 MMm³; Tavera-Bao 150.70 MMm³; Valdesia-Nizao 137.50 MMm³; Tavera-Yaque Norte 137.14 MMm³; Sabaneta-San Juan 63.17 MMm³ y Rincón-Jima 60.09 MMm³.

Al 2015 el área irrigada asciende a 5.4 millones de tareas, igual a 339,586.27 hectáreas. El 85% irrigada por canales y el 15%, por motor-bombas. Hay que eliminar la ley cuota parte.

Después de finalizado el análisis a nivel nacional para determinar un lugar ideal para la instalación de dicha planta solar y por las condiciones favorables y adecuadas de radiación solar que tiene la República Dominicana se puede concluir que la planta solar fotovoltaica flotante que se propone en este trabajo de investigación puede ser instalada en el embalse de agua dulce del complejo Tavera-Bao-López-Angostura, específicamente en el embalse **López-Angostura**, ubicado en la provincia de **Santiago de los Caballeros**. Según la ubicación en el mapa de radiación global esta provincia recibe 5.5 kWh/m²/día -5.75

kWh/m2/día aproximadamente, por lo que dicha planta tendrá un funcionamiento óptimo si se instala en dicho embalse.

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)
January	5.53
February	6.14
March	6.40
April	6.13
May	5.91
June	5.98
July	6.21
August	6.20
September	6.26
October	5.93
November	5.24
December	5.26
Annual	5.93

Ilustración 23: Radiación solar mensual de la provincia de Santiago de los Caballeros (Fuente: PWatts Calculator, National Renewable Energy Laboratory)

INFORMACIÓN DE LA ZONA			
Datos del mapa (rango mínimo-máximo)			Por día
Salida de potencia fotovoltaica específica	PVOUT	3,71 - 4,72	kWh / kWp
Irradiación normal directa	DNI	3,42 - 5,59	kWh / m ² ▾
<input checked="" type="checkbox"/> Irradiación horizontal global	GHI	4.41 - 5.74	kWh / m ² ▾
Irradiación horizontal difusa	DIF	1,88 - 2,25	kWh / m ² ▾
Irradiación global inclinada	GTI	4.57 - 6.05	kWh / m ² ▾
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	18 - 20	°
Temperatura del aire	TEMPERATURA	14,6 - 26,4	°C ▾
Elevación del terreno	ELE	0 - 0	metro ▾

Ilustración 24: Datos de radiación solar en Santiago de los Caballeros (Fuente: Atlas Solar Global)



Ilustración 25: Contra embalse López-Angostura (Fuente: Google Earth Pro)



Ilustración 25: Área propuesta en el Contraembalse López-Angostura

4.1.1 Ficha técnica de la Presa López-Angostura:

- **Tipo de presa:** tierra.
- **Altura de la presa:** 21.50 m
- **Latitud:** 19.33° N
- **Río:** Bao
- **Elevación corona de la presa:** 230.6 msnm
- **Longitud corona de la presa:** 180 m
- **Elevación cresta del vertedor:** 225 msnm

- **Tipo de vertedor:** Superficie libre
- **Capacidad vertedero:** 3410 m³/segundos.
- **Nivel Máximo de operación:** 225 msnm
- **Nivel mínimo de operación:** 217.5 msnm
- **Capacidad de almacenamiento total:** 4.4 millones de m³ [Área de embalse: 0.04 km²]
- **Área de cuenca hidrográfica:** 938 km².
- **Capacidad instalada:** 18 MW
- **Aporte al sistema energético:** 128 GWh/año.
- **Año de construcción:** 1988.

4.2 Leyes y Normativas que regulan la implementación de proyectos solares fotovoltaicos

El principal instrumento legislativo para promover las energías renovables en la República Dominicana es la ley 57-07 sobre incentivos de energía renovable y regímenes especiales, promulgada en 2007. Esta incluye algunas provisiones para tecnologías de energías renovables en todos los sectores de energía, particularmente el sector eléctrico.

Se promulgó la Ley N ° 57-07 sobre el fomento del desarrollo de las energías renovables y sus sistemas especiales y su reglamento de implementación, que tiene como objetivo impulsar a República Dominicana hacia una matriz energética más sostenible y limpia.

Ley sobre el Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables y sus Regímenes Especiales No. No. 57-07 de fecha 7 de mayo de 2007 y su Reglamento de Aplicación No. 202-08 de fecha 30 de mayo de 2008. La dependencia de los combustibles fósiles y las fluctuaciones de sus precios son factores que promueven la inestabilidad económica. La matriz es, por tanto, el motivo fundamental para la creación de herramientas regulatorias que faciliten el ingreso de fuentes alternativas de energía al sistema.

- Esta ley y su reglamento de desarrollo regulan de manera especial los proyectos de energías renovables. El instrumento legislativo tiene como objetivo promover y regular el desarrollo e inversión de proyectos de energía renovable, y establecer incentivos para el uso y desarrollo de energías renovables en diversos proyectos. Las fuentes de energía renovables cubiertas por esta ley incluyen biocombustibles, biodiesel, etanol, energía eólica, fotovoltaica, etc.

La Ley General de Electricidad No. 125-01, de fecha 26 de julio de 2001, y su Reglamento de Aplicación No. 555-02, de fecha 19 de julio de 2002.

- Regula ampliamente la generación, transmisión, distribución y suministro de energía.
- Regula las funciones y capacidades de las entidades gubernamentales que supervisan el sector energético. Estas entidades incluyen a la Comisión Nacional de Energía como ejecutora de las políticas de la industria, la Agencia Reguladora de Electricidad como la agencia reguladora y las empresas que producen, transportan o distribuyen electricidad a terceros.

4.3 Comparación entre una planta solar fotovoltaica convencional y una planta solar fotovoltaica flotante.

La generación de energía eléctrica por medio de las energías renovables, específicamente la energía solar fotovoltaica cuenta con ciertas desventajas, por ejemplo, para la instalación de un parque solar fotovoltaico convencional, es necesario una cantidad de terreno considerable para su eficiencia óptima y buen funcionamiento para producir la misma energía que producen las centrales de generación de energía convencionales. A pesar de ser una fuente de energía renovable este tipo de instalaciones es muy agresiva con el medio ambiente ya que para el acondicionamiento del terreno es necesario alterar los ecosistemas terrestres donde se prevea la construcción de este tipo de parques solares.

Con la implementación de plantas solares flotantes se estaría evitando afectar negativamente los ecosistemas, ya que no es necesario el acondicionamiento de una extensa cantidad de terreno para su instalación, básicamente se propone instalar esta novedosa forma de aprovechamiento de la energía solar en lugares donde se acumule agua sin aprovechamiento considerable como embalses de agua dulce pertenecientes a presas hidroeléctricas, lagos, entre otros.

