

Captación solar flotante en el embalse San Lorenzo central Hidroeléctrica Jaguas

Hernán Albeiro Hoyos Jorge

Alonso Yepes Torres

Director: Santiago

Rúa Pérez, PhD.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2022

Agradecimientos

Damos las gracias a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por permitirnos ser parte de ella, brindarnos la posibilidad de ser personas integra y lograr una meta más en nuestras como profesionales en ingeniería electrónica.

Así mismo a todas las personas que con sus palabras alentaron el continuar con la educación superior, nos extendieron sus manos para ayudarnos a no desfallecer en este reto personal.

A nuestros tutores que nos brindaron su conocimiento, ayuda para que lográramos pasar una a una todas las materias, en un ámbito diferente como es el virtual y la distancia no fue obstáculo para aprender de cada uno de ellos.

A la empresa ISAGEN, que, con la ayuda de la Ingeniera Luz María Gonzales, nos permite desarrollar este trabajo, donde aplicamos el conocimiento adquirido a lo largo de este camino, que por varios años hemos transitado, permitiéndonos desarrollar otras competencias que adquirimos en nuestros estudios universitarios.

Resumen

La información que encontramos en el mundo sobre muchas nuevas tecnologías es muy relevante, en caso de los paneles solares podemos hoy obtener mucha información si queremos incursionar en el mundo de la energía eléctrica fotovoltaica, la cual con la ayuda de los paneles solares podemos tener a nuestra disposición para desarrollar energías limpias que nos permiten colaborar con la conservación de nuestro planeta.

Para el proyecto tecnológico, nos enfocaremos en como el país tiene la capacidad, para desarrollar proyectos fotovoltaicos a gran, media, y pequeña escala, mostraremos como personas del común podrían realizar los cálculos para saber qué elementos necesita para tener energía eléctrica en su casa, con esto podrá obtener la información básica de cuantos paneles solares requiere para que su casa sea autoalimentada durante las horas del día.

La tecnología fotovoltaica, se está desarrollando a pasos agigantados ya hoy tenemos paneles solares más asequibles en precio, eficientes, también ellos no requieren la incidencia del sol directamente se requiera la radiación solar, que es una medida de como los rayos del sol se irradian en la superficie de la tierra.

Colombia es privilegiado por su ubicación en el ecuador lo que nos lleva a que no tenemos estaciones de invierno, en Colombia siempre el sol está irradiando el territorio, con algunos departamentos como la guajira, regiones como los llanos, donde es más intenso y otras zonas del país que baja un poco este parámetro como la zona andina, pero que aun así esta radiación tiene un promedio de 4.0 a 5.0 KWh durante todo el año, valores que permiten ser eficientes en energía solar ya que estos valores son todo el año.

El proyecto instalaría 64 paneles solares en el embalse San Lorenzo, de la hidroeléctrica Jaguas, en jurisdicción del municipio de san Rafael Antioquia, el cual tienen un promedio de radiación solar entre 5.0 y 4.2 KWh siendo este el valor más bajo durante el año, ya que van a ser instalados en el embalse nos da una eficiencia del 22% siendo mayor comparados si son instalados en tierra que obtendríamos una eficiencia del 16%, esto nos permite garantizar que la demanda que requieren los equipos que este parque fotovoltaico va a alimentar será totalmente atendida.

Para nuestro caso tenemos una demanda para atender que se encuentra al final de un circuito eléctrico muy largo, esto como consecuencia trae que se esté desconectando constantemente la alimentación por descargas atmosféricas o daños físicos en las líneas por donde se lleva la energía eléctrica, con este proyecto pretendemos dar solución a este inconveniente garantizando la energía eléctrica para todos los equipos que se encuentran en el edificio de compuertas de la central hidroeléctrica de Jaguas, lo que ayudara a evitar un cierre innecesario de la compuerta de la captación, dando seguridad a la operación de la central.

Palabras claves: energía solar, fotovoltaico, seguridad, confiabilidad, edificio de captación

Abstract

The information we find in the world about many new technologies is very relevant, in the case of solar panels we can today obtain a lot of information if we want to venture into the world of photovoltaic electric energy, which with the help of solar panels we can have at our disposal to develop clean energies that allow us to collaborate with the conservation of our planet.

For the technological project, we will focus on how the country has the capacity, to develop photovoltaic projects on a large, medium, and small scale, we will show how ordinary people could perform the calculations to know what elements you need to have electrical energy in your house, with this you can obtain the basic information of how many solar panels you require for your house to be self-powered during daylight hours.

Photovoltaic technology, is being developed by leaps and bounds and today we have more affordable solar panels in price, efficient, also they do not require the incidence of the sun directly requires solar radiation, which is a measure of how the sun's rays radiate on the surface of the earth, each country has a capacity according to the months that the sun, Colombia is privileged by its location at the equator which leads us to the lack of winter seasons, in Colombia the sun is always radiating the territory, with some departments such as the guajira, regions such as the plains, where it is more intense and other areas of the country that lowers this parameter a little as the Andean zone, but that even so this radiation has an average of 4.0 to 5.0 throughout the year, values that allow to be efficient in solar energy since these values are all year round.

The project would install 64 solar panels in the San Lorenzo reservoir, of the Jaguas hydroelectric plant, in the jurisdiction of the municipality of San Rafael Antioquia, which have an average solar radiation between 5.0 and 4.2 being this the lowest value during the year, since

they will be installed in the reservoir gives us an efficiency of 22% being higher compared if they are installed on land that we would obtain an efficiency of 16%, this allows us to guarantee that the demand required by the equipment that this photovoltaic park will feed will be fully met.

In our case we have a demand to meet that is at the end of a very long electrical circuit, this as a consequence means that the power supply is constantly being disconnected due to atmospheric discharges or physical damage to the lines through which the electrical energy is carried, with this project we intend to solve this inconvenience by guaranteeing electrical energy for all the equipment located in the sluice building of the Jaguas hydroelectric power plant, which will help to avoid an unnecessary closure of the catchment sluice gate, giving security to the operation. from the center.