Es necesario explicar las grandes ventajas que tiene la ejecución de este tipo de instalaciones con modalidad flotante, dichas ventajas son:

- **Ahorro considerable de espacio:** no es necesario dedicar un área terrestre extensa para su instalación, simplemente basta con utilizar un lugar donde haya agua embalsada que no tenga ningún valor ecológico considerable.
- **Reducción de pérdidas por evaporación del agua:** esta novedosa propuesta disminuye considerablemente la evaporación del agua, la instalación produce sombra en la lámina de agua por el área que ocupa, produciendo de esta manera una disminución importante de temperatura y por tal razón la evaporación del agua disminuye.
- **Óptima calidad del agua:** Otro efecto de la disminución de la temperatura del agua en la balsa es que la calidad del agua aumenta al disminuir la proliferación de algas.
- **Incremento en la eficiencia de las placas fotovoltaicas:** El rendimiento de las placas aumenta por efecto de la refrigeración que se produce en la misma al estar sobre la lámina de agua.

Puede decirse que los sistemas solares flotantes son mejores a los sistemas sobre tierra o en las azoteas debido a que, en primer término, preservan la tierra para los demás usos, como para la agricultura o la ganadería. Además, disminuyen la evaporación de agua, cubriendo la más grande parte del área de agua, limitando además el aumento de algas, y operan con más eficiencia debido al impacto de enfriamiento natural del agua.

4.4 Evaluación tecnológica

En estas clases de instalaciones son necesarios sistemas fotovoltaicos flotantes que posean la capacidad suficiente para tolerar vientos fuertes, variaciones de la cota del agua en el embalse y otros desafíos climáticos.

Como en las instalaciones fotovoltaicas convencionales en las instalaciones fotovoltaicas flotantes se considerarán una serie de componentes que se toman en cuenta para el diseño de estos, tales como: inclinación y orientación de los módulos, magnitudes de los paneles solares a instalar, división en medio de éstos para eludir efectos de sombras, igualmente la disposición de los paneles para contar con un lugar suficiente para el mantenimiento de dichos.

Hay muchos módulos solares; diferentes tecnologías y funciones como se muestra en la siguiente tabla:

	Tecnología	Eficiencia record	Eficiencia típica	Cuota de mercado	Ventajas	Desventajas	€/Wp	
Tecnologías comerciales	Silicio cristalino	Mono	25,0% / 21,4%	14-16%	33% (9,1 GW)	Altas eficiencias, tecnología madura, amplia experiencia	Costes elevados	→ 0,80 - 0,85
		Multi	20,4% / 17,5%	13-15%	53%			→ 0,60 - 0,70
	Lámina delgada	a-Si	11,9%	5-9%	5,0%	Proceso económico, material no tóxico y abundante	Eficiencia baja, degradación Staebler-Wronski	→ 0,55 - 0,60
		CdTe	16,7%	11%	5,3%	Eficiencia media, proceso maduro y bajo coste	Toxicidad del Cd. Escasez del Te	→ 0,55 - 0,60
		CIGS	19,6%	10-12,5%	1,6%	Buenas eficiencias	Proceso complejo y caro	
	Tecnologías pre-comerciales	III-V	42,3%	20-25%	<1%	Eficiencias muy elevadas	Necesidad de concentración y seguimiento solar	
Orgánica		8,3%	2-5%	<1%	Gran potencial de reducción de costes	Eficiencia muy baja y estabilidad limitada		
Electroquímica		10,4%	3-6%	<1%				

Ilustración 26: Tipos de tecnologías de paneles solares.

Una buena elección puede ser la tecnología de silicio multicristalino (Policristalino) considerando que es comercial, su eficiencia típica y su coste medio €/Wp. Aunque la eficiencia típica del silicio monocristalino es un tanto mayor que la eficiencia típica de silicio policristalino, es un hecho que la tecnología de silicio policristalino es más barata.

Uno de los factores más importantes en este tipo de instalaciones es la temperatura. Del NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) del NCEI (National Center for Environmental Information) se tomaron los datos de la temperatura media para Santiago de los Caballeros por cada mes, el promedio de temperatura anual es de 26.1°C, mientras que para zonas próximas a la presa el promedio de temperatura anual es de 25.04°C. Temperatura promedio mínima de la zona del embalse de López-Angostura, es 19.50°C.

Temperatura promedio máxima de la zona del embalse López-Angostura, es 28.17°C. A continuación, se muestran los rendimientos de los módulos según su tecnología a temperatura de operación:

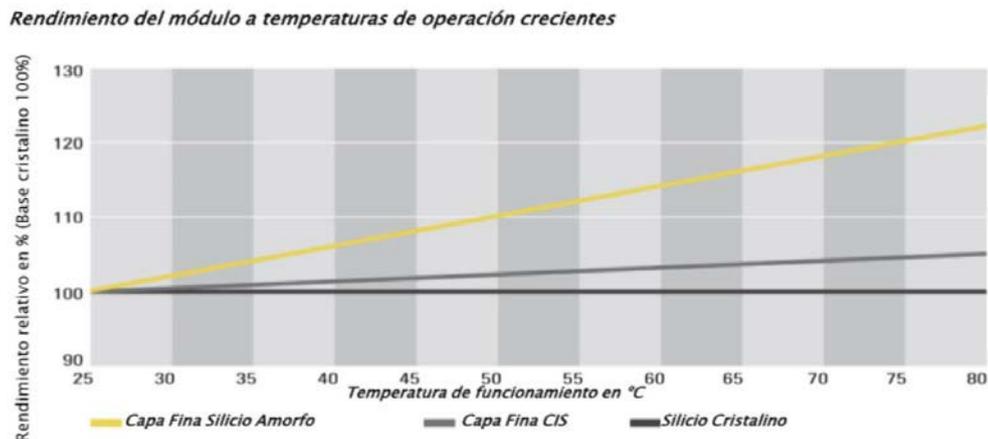


Ilustración 27: Rendimiento de los módulos a temperaturas de operación crecientes.

La temperatura media anual de la zona en la que se propone situar la instalación es alrededor de 25°C. Como podemos apreciar en la figura anterior, los rendimientos a partir de 25°C son aproximadamente los mismos para las todas tecnologías que se ven en la figura; por lo tanto, sigue siendo una buena elección utilizar módulos de silicio cristalino.

Los datos de radiación solar locales han sido obtenidos de PVWatts Calculator del NREL (National Renewable Energy Laboratory). También, de Photovoltaic geographical information system, PVGIS se obtuvo que el ángulo óptimo es de 20°.

La singularidad en esta instalación es que es flotante, por lo tanto, es de suma trascendencia hacer una idónea selección del sistema de flotación. Así como en la instalación fotovoltaica común se necesita hacer una selección óptima de sus primordiales elementos como son el panel, el inversor y otros elementos; además de dichos elementos en una instalación fotovoltaica flotante además es fundamental tener presente componentes como la división mínima entre paneles, además de las pérdidas por orientación y sombra.

Después de verificar los antecedentes (1.5) podemos observar que se ha registrado que el sistema de flotación Hydrelío es el más instalado. Este se ha puesto en funcionamiento en países de Latinoamérica y Europa, y por consiguiente probada su capacidad y correcto funcionamiento en las instalaciones fotovoltaicas flotantes se hace la elección de esta tecnología que sería utilizado como sistema de flotación para la planta solar flotante propuesta.

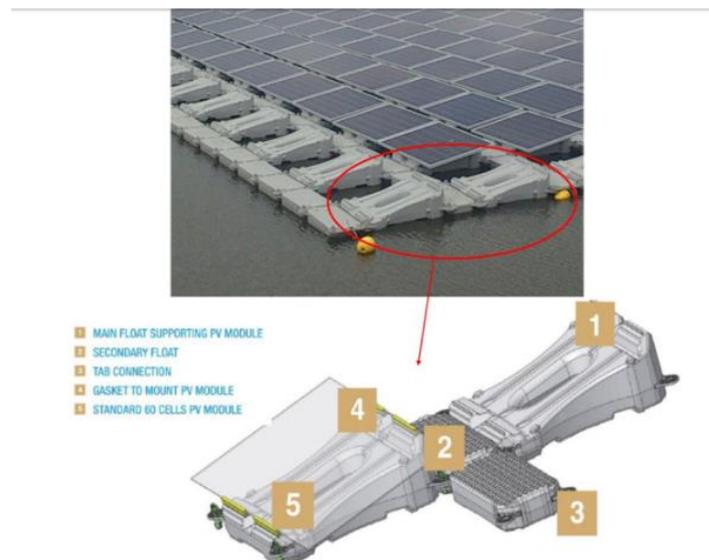


Ilustración 28: Sistema de flotación seleccionado (Ficha técnica figura 20).

En el anexo B se observa el anclaje del flotador.

4. Aporte energético al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado

La instalación de esta propuesta está limitada la producción de una potencia de 1MW; cada panel solar fotovoltaico elegido tiene una potencia de 270 W, por lo que se necesitarían 3,703 paneles para cumplir con la potencia seleccionada a instalar.

En la evaluación tecnológica se fundamentó la utilización de paneles solares policristalinos por eficiencia típica y coste. En los antecedentes (1.5) se puede ver que de las plantas fotovoltaicas flotantes más grandes del mundo utilizan paneles Kyocera. En vista de

que estos paneles han tenido un perfecto funcionamiento en instalaciones flotantes, los paneles Kyocera igualmente se elegirán para esta propuesta.

La ficha técnica del sistema de flotación propone módulos de 60 células, una longitud máxima de 1.670 mm y un ancho de 990 mm, por esta razón el panel seleccionado tiene que cumplir con estas especificaciones. El modelo elegido ha elegido el KK270P de Kyocera Solar, debido a que es el panel de mayor potencia de Kyocera, el cual cumple con las características preestablecidas por la ficha técnica del sistema de flotación seleccionado con la finalidad de que encaje en el mismo Panel seleccionado, KK270P de Kyocera Solar.

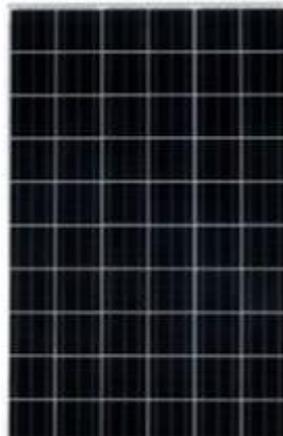


Ilustración 29: Información del panel KYOCERA

Información del Panel		
ISC	9,43	A
IMP	8,71	A
VOC	38,30	V
VMP	30,31	V
Coef. De Teperatura		
VOC	-0,36	%
TONC	45	°C
Número de Células	60	

En el anexo A está la ficha técnica completa del panel.

4.1 Distancia mínima entre paneles

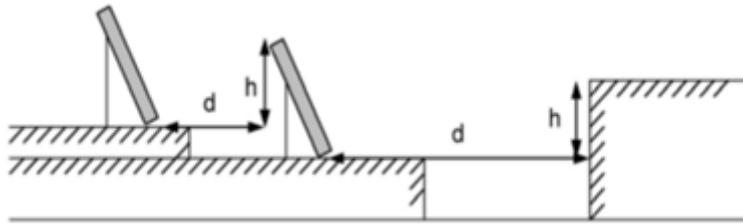


Ilustración 30: Esquema de distancia mínima entre paneles

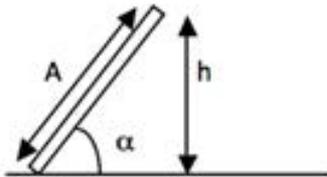
La distancia viene dada por la ecuación $d = k * h$

$$k = \frac{l}{\tan(6l - \text{latitud})}$$

Para k

$$k = \frac{l}{\tan(6l - 19,33)} = 0,89$$

Los paneles serán ubicados en posición horizontal, por lo que se tiene:



$$h = A * \text{sen}(\alpha)$$

$$h = 0,990 * \text{sen}(20^\circ) = 0,34m$$

De modo que, d:

$$d = 0,34 m * 0,89 m = 0,30 m$$

4.2 Pérdidas por orientación y sombras.

Una de las ventajas de este tipo de instalación es que puede tomar la inclinación óptima y reducir este tipo de pérdidas al punto de que pudiéramos decir que no existen sombras sobre los paneles.

4.3 Estimación de la producción de la energía.

Para estimar la producción de la instalación fotovoltaica se utilizará la siguiente ecuación:

$$E_p = G_{dm} * P_{mpp} * PR / G_{ccm}$$

Donde:

E_p = Estimación de la energía producida por la instalación

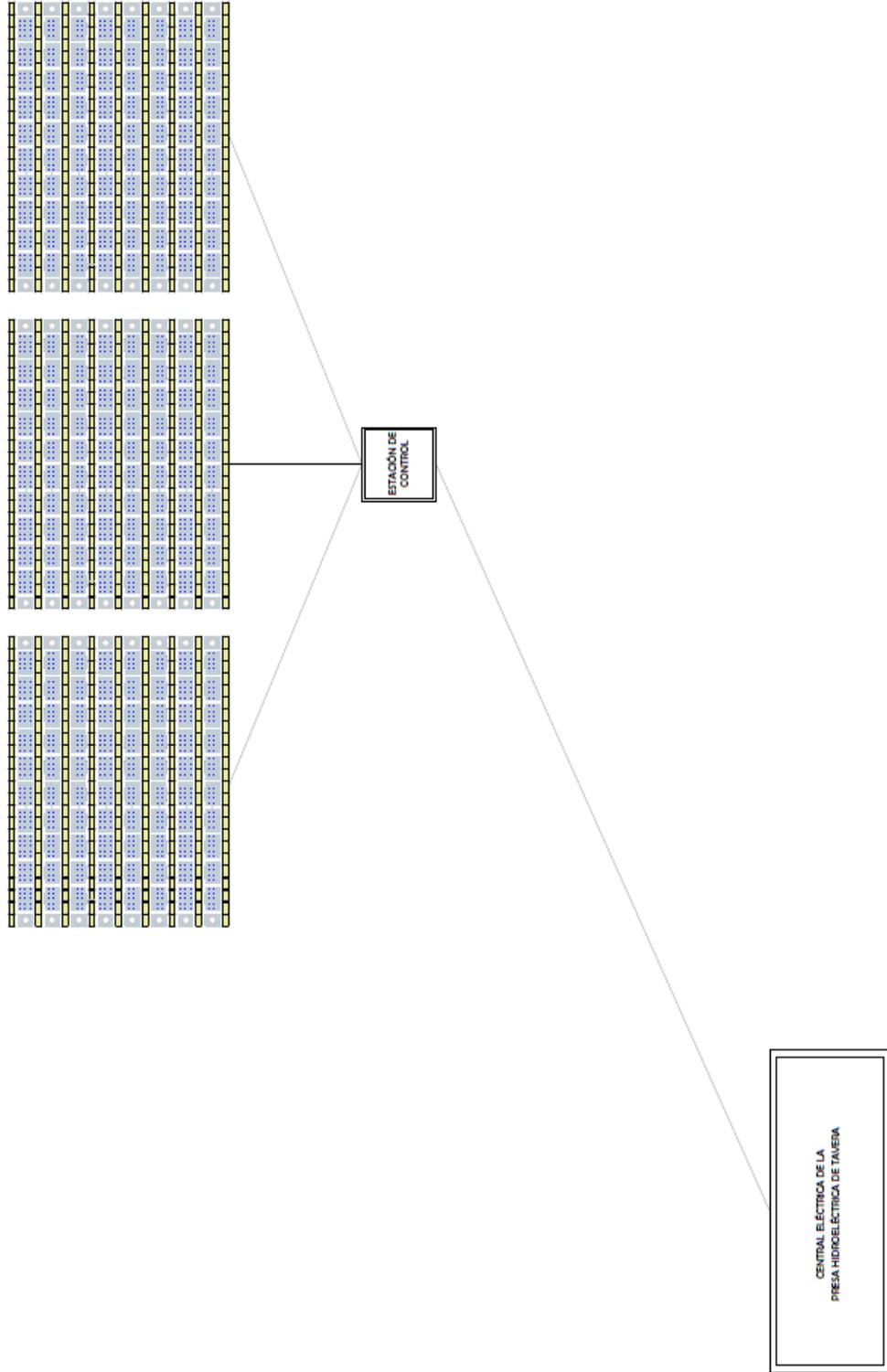
G_{dm} : Valor medio mensual de la irradiación diaria.