Key words: solar energy, photovoltaic, security, reliability, collection building

Tabla de Contenido

lista de Figuras.....	9
lista de Tablas	10
Introducción.....	11
Planteamiento del problema	13
Justificación	15
Objetivos.....	23
Objetivo General	23
Objetivos específicos	23
Marco conceptual y teórico	24
Automático.....	24
Mantenimiento	24
Se tiene una última maniobra que se llama cierre de emergencia	25
Descripción de la necesidad.....	28
Metodología para la implementación del proyecto.....	29
Diseño y desarrollo de la solución.....	31
2160 KW	31
Cálculo Interruptores Alimentación Demanda.....	35
Calculo Banco de baterías real ya que solo requerimos bacterias para el sistema de cierre de emergencia y PLC.....	38

	8
Cálculo de banco de baterías	39
Cálculo del inversor	39
Diseño de flotadores	41
Propuesta técnica interconectado sistema solar fotovoltaico	47
Equipos	47
Planos eléctricos.....	50
Propuesta económica	51
Conclusiones.....	52
Referencias	53

Lista de Figuras

Figura 1 Estadísticas sobre sobre la capacidad de las energías renovables.....	17
Figura 2 Principales resultados de radiación global	18
Figura 3 Energía solar de onda corta en san Rafael Antioquia	19
Figura 4 Ubicación del lugar donde se realizará el proyecto.....	34
Figura 5 Tecnología flotadores	41
Figura 6 Proceso de instalación.....	43
Figura 7 Proyectos instalados.....	43
Figura 8 Plataformas flotantes.....	44
Figura 9 Lugar de instalación.....	45
Figura 10 Parque flotante 25KW	45
Figura 11 Módulos fotovoltaicos JKM400M-72H-V 400 Watt	48
Figura 12 Inversor SYMO 20.0-3-M	49
Figura 13 Planos eléctricos del sistema fotovoltaico	50

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Información de las cargas para el almacenamiento en baterías</i>	31
Tabla 2 <i>Cantidad de unidades de los equipos con back-up</i>	31
Tabla 3 <i>Tiempo de horas en uso de cada equipo.....</i>	32
Tabla 4 <i>Horas de servicio y consumo de equipos edificio compuerta</i>	33
Tabla 5 <i>Distancia entre el nivel medio del embalse y el nivel medio del fondo de la represa</i>	34
Tabla 6 <i>Equipos propuestos para la instalación</i>	47
Tabla 7: <i>Principales datos eléctricos de los paneles JKM400M-72H-V</i>	47
Tabla 8 <i>Características eléctricas de entrada del inversor elegido SYMO 20.0-3-M.....</i>	48
Tabla 9 <i>Características eléctricas de salida del inversor elegido SYMO 20.0-3-M.....</i>	49
Tabla 10 <i>Características principales del sistema.....</i>	50
Tabla 11 <i>Propuesta Económica.....</i>	51

Introducción

En el mundo de hoy, la energía solar fotovoltaica está jugando un papel muy importante y fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías para generar energía eléctrica, hay políticas nuevas de sostenibilidad buscando el mejoramiento del medio ambiente, entre ellos los paneles solares, que si son instalados en espejos de agua, aumentan su eficiencia entre un 10 y 15 por ciento aproximadamente, para lo anterior se debe contar con un ambiente propicio para que la irradiación y otros factores aporten a la eficiencia de estos equipos.

La ubicación geográfica de Colombia permite tener irradiación solar durante todo el año, en algunas zonas del país como la Guajira alcanza valores muy altos, pero en general el país cuanta con índices de radiación solar en promedio de 4,0 KWh, en el municipio de San Rafael Antioquia lugar donde se lleva a cabo el proyecto el promedio anual es de 4,3 KWh. Por lo anterior se desarrolla el diseño de un proyecto de generación fotovoltaica con una capacidad de 25 KW en una superficie de espejo de agua de 192 metros cuadrados del embalse San Lorenzo perteneciente a la central Jaguas, con el fin de garantizar un suministro energético confiable a todos los equipos instalados en la captación de la central Jaguas. En el proyecto que se está planteando, se podrá desarrollar todos los conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera y estarán a disposición para lograr el objetivo trazado. Este también abarca acercamientos con otras empresas colombianas, especializadas en el tema de energía solar con las cuales se mirará las nuevas formas de implementación que se están utilizando para los paneles solares, ayudando a desarrollar tecnologías propias para este tipo de aplicaciones.

Cabe decir que en las centrales de generación hidroeléctrica su materia prima es el agua, el sistema de la captación es una de las infraestructuras más importantes ya que por allí es por

donde ingresa el agua hacia las unidades de generación o se interrumpe el paso de agua de ser necesario ante un daño en la casa maquinas o en la estructura del túnel de conducción del agua para evitar daños grandes a la infraestructura de la central, por esta razón se debe contar con una alimentación eléctrica segura para los equipos que operan en dicho sitio. La empresa de generación de energía ISAGEN SA ESP, específicamente en la central hidroeléctrica Jaguas ubicada el municipio de San Rafael Antioquia, la cual tiene una capacidad de generación de 170 MW, cuenta con un embalse de una capacidad de 166 Millones de metros cúbicos. Nos permitirá desarrollar el diseño del proyecto de captación solar flotante, como respaldo eléctrico para los equipos instalados en la captación de la central Hidroeléctrica Jaguas.

Planteamiento del problema

La captación de la central Hidroeléctrica Jaguas, se encuentra ubicada aproximadamente a unos 7 km de la subestación, esta es alimentada por medio de un circuito eléctrico con un voltaje de 13.2 kV, cuenta con un banco de baterías capaz de sostener el control por aproximadamente 4 horas.