P_{mpp} : Potencia del generador en punto de máxima potencia.

PR: Performance Ratio. (0, 89[12])

G_{ccm} : 1 [kW/m²].

Meses	Días	Irradiación óptima [kWh/(m ² *día)]	Energía producida diaria (kWh)	Energía producida mensual (kWh)
Enero	31	5.53	1,328.86	41194.66
Febrero	29	6.14	1,475.44	42787.76
Marzo	31	6.40	1,537.92	47675.52
Abril	30	6.13	1,472.04	44161.20
Mayo	31	5.91	1,420.17	44025.27
Junio	30	5.98	1,436.99	43109.70
Julio	31	6.21	1,492.26	46260.06
Agosto	31	6.20	1,489.86	46185.66
Septiembre	30	6.26	1,504.28	45128.40
Octubre	31	5.93	1,424.98	44174.38
Noviembre	30	5.24	1,259.17	37775.10
Diciembre	31	5.26	1,263.98	39183.318
Total Anual				521,661.03



CONCLUSIONES

Después de desarrollar las evaluaciones necesarias para poder validar el objetivo principal de este trabajo de investigación, se puede concluir que la República Dominicana es dependiente en gran medida de los combustibles fósiles. Ahora está apostando por la energía eólica y solar, y se procura concientizar a la población local de que es una buena iniciativa.

La energía renovable es un sustituto del futuro porque tiene poco impacto en el medio ambiente en comparación con la energía actual. La industria fotovoltaica se encuentra actualmente a la vanguardia de las energías renovables. El sector eléctrico de la República Dominicana se está desarrollando rápidamente.

La generación eléctrica en República Dominicana proveniente de fuentes renovables: agua, sol, viento y biomasa se incrementó en casi tres puntos porcentuales durante 2020, al compararse con el año anterior, impulsada principalmente por las hidroeléctricas.

En 2019, las fuentes renovables representaron el 11.87 % de la electricidad que se generó en el país durante ese año, cifra que en 2020 significó el 14.69 %, un aumento de 2.82 puntos porcentuales, según informes preliminares del Organismo Coordinador (OC) del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI). La generación de energía solar registró un incremento en 2020, aunque en menor cantidad, de acuerdo con los datos preliminares del Organismo Coordinador. De representar el 0.87 % de la producción eléctrica del SENI en 2019, la energía fotovoltaica pasó a ser el 1.52 %. Actualmente, la capacidad instalada hidráulica, eólica, solar y biomasa es responsable del 24.1% de la matriz de generación. Según la Comisión Nacional de Energía, el objetivo se superará en vista a la cantidad de manifestación de interés de inversión a través de peticiones de concesiones que se encuentran en trámites en la Comisión.

La mayoría de las plantas de energía solar fotovoltaica están ubicadas en la superficie de la tierra. A veces, los ecosistemas terrestres se ven afectados debido a la alteración que sufre el suelo debido al acondicionamiento necesario para poder llevar a cabo la implementación de las plantas de energía solar tradicionales, pero la tecnología y la innovación han traído atractivos proyectos solares, como las plantas de energía solar flotante.

De hecho, con ayuda del proceso de recolección de datos e información que conllevó la realización de este trabajo de investigación, se puede afirmar que una planta solar flotante tiene una eficiencia mayor a una convencional instalada en el espacio terrestre, esta además de ser simple, asequible y duradera tienen la posibilidad de instalarse en enormes zonas acuáticas como lagos, embalses, estanques, canales de riego, entre otros. La propuesta de un parque solar flotante en el embalse de agua dulce de una central hidroeléctrica del país contribuiría de una manera significativa al aumento de la producción de energía eléctrica mediante la utilización de energías renovables, tomando en cuenta que aparte de dicha producción, esta proposición tiene ventajas sustanciales.

Las plantas fotovoltaicas flotantes poseen diversas ventajas respecto de las plantas solares en tierra firme. Una de ellas es que el agua previene que las placas se sobrecalienten, o sea, las refrigera y de esta forma se conservan en perfecto estado por más tiempo, tanto en composición como en funcionalidad y efectividad. Esto, sumado a la escasa presencia de polvo, mejora su rendimiento energético en un 10-15%. Estas cubren superficies importantes del cuerpo de agua para proteger el cuerpo de agua y reducir la evaporación. Al mismo tiempo, la sombra proporcionada por el sistema limita el crecimiento de algas y organismos similares en el agua.

Estos no suponen un riesgo para la fauna o los hábitats dentro o alrededor de la masa de agua, lo más importante es que el efecto de enfriamiento producido por estar cerca de la superficie del agua permite que el panel funcione durante un período de tiempo más largo y consecuentemente, generen más energía eléctrica que los paneles fotovoltaicos montado sobre estructuras terrestres.

RECOMENDACIONES

Para lograr un desempeño óptimo y satisfactorio de la propuesta de implementación de la planta solar flotante en el contraembalse de agua dulce López-Angostura, es necesario tomar en cuenta consideración las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la conexión al sistema de distribución de energía de la central hidroeléctrica Tavera el cual está conectado al SENI que se encuentra aguas abajo de dicha ubicación.
- Se recomienda dar mantenimiento preventivo sea manual o con robots a las placas solares fotovoltaicas, cada 2 meses para que su desempeño sea óptimo.
- Si el mantenimiento se hará manual se recomienda hacer con agua destilada y una mopa.
- Se recomienda hacer revisión de cableado cada 2 meses.
- Se recomienda hacer revisión periódica de los espacios en la planta con la finalidad de que no se acumule material o animales.
- Se recomienda utilizar flotadores Hydrelío Classic, desarrollados por Ciel & Terre.
- Se recomienda hacer 3 islas flotantes. Cada isla flotante tendrá un área de 2,947m² y una cantidad de 1,243 de paneles solares fotovoltaicos, esto con la finalidad de que cuando se realice el mantenimiento no sea necesario detener el funcionamiento todo el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El Dinero, R. (2020, enero 14). IRENA resalta avances de RD en energías renovables. <https://eldinero.com.do/96651/irena-resalta-avances-de-rd-en-energias-renovables/#:%7E:text=La%20Agencia%20Internacional%20de%20las,MW%20al%20inicia r%20el%202020.>

Tejada, C. P. (2020, junio 23). Energía renovable: la tarea pendiente de la República Dominicana. <https://www.diariolibre.com/estilos/blogs/martes-de-tecnologia/energia-renovable-la-tarea-pendiente-de-nuestro-pais-HK19646427>

De Jesús, M. (2020, 29 enero). República Dominicana amplía la matriz de generación de energía renovable. <https://eldinero.com.do/97471/republica-dominicana-amplia-la-matriz-de-generacion-de-energia-renovable/>

Palou, N. M. (2017, 4 julio). Las plantas solares también pueden flotar. https://elpais.com/tecnologia/2017/06/29/actualidad/1498729043_871888.html

Aldariz, I. F. (2021, 8 mayo). Plantas solares flotantes. <https://www.greentech.es/plantas-solares-flotantes/>

Desafíos y soluciones en la monitorización de parques solares flotantes. (s. f.). <https://www.dnv.es/article/desafios-y-soluciones-en-la-monitorizacion-de-parques-solares-flotantes-180110>

Roca, J. A. (2017, 15 mayo). Las 10 mayores plantas de fotovoltaica flotante del mundo. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-fotovoltaica-flotante-del-mundo/>

Chávez, J. C. (2020, 16 noviembre). La planta solar flotante más grande del mundo estará en Corea del Sur. <https://energiaahoy.com/2020/11/16/la-planta-solar-flotante-mas-grande-del-mundo-estara-en-corea-del-sur/>

Foro Nuclear. (2020, mayo 7). ¿Qué es la energía? <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>

Foro Nuclear. (2020, 13 mayo). ¿Qué es una central hidroeléctrica? <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-una-central-hidroelectrica/>

ETED. Preguntas más frecuentes - ETED. <http://www.eted.gov.do/index.php/2-uncategorised/5-preguntas-mas-frecuentes.html>

Energy, T. W. (2019, 19 noviembre). ¿Cómo funciona la energía solar fotovoltaica? Todo lo que debes saber. https://twenergy.com/energia/energia-solar/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica/#Proceso_de_obtencion_de_energia_del_sol

Muñoz, O. A. (2019, 13 septiembre). Cómo funciona una célula fotovoltaica - ATERSA. <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>

Planas, O. (2020, 9 abril). Panel fotovoltaico. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico>

Paneles Solares Monocristalinos | AutoSolar. (s. f.). <https://autosolar.es/paneles-solares/paneles-solares-monocristalinos>.

Intervento, T. (2020, 30 septiembre). TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS. <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

Energy Store, A. (2019, 26 abril). Paneles Solares de Capa Fina (Thin Film). <https://www.austro.com.ar/paneles-solares-capa-fina-thin-film/>

Bigordà, T. (2017, 20 julio). Plantas solares flotantes. <https://www.renovablesverdes.com/plantas-solares-flotantes/>

Latin America Archives. (2019, 30 agosto). https://www.ciel-et-terre.net/project_category/latin-america/

Note, T. (2015, 26 febrero). Hydrelío: El sistema de granjas solares fotovoltaicas flotantes | The Note. <https://www.thenote.cl/category/hydrelío-el-sistema-de-granjas-solares-fotovoltaicas-flotantes/>

Hernández Sampieri, R, Fernández, C & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. (Quinta Edición). México D.F, México: McGraw-Hill.

García, P. (2021, 9 febrero). Aumenta participación de energías renovables en generación eléctrica del país. [https://www.diariolibre.com/economia/aumenta-participacion-de-energias-renovables-en-generacion-electrica-del-pais-PD24271178#:~:text=En%202019%2C%20las%20fuentes%20renovables,El%3%A9ctrico%20Nacional%20Interconectado%20\(SENI\)](https://www.diariolibre.com/economia/aumenta-participacion-de-energias-renovables-en-generacion-electrica-del-pais-PD24271178#:~:text=En%202019%2C%20las%20fuentes%20renovables,El%3%A9ctrico%20Nacional%20Interconectado%20(SENI))

Deutsche Welle (www.dw.com). (2021, 29 junio). Transición energética en la República Dominicana. <https://www.dw.com/es/apostando-por-las-energ%C3%ADas-renovables-en-la-rep%C3%BAblica-dominicana/a-58093930>

Tejada, C. P. (2020a, junio 23). Energía renovable: la tarea pendiente de la República Dominicana. <https://www.diariolibre.com/estilos/blogs/martes-de-tecnologia/energia-renovable-la-tarea-pendiente-de-nuestro-pais-HK19646427>

Planas, O. (2021, 28 junio). ¿Qué es una planta solar flotante? Principales plantas flotantes del mundo. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica/planta-solar-flotante>

NexNews. (2020, 11 mayo). Una tecnología en alza que iluminará nuestro futuro. http://portal.nexnews.cl/showN?valor=f0lmg&mc_cid=988db485ab&mc_eid=89e31b35a1

Construcción, A. (2012, diciembre 4). Contraembalse López-Angostura. Portal de arquitectura ARQHYS.com. <https://www.arqhys.com/construccion/contraembalse-lopez-angostura.html>

A. (2021, mayo 6). Distancia entre filas de paneles solares para evitar el sombreado. BLOG Tecnosol. <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>

Aguirre, A. (2013, marzo 19). Panel solar, ¿Cómo calcular Cuánta Energía Produce? Inicio -. <https://gstriatum.com/2013/03/17/panel-solar-como-calcular-cuanta-energia-produce/>

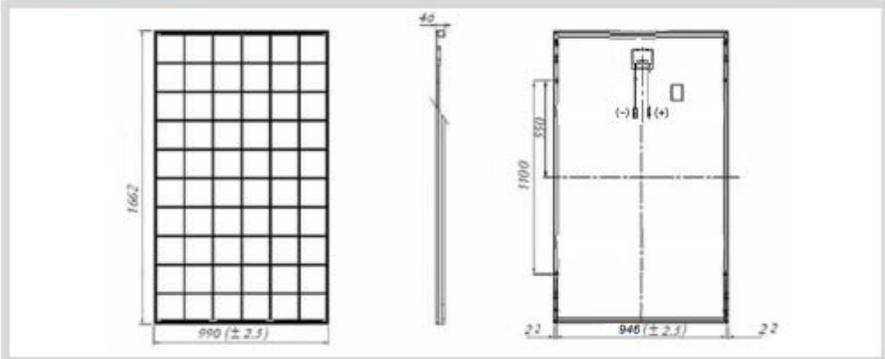
Alcántara, N. (2018, octubre) Estudio técnico económico de una central fotovoltaica flotante en el embalse de Tavera. [Estudio técnico-económico de una central fotovoltaica flotante en el embalse de Tavera \(upct.es\)](http://www.upct.es/estudio-tecnico-economico-de-una-central-fotovoltaica-flotante-en-el-embalse-de-tavera)

ANEXO A: Ficha técnica del panel solar seleccionado

SPECIFICATIONS

KK270P-3CD3CG

Physical Specifications



The technical drawings show a solar panel with a grid of 60 cells. The front view shows a height of 1662 mm and a width of 990 mm (± 2.5). The side view shows a thickness of 40 mm. The back view shows a height of 1100 mm, a width of 946 mm (± 2.5), and a depth of 22 mm. It also shows the junction box with positive (+) and negative (-) terminals.