En los 30 años de funcionamiento de la central hidroeléctrica Jaguas, en los equipos han ocurrido eventos como pérdida constante del fluido eléctrico, estos eventos presentan un tiempo de indisponibilidad de los equipos que oscilan desde horas hasta días, uno de los más graves ocurrió en el mes de noviembre del año 2019 donde se rompió una de las líneas de energía dejando sin fluido eléctrico la zona de captación y la de la represa, con el agravante que en el sitio donde cayó la línea, la empresa no cuenta con servidumbre y la comunidad no permite el ingreso para realizar trabajos de recuperación de la misma, quedando sin alimentación eléctrica y sin funcionamiento por 15 días, los equipos que garantizan la maniobra de cierre de la compuerta principal de captación de la central Jaguas, lo anterior puede conllevar a una emergencia por inundación u otro fenómeno en la tubería de carga de la central con un gran riesgo de muerte de los trabajadores que se encuentren en casa máquinas, destrucción de los generadores y de la misma casa máquinas, afectando los seguros de la empresa y la imagen de ISAGEN ante la sociedad. Aunque se cuenta con un sistema de baterías como se menciona anteriormente, éste solo es para el control y soporta carga por aproximadamente 4 horas.

Además, ante un evento, el tiempo de desplazamiento del personal técnico hasta el lugar es de aproximadamente 40 minutos sin contar con contratiempos en la vía. Por otro lado, el circuito eléctrico con baja disponibilidad ocasionaría que ante una emergencia de inundación o

cualquier otro motivo que sea necesario cerrar la compuerta de captación, desde casa máquinas no se pueda enviar el comando de cierre de las compuertas al perder el fluido eléctrico, lo que ocasionaría daños irreparables.

Justificación

La captación es uno de los sistemas más importantes que se tienen en la generación de energía hidráulica, allí se encuentran equipos tales como: puente grúa, banco de baterías, una central oleodinámica para manejo de las compuertas y un controlador, por el cual llega el pulso de cierre de la compuerta desde el sistema SCADA ubicado en casa máquinas de la central.

Dichos equipos requieren ser confiables y estar disponibles en el momento de ser necesarios para realizar alguna maniobra normal y/o de emergencia.

En el mundo de hoy la energía solar fotovoltaica está jugando un papel fundamental para garantizar que, en sitios aislados, como lo es la captación de la central Jaguas, se pueda tener una alimentación eléctrica confiable durante las 24 horas, con sistemas que en el día se puedan alimentar de paneles solares y en la noche del circuito AC, adicional un respaldo de energía por medio de baterías para los equipos críticos de este sistema en caso de que se presente alguna falla en el circuito AC durante la noche. Si se presenta una falla durante el día en el sistema solar, el circuito AC toma la carga, así siempre se garantiza que el fluido eléctrico está presente todo el tiempo para la operatividad de los equipos allí instalados.

En las nuevas políticas de desarrollo sostenible la energía solar fotovoltaica juega un papel muy importante, buscando el mejoramiento del medio ambiente, nosotros queremos aportar nuestro granito de arena buscando nuevas formas de generar energía usando nuevas tecnologías como lo son los parques solares, esta iniciativa con energía solar es una experiencia que brindará conocimientos que quedarán para el desarrollo del país y de la empresa que nos brinda la oportunidad de desarrollar este proyecto, en el cual podremos ser partícipes y obtener grandes experiencias que sirvan para posibles desarrollos de mayor envergadura.

El país ya cuenta con empresas reconocidas que prestan servicios y buen respaldo para este tipo de sistemas. El mundo se prepara para las energías renovables, para lo cual tenemos varios ejemplos:

La planta solar flotante más grande del mundo está oficialmente en funcionamiento. Ubicada en la ciudad de Huainan en la provincia de Anhui en China, tiene una capacidad de 40 megavatios. 8 abr. 2018.

Holanda pone en marcha la primera planta solar flotante del mundo en mar abierto. Oceans of Energy ha instalado con éxito los primeros módulos de la primera planta fotovoltaica flotante offshore del mundo en el Mar del Norte holandés. 13 dic. 2019.

La planta fotovoltaica de Puerto Libertad parece un gran lago de cristales. Juntos, son capaces de generar energía limpia, provista por ese sol que todo lo reina en la llanura mexicana, para 583.000 hogares. Y de paso, de ahorrarle al planeta 925.443 toneladas de CO₂ emitidas por centrales de carbón.

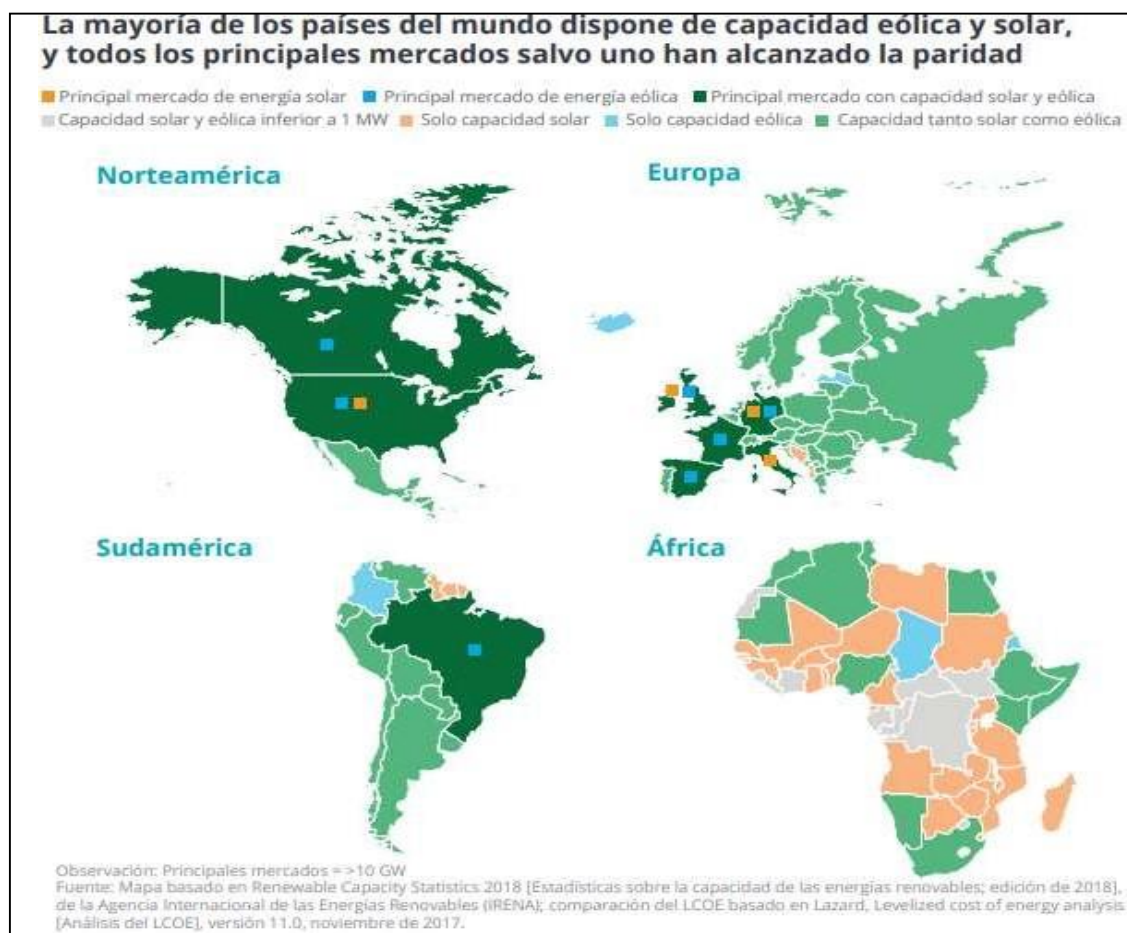
El potencial de la tecnología es de aproximadamente 400 GW, o la misma capacidad de generación que todos los paneles solares fotovoltaicos instalados en el mundo hasta 2017, dijo el Banco Mundial.

Existe la preocupación de que los paneles puedan bloquear la luz solar, afectando la vida marina y los ecosistemas, y que los sistemas eléctricos no puedan resistir la avalancha de agua. Pero los partidarios dicen que la tecnología está probada y que los paneles cubren un área de superficie demasiado pequeña para crear problemas importantes.

La búsqueda de descarbonizar las economías mundiales significa que el mercado de energía solar flotante, crecerá exponencialmente en los próximos años.

Figura 1

Estadísticas sobre la capacidad de las energías renovables



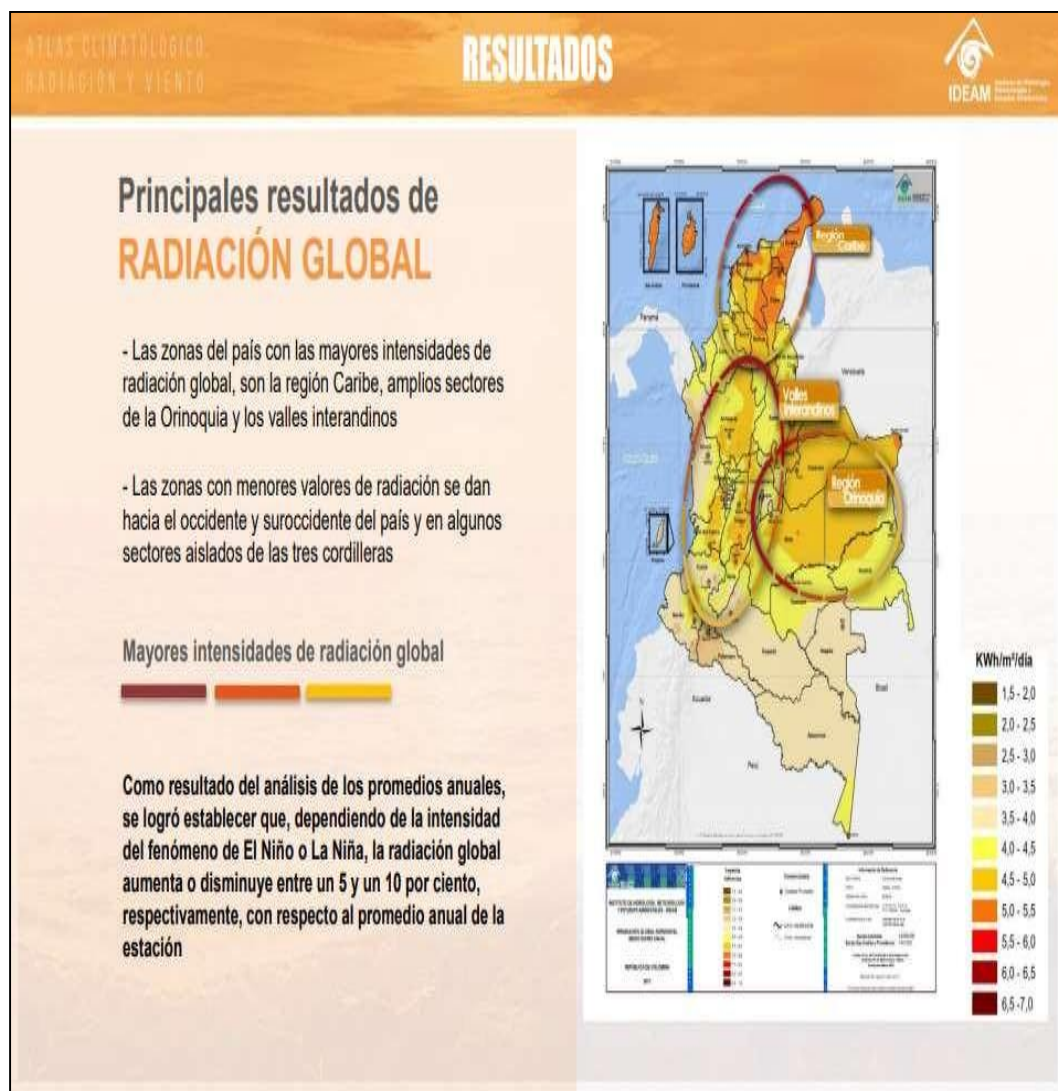
Fuente: [https://www.irena.org/publications/2018/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-](https://www.irena.org/publications/2018/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2018)

[2018](https://www.irena.org/publications/2018/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2018)

La Figura anterior muestra a Colombia como un país de capacidad eólica, aunque realmente se tiene la capacidad de contar con energía eólica como solar, como se ve en la siguiente figura, donde se observa la radiación solar en todo el país, la cual permite saber que se puede realizar proyectos de energía solar casi en todo el territorio nacional.

Figura 2

Principales resultados de radiación global



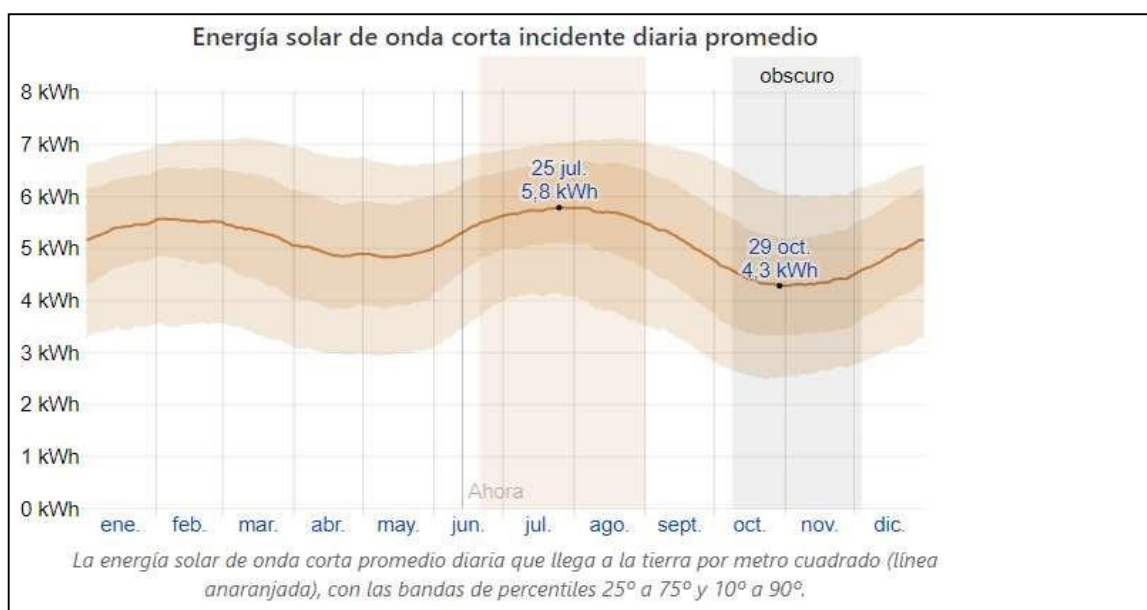
Fuente: http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260

Se observa en la Figura 2 que Antioquia se encuentra en un promedio de 4.0 a 5.0 de radiación KWh por metro cuadrado al día, que es bastante bueno para lo que buscamos en nuestro proyecto. Al dirigirse al municipio de San Rafael Antioquia donde se instalaría el parque flotante tenemos los siguientes datos:

- La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.
- El período más resplandeciente del año dura 2,4 meses, del 20 de junio al 31 de agosto, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 5,5 kWh. El día más resplandeciente del año es el 25 de julio, con un promedio de 5,8 kWh.
- El periodo más oscuro del año dura 1,9 meses, del 8 de octubre al 4 de diciembre, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 4,6 kWh. El día más oscuro del año es el 29 de octubre, con un promedio de 4,3 kWh.

Figura 3

Energía solar de onda corta en san Rafael Antioquia



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/22527/Clima-promedio-en-San-Rafael-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Esta figura corresponde al municipio de San Rafael Antioquia, se puede tener una muy buena radiación durante todo el año, lo que corresponde a más horas de luz solar, más energía

producida por los paneles solares y al estar en el embalse son más eficientes, lo que equivale a mayor energía, menos contaminación.

Preguntas sobre el proyecto

¿El proyecto evita la materialización de riesgos operativos y funcionales en los equipos y sistemas?

Sí, el proyecto va enfocado a tener una alimentación segura de los equipos instalados en el edificio de captación de la central Jaguas, los cuales actúan para el cierre normal y de emergencia de la compuerta de captación ante una falla en la conducción o en las válvulas cilíndricas de las unidades de generación de la central, por ruptura o daño en cualquiera de estos dos equipos podría llegar a ser un riesgo de gran impacto, en los equipos, los sistemas y en general de la planta.

El proyecto tiene como bondad que los equipos tanto de control como oleohidráulicos y los de ízaje que se encuentran en la captación de la central Jaguas siempre van a contar con suministro de energía, durante el día el sistema solar suministrara la energía necesaria para que los equipos y en caso de alguna falla en el circuito solar, el circuito normal de 13.2kV asume la entrega de la energía, en condiciones normales este circuito solo durante la noche suministrara la energía , en caso de falla en la noche el sistema contara con un banco de baterías que suministrara la energía suficiente para el controlador y el sistema de cierre de emergencia de la compuerta permitiendo así el envío del comando de cierre de emergencia desde el sistema SCADA que esté operando la central sea desde el COI o desde la sala de operación de la central.

El sistema de energía solar estará en capacidad de proveer alimentación segura y no dependerá del circuito eléctrico que viene desde la subestación de la central Jaguas para operar el cierre remoto de la compuerta y cargara el banco de baterías.

¿El proyecto evita la materialización de riesgos que afecte vidas humanas?

El proyecto busca tener alimentación segura para los equipos de control y fuerza de la compuerta de captación. Cuyo cierre en caso de una emergencia en la central, es crucial para salvaguardar la vida de las personas que se encuentren los alrededores de la central Jaguas.

¿El proyecto evita la materialización de riesgos que afecte el medio ambiente?

De forma directa el proyecto busca mitigar el impacto por inundación que se puede generar ante el daño o falla de la tubería de captación o en las válvulas cilíndricas de las unidades de generación. El impacto ambiental que se buscaría evitar es una posible inundación, ya que en el momento para cerrar la compuerta ante una falla eléctrica no podríamos cerrar la compuerta de forma remota.

¿El proyecto evita riesgos que afecten la infraestructura civil de la empresa?

De forma directa el proyecto busca mitigar el impacto por inundación que se puede generar ante el daño o falla de la tubería de captación o en las válvulas cilíndricas de las unidades de generación. La infraestructura civil de la central Jaguas se podría ver afectada por la inundación de la casa de máquinas, qué, aunque no se pueda evitar, sí se podría controlar.

Ya se ha tenido por fuera el sistema por más de una semana, debido a la falla de una línea del circuito que suministra la energía eléctrica al edificio esta se reventó cayendo en predios que no son de ISAGEN, para lograr normalizar el circuito ISAGEN con el personal de la central y del equipo ambiental entablaron conversaciones con los dueños de los predios para que

permitieran el ingreso y reponer la línea, cabe decir que el circuito eléctrico tiene una servidumbre, pero en algunas partes por donde pasan los predios son de particulares.

Además, para llegar al sitio y dar el cierre de la compuerta localmente es un trayecto aproximado de 40 minutos por carretera destapada, tiempo suficiente para que el agua cause bastantes daños a los equipos e infraestructura civil de la casa máquinas de la central Jaguas, adicional podría causar daño a las personas que se encuentren en casa máquinas.

Caso contrario de poder enviar el pulso de cierre desde cualquiera de las salas de operación esta maniobra se ejecuta en 3 minutos si el fluido eléctrico se encuentra en condiciones normales en el día el solar y en la noche el tradicional.

Para el comando de cierre de emergencia que es cuando se está con energía eléctrica suministrada por el banco de baterías, se estaría demorando entre 10 y 25 minutos, si el pulso de cierre es enviado desde cualquiera de las salas de operación, si es necesario ir al sitio para hacer el cierre local, en esta situación de emergencia el tiempo de cierre seria de más de una hora, suficiente para causar daños grandes.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaico flotante que pueda dar seguridad y confiabilidad al funcionamiento de los equipos del edificio de captación de la central Jaguas.

Objetivos específicos

Recopilar toda la información requerida para el desarrollo del proyecto.

Realizar los cálculos según las cargas del sitio para verificar la capacidad requerida para el parque flotante

Diseñar los circuitos requeridos para el sistema.

Realizar diseño y simulación del sistema implementado

Marco conceptual y teórico

La compuerta de captación de la central Jaguas cuenta con 3 modos de operar, automático, local y mantenimiento.

Automático

El sistema cuenta con micro swicht que dan la posición dónde se encuentra la compuerta: abierta, cerrada y uno adicional de recuperación.

Cuando la compuerta toca el micro swicht recuperación, enciende el motor AC para regresar la compuerta a la posición de abierta, esta maniobra dura aproximadamente 2 minutos y se podría realizar una o dos veces al día, aunque también podría pasar de uno a tres días sin realizar la maniobra.

De este modo ante una emergencia la compuerta recibe la orden de cierre desde casa maquinas a través del SCADA, se ejecuta con los motores de 480 VAC si el fluido eléctrico se encuentra bien.

Local

Cuando el controlador se encuentra en modo local, realiza la misma maniobra como se describió en modo automático, la única diferencia es que para dar una orden de cierre se realiza desde la IHM ubicada en el edificio de compuertas, la maniobra se realiza con los motores de 480 VAC.

Mantenimiento

El sistema se opera con la ayuda de una botonera, para retirar los vástagos que cargan la compuerta, esta posición se utiliza cuando se va a subir la compuerta para inspeccionarla, las

maniobras son todo el día, pero el motor trabaja por cada vástago 10 minutos y son 18 vástagos que se retiran en 3 días, éste trabajo se realiza cada 3 años. La maniobra de subir la compuerta se realiza con los motores de 480 VAC.

Se tiene una última maniobra que se llama cierre de emergencia

Esta la realiza una bomba de corriente continua, cuando por cualquier motivo hay ausencia de corriente alterna y se requiere cerrar la compuerta por una emergencia, la bomba se enciende para realizar el cierre de la compuerta, siendo ésta una bomba pequeña demora entre 10 y 15 minutos aproximadamente para realizar la maniobra de cierre. Para poder enviar la orden de cierre de emergencia desde el SCADA se requiere que el controlador esté en funcionamiento 24 horas.

Lo anterior descrito es lo requerido para los equipos principales y sería un banco de baterías que permita poner en funcionamiento la bomba de CC para una maniobra y mantener encendido el controlador.

En varias ocasiones durante el funcionamiento de la central, que lleva en explotación comercial 30 años se han presentado muchos inconvenientes en el circuito eléctrico que lleva la alimentación a los equipos principales en el edificio de captación distante de la central aproximadamente 10 kilómetros por carretera destapada, el circuito tiene una distancia aproximada de 5 kilómetros entre la subestación y el edificio de compuertas pasando por bosques y predios que no son propiedad de la empresa, estos eventos pasan con una duración de algunas horas como también de días, el más largo paso en noviembre del 2019 que se tuvo el circuito por fuera 15 días, donde ante una emergencia en la central de generación especialmente en casa máquinas que obligara a cerrar la compuerta no se podría hacer lo que ocasionaría la posible inundación de la central y por ende la pérdida de los dos generadores, si el problema fuera en la

tubería que conduce el agua de la captación a las máquinas de generación, o por cualquier otra circunstancia que debería cerrar la compuerta desde el SCADA de forma rápida no se podría ejecutar, adicional por la vía de aseso al ser destapada y con peligro de derrumbes, el desplazamiento de la central Jaguas al edificio de compuertas dura aproximadamente 40 minutos, en los cuales ya el agua ocasionaría grandes daños a la infraestructura de casa máquinas lugar donde se encuentran los generadores, dar el mando de emergencia no es posible si el controlador se encuentra apagado y esto ocurriría después de 1 día sin alimentación AC, ya que el banco de baterías se calculó para una autonomía de un día.

Además, se cuenta con equipos auxiliares que son un puente grúa, que se usa para llevar los vástagos de la compuerta principal a su sitio que es una maniobra por vástago de 5 minutos cada 20 minutos aproximadamente puede ser menos o puede ser más depende de si los vástagos están muy pegados o muy suaves para salir, esta actividad se realiza cada 3 años.

El puente grúa también se usa para instalar la compuerta auxiliar que es bajar la compuerta con sus 19 vástagos la maniobra por vástago se demora 5 minutos, esta actividad se realiza cada 10 años. Malacate para la inspección cada 10 años de la compuerta principal, del sello de esta y de posibles filtraciones en la cavidad donde asienta la compuerta principal y la maniobra de subir y bajar demora 20 minutos.

Lo que se pretende es brindar la energía suficiente en el día para realizar estas actividades en cualquier momento ya que se puede presentar una emergencia o cualquier otro evento que nos lleve a realizar estas actividades, razón por la cual pensamos en 25KW o más paneles solares flotantes que serán la alimentación principal de estos equipos cuando se requieran, en la noche, como el sistema estará conectado a la red este entregará la energía para realizar la recuperación automática de la compuerta, si por algún motivo el circuito está abierto ante una emergencia que

amerite cerrar la compuerta, el banco de baterías suministrará la tensión y corriente necesarias para conectar la bomba de 48 VDC y así poder cerrar la compuerta, además proveerá la alimentación necesaria para que el controlador permanezca encendido por un día, lo que permite recibir el pulso de cierre de la compuerta desde el sistema SCADA, los paneles solares cargaran las baterías nuevamente cada día, lo que nos permitirá garantizar con la alimentación AC porque el circuito podría permanecer abierto varios días.

En Colombia EPM realizó ya la instalación de un parque solar flotante en el embalse Guatapé, lo que les permitió saber que en el agua los paneles son entre 10 y 15% más eficientes comparados con proyectos realizados en tierra, con un inversor centralizado que toma la tensión de los paneles y la lleva al voltaje que se requiera.

Descripción de la necesidad

En el edificio de compuertas se encuentran instalados tres equipos principales, que son el malacate para la inspección del túnel de conducción, la central oleohidráulica para apertura o cierre de la compuerta principal, y un puente grúa que se utiliza principalmente para sacar los vástagos del sistema de compuerta principal y para bajar la compuerta auxiliar. Estos equipos serían los de mayor consumo energético, ya que el PLC, el switch de comunicaciones, la cámara y demás equipos instalados no consumen cantidades de energía altas, pero requieren suministro constante.

La edificación también se debe cambiar el sistema de iluminación existente por iluminación LED, lo cual haría que el consumo energético también disminuyera notablemente.

Metodología para la implementación del proyecto

Para el desarrollo del diseño del parque flotante se realizará lo siguiente:

Recopilar la información de los equipos instalados en el edificio de captación, la información requerida para el diseño de potencia de cada equipo, tipo de alimentación AC, DC, corriente de arranque y corriente de trabajo.

Se investigará el tiempo que trabajan al día los equipos, miraremos si trabajan todos al mismo tiempo o en intervalos, para esto se consultara con el personal electricista de la central y se buscara en planos eléctricos, manuales de operación y mantenimiento de cada equipo instalado en el edificio de la compuerta.

Con la información obtenida se realizarán los cálculos que se requieran para saber con exactitud la potencia requerida por los equipos instalados, esta debe ser suministrada por el parque flotante durante las horas de sol, ya que en la noche el circuito eléctrico existente suministrará la energía y si hay una falla el banco de baterías suministrara la energía necesaria para realizar un cierre de emergencia de la compuerta de ser necesario.

Luego de tener los cálculos de la potencia requerida que deben suministrar los paneles se investigara la radiación solar en el municipio de San Rafael, esto con el fin de saber cuántas horas de radiación efectiva tenemos y poder realizar los cálculos requeridos para el número de paneles solares que se necesitan para alimentar los equipos instalados.

Se realizará la investigación de los tipos de paneles solares, tecnologías y otros parques flotantes, además buscar proyectos similares en Colombia e interactuar con las personas que los realizaron de ser posible para aprender de sus experiencias y aplicarlas en el nuestro.

Ya con los cálculos de potencia, las horas de radiación solar y la tecnología que se puede emplear en el proyecto se elaboraran los cálculos para el número de paneles solares necesarios y el diseño eléctrico. Como los paneles solares estarán instalados sobre el agua en el Embalse san Lorenzo, se conversará con proveedores de los flotadores donde irán instalados los paneles solares, con el fin de realizar una posible distribución del parque flotante y un bosquejo del mismo.

Ya al saber cómo serían los flotadores y la distribución de los paneles se podría tener el diseño de distribución de los paneles solares además de como estarían instalas las tuberías por donde pasen los cables eléctricos sin que estén en contacto con el agua, veremos la forma de anclar el parque flotante para que no se mueva de su sitio, y el cómo entrar en la plataforma para realizar el mantenimiento de los paneles solares.

En este punto se tendría el diseño eléctrico, el diseño de distribución de los paneles sobre la plataforma flotante, y el esquema de las tuberías, garantizando que los cables eléctricos no entren en contacto con el agua, además ya estará definida la forma de entrar a la plataforma flotante para realizar el mantenimiento, revisiones o cambios de equipos si alguno sufre una falla. Por último, se investigará el software donde podamos simular el circuito eléctrico de nuestro parque flotante, la investigación nos brindará la posibilidad de escoger el software para realizar la simulación del circuito eléctrico del parque solar.

Se realizará la simulación para verificar el funcionamiento del sistema solar, según las condiciones que requieren los equipos a ser alimentados por este. Para el final del proyecto se tendrá el circuito eléctrico, la forma y distribución de los paneles solares en la plataforma flotante, la simulación del circuito eléctrico y toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto recopilada en un solo sitio.

Diseño y desarrollo de la solución

Información proyecto Captación energía solar en la central Jaguas.

Energía promedio mensual (kWh/mes) que se desea suministrar con el proyecto. En este caso podrían ser los consumos de la subestación principal de la cual viene la línea en 13,2 kV, de forma que se supla la totalidad o un porcentaje de la energía demandada por las cargas en esta subestación.

2160 KW

Tabla 1

Información de las cargas para el almacenamiento en baterías.

Motor puente gruaizaje principal 2,6/0,64 HP - 3,7/16,2kW	16200 W
Motor del malacate	9000 W
Motor central oleohidráulica AC	18500 W
Motor central oleohidráulica CC	1200 W
Sistema de comunicaciones	100 W
Sistema de iluminación circuito 7	41000W

Tabla 2

Cantidad de unidades de los equipos con back-up.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Motor puente grúa izaje principal 2,6/0,64 HP - 3,7/16,2kW	1
Motor del malacate	1
Motor central oleohidráulica AC	1

Motor central oleohidráulica CC	1
Sistema de comunicaciones	1

Tabla 3

Tiempo de horas en uso de cada equipo.

Motor puente grúa izaje principal 2,6/0,64 HP - 3,7/16,2kW	2 horas
Motor del malacate	1 hora
Motor central oleohidráulica AC	1 hora
Motor central oleohidráulica CC	1 hora
Sistema de comunicaciones	24 horas
Iluminación interior reflectores	1 hora
Iluminación interior lámparas	1 hora
Iluminación exterior	12 horas

Tabla 4*Horas de servicio y consumo de equipos edificio compuerta*

Descripción	Voltaje	Corriente Nominal (A)	Corriente De Arranque (Isc)	Cantidad	Potencia (W)	Potencia De Arranque (W)	Horas De Uso
Motor puente grúa izaje principal	480 AC	33.75	135	1	16200	64800	2
Motor del malacate	480 AC	18.75	75	1	9000	36000	1
Motor central oleohidráulica	480 AC	38.54	154.17	1	18.5	74000	1
Motor central oleohidráulica	48 CC	2.5	10	1	1200	480	1
Sistema de comunicaciones	48 CC	0.20833	1	1	100	200	24
Total					45000	179700	

Figura 4

Ubicación del lugar donde se realizará el proyecto



Fuente: Google Earth.

En la figura 4 vemos la ubicación exacta del edificio de compuertas, las coordenadas del lugar son latitud 06° 22' 27.69" y longitud 75° 00'38.46"

Tabla 5

Distancia entre el nivel medio del embalse y el nivel medio del fondo de la represa.

Nivel Máx. Técnico	1.247,00 msnm
Nivel Min. Técnico	1.221,90 msnm
Nivel Min. Físico	1.214,00 msnm

En la cuota 1247 se inicia el vertimiento del embalse

- Distancia entre la ubicación del sistema y el punto de conexión proyectado.

Aproximadamente 300 metros

- Características de transformador que alimenta el punto de conexión.

Transformador de 13,2 KV a 480 Vac 75 KVA

Cálculo Interruptores Alimentación Demanda

Para el cálculo de los interruptores se tiene la siguiente ecuación

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

$$I = \frac{2500 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0.8} = 41 \text{ A} \quad (2)$$

Factor de Seguridad

Es importante aplicar un factor de seguridad de al menos 25%, de esta forma la corriente total sería de 51.25 A. E, interruptor más cercano comercial encontrado es de 50 A.

Cálculos instalación fotovoltaica aislada

Para los cálculos de los consumos medios diarios (L_{md}) se considera la siguiente expresión

$$L_{md} = \frac{L_{mdDc} + \frac{L_{mdAC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} + \eta_{con}} = \frac{3,600 + \frac{59,900}{0.9}}{0.95 \cdot 1} = \frac{70,155}{0.95} = 73,847 \text{ Wh} \approx \frac{74 \text{ Kwh}}{\text{día}} \quad (3)$$

en donde

L_{md} Consumo medio de energía diario

L_{mdDc} Consumo medio de cargas de corriente continua

L_{mdAC} Consumo medio de cargas de corriente alterna

Si se requiere expresar como el consumo de energía medio en Ah/día, entonces se tiene que

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{bat}} = \frac{74,000 \text{ Wh}}{48} = 1,541.6 \text{ Ah} \text{ ó } \frac{74,000}{125} = 592 \text{ Ah} \quad (4)$$

Como dato adicional se puede calcular el consumo total anual (L_t) y medio anual (L_{ma}) utilizando la siguiente expresión

$$L_t = L_{md} * 365 = 74,000 * 365 = 27,010,000 \text{ Wh/año} \quad (5)$$

$$L_{ma} = \frac{L_t}{365} = \frac{27,010,000}{365} = 74,000 \text{ Wh/día} \quad (6)$$

En este caso coincide con el medio diario, porque el consumo estimado es constante para todos los días.

Una vez realizados los cálculos del consumo se busca los datos de la radiación solar que se tiene en la zona del proyecto, es decir, en el municipio de San Rafael Antioquia, los cuales se puede observar Figura 3

Teniendo estos datos se puede proceder a calcular el número de paneles necesarios para satisfacer la demanda, para ello usaremos la siguiente expresión:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} = \frac{74,000}{400 * 4,3 * 0.90} = \frac{74,000}{1,548} = 47.80 \approx 48 \text{ paneles} \quad (7)$$

Con esta ecuación se puede obtener cuantos paneles se necesitan para abastecer la demanda, pero se puede dividir la demanda en la energía que produce cada panel con la siguiente ecuación

$$Ep = P_{MPP} * HPS_{crit} * PR \quad (8)$$

Entonces con 48 paneles se pueden abastecer la demanda que requieren el sistema, aunque este número podría si tenemos diferente demanda en cada mes, pero siendo,

L_{mdcrit} el consumo medio diario mensual para el mes crítico, “Tabla de Consumos”, (en este caso, es siempre el mismo 74,000Wh, pues el consumo diario es constante todo el año).

P_{MPP} la potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida STC. Que sería 400w dato tomado de las características del modelo de panel que se eligió JKM400M-72H-V para la instalación tabla 5.

HPS_{crit} son las horas de sol pico del mes crítico calculado a partir de la “figura 3” se toma para el cálculo el día con menor radiación que es 29 de octubre con un valor de 4,3.

PR es el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Usaremos 0.90 por defecto.

Para la conexión de los módulos en serie o en paralelo, se tiene en cuenta el valor máximo de voltaje del panel elegido para el sistema JKM400M-72H-V que es de 41,7 VDC se usan las siguientes expresiones:

$$N_{serie} = \frac{V_{BAT}}{V_{panel.MPP}} = \