Specifications

Module Efficiency	16.4%	KK270P-3CD3CG
Electrical Performance under Standard Test Conditions (STC)*		
Maximum Power (Pmax)	270 W (+5%, -3%)	
Maximum Power Voltage (Vmpp)	31.0 V	
Maximum Power Current (Impp)	8.71 A	
Open Circuit Voltage (Voc)	38.3 V	
Short Circuit Current (Isc)	9.43 A	
Max System Voltage	1000V	
Temperature Coefficient of Voc	-1.36 x 10 ⁻¹ V/°C	
Temperature Coefficient of Isc	5.43 x 10 ⁻⁴ A/°C	
<small>*STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C</small>		
Electrical Performance at 800W/m², NOCT*, AM1.5		
Maximum Power (Pmax)	194W	
Maximum Power Voltage	27.9 V	
Maximum Power Current	6.96 A	
Open Circuit Voltage (Voc)	35.1 V	
Short Circuit Current (Isc)	7.63 A	
<small>*NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): 45°C</small>		
Cells		
Number per Module	60	
Cell Technology	Monocrystalline	
Module Characteristics		
Length x Width x Depth without Box	1662 x 990 x 46 mm	
Weight	19.0 kg	
Cable	(+)1200 / (-) 1200mm	
Junction Box Characteristics		
Length x Width x Depth	111 x 90 x 15.9 [mm]	
IP Code	IP 67	
Others		
Reduction*	3.3 %	
Limiting Reverse Current	15 A	
Mechanical load (to IEC61215 ed.2)	Pressure 2400 Pa	

KYOCERA Corporation
Headquarters
 Corporate Solar Energy Group
 6 Takeda Tobadono-cho Fushimi-ku, Kyoto
 612-8501, Japan
 TEL: 81-75-604-3476
<http://www.kyocera.com/>

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.
 298 Tiong Bahru Road, #13-03/05
 Central Plaza, 168730, Singapore
 TEL: 65-6271-0500
<http://www.kyocera.com.sg>

KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice. DS13101,HW

Ilustración 31: Ficha técnica de panel solar seleccionado

ANEXO B: Sistema de anclaje de los flotadores del sistema solar flotante

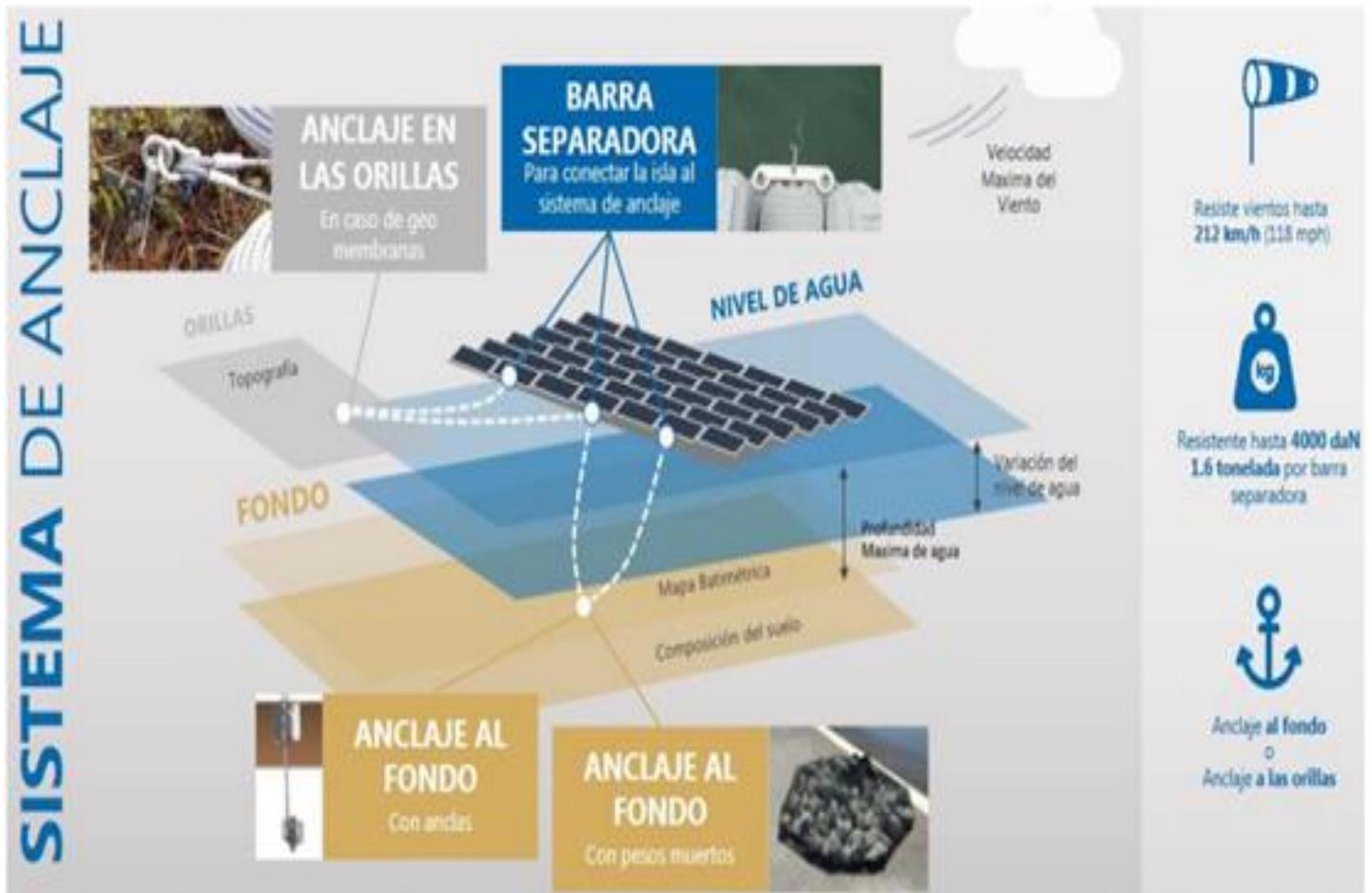


Ilustración 32: Sistema de anclaje

ANEXO C: Modelado de sistema solar flotante

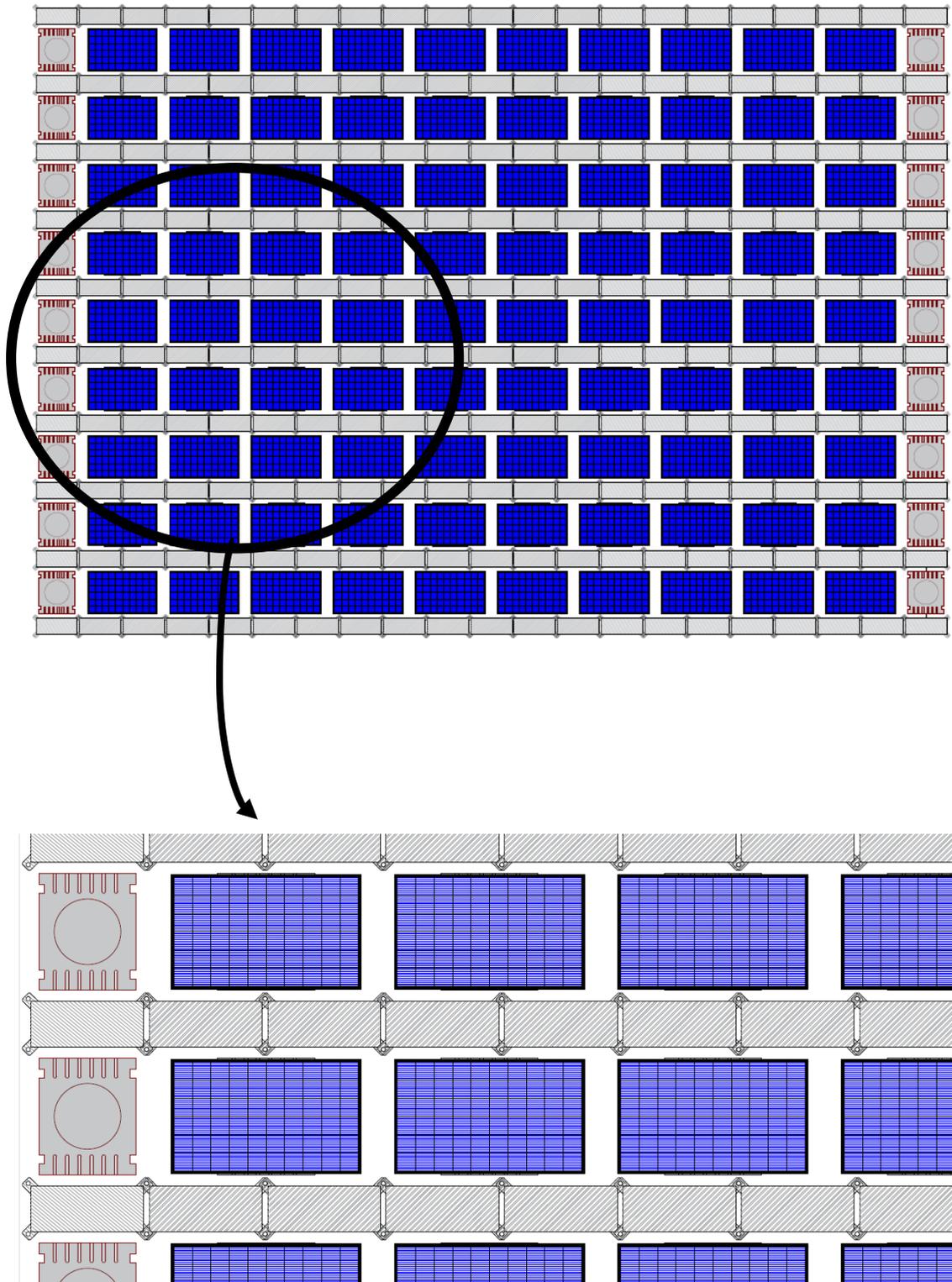


Ilustración 33: Modelado 2D de la planta solar flotante (AUTOCAD)

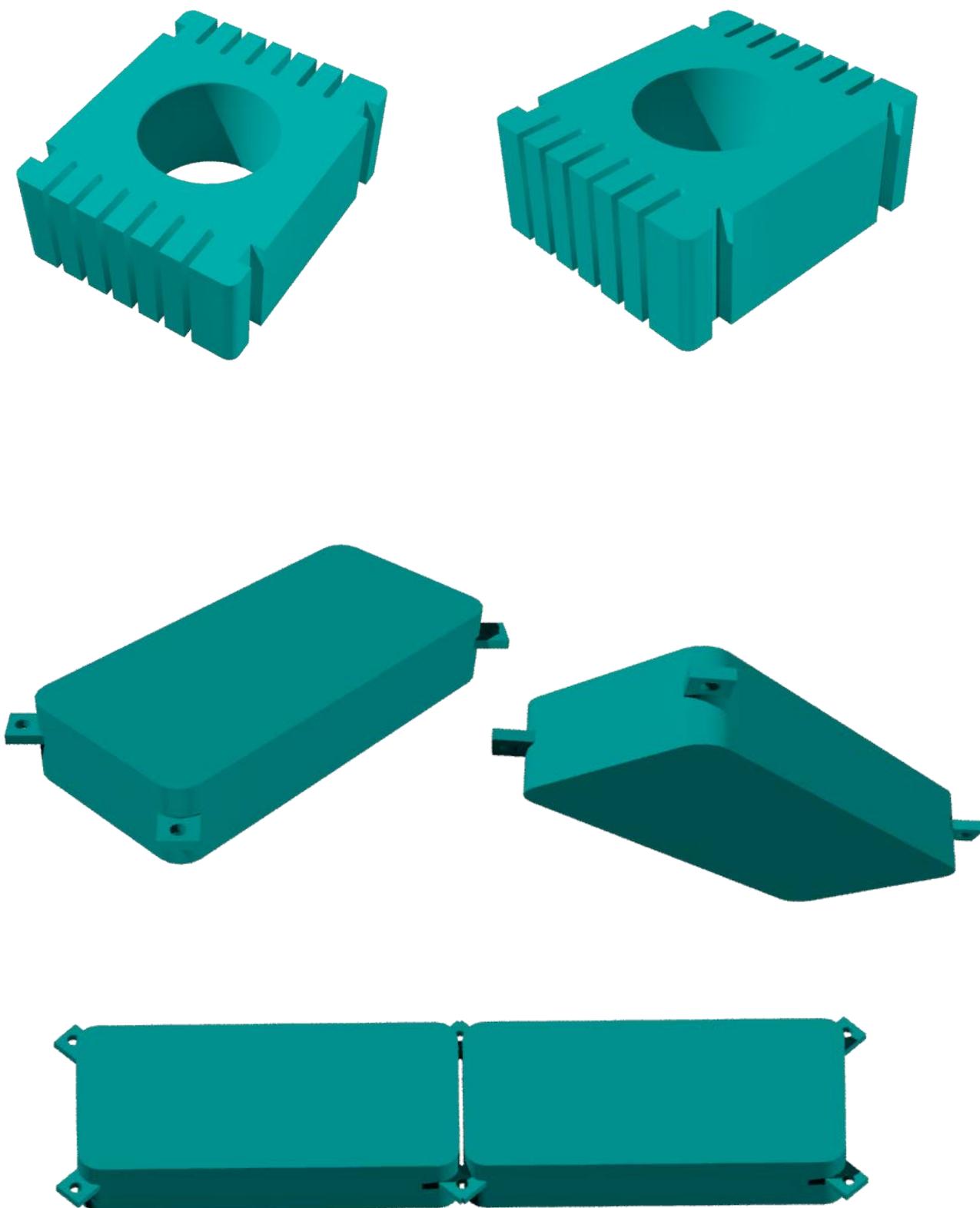


Ilustración 34: Modelado 3D del sistema de flotadores (AUTOCAD)

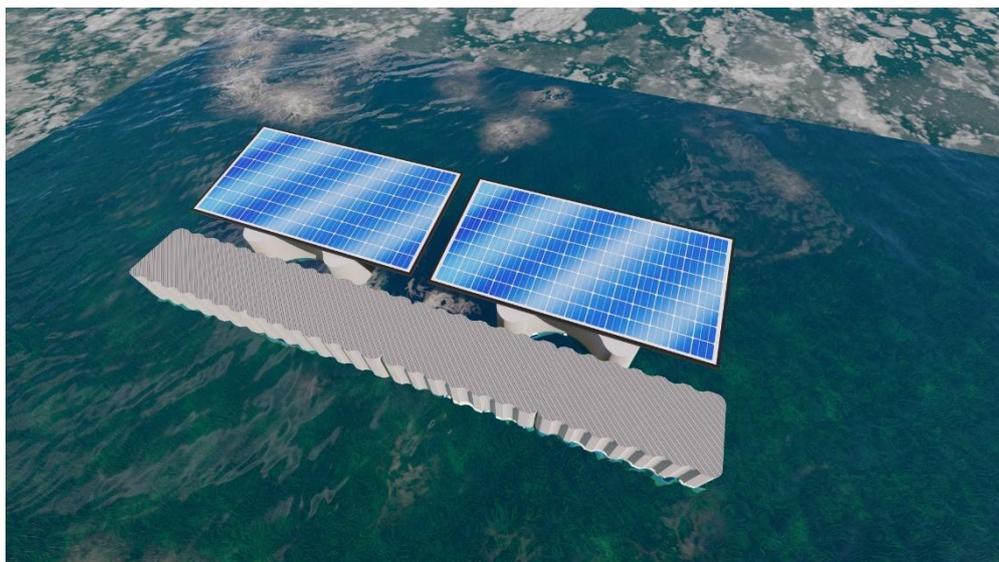
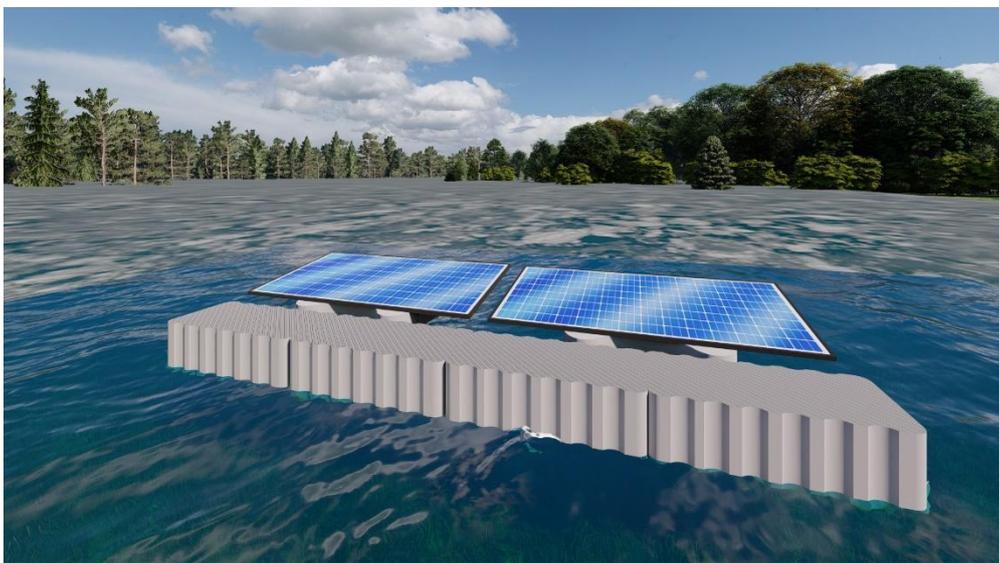
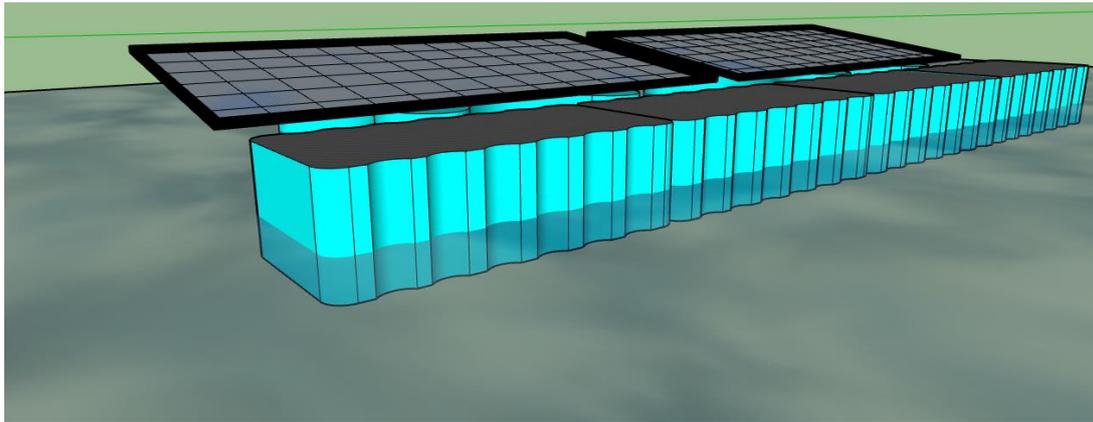


Ilustración 36: Render de modelo 3D del sistema (LUMION // SKETCHUP)

ANEXO D: Visita a Sabana Iglesias, Santiago de los Caballeros.



Ilustración 37: Central Hidroeléctrica de Tavera junto al Ing. Edwin Felipe (Encargado de la hidroeléctrica) (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 38: Central eléctrica de la hidroeléctrica de Tavera (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 39: Central eléctrica de la Hidroeléctrica de Tavera (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 40: Obra Hidroeléctrica Tavera (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 41: Proyecto hidroeléctrico Tavera-Bao (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 42: Salida de las aguas turbinadas de la hidroeléctrica de Tavera al Contraembalse López-Angostura (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 43: Contraembalse López-Angostura (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 44: Presa de López-Angostura (Fuente: Propia 2021)



Ilustración 45: Presa de López Angostura (Fuente: Propia 2021)

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Escuela de ingeniería civil

Kiarah P. Padilla Peralta

Sustentante

John A. Castillo Sánchez

Sustentante

Ing. César E. Mercedes Frías

Asesor

Ing. Amelia M. Pérez Sánchez

Presidenta del jurado

Ing. César M. Torres Arias

Miembro del jurado

Ing. Teresa Rodríguez Español

Miembro del jurado

Ing. José Adolfo Herrera

Director de la escuela de ingeniería civil

Calificación_____

Fecha_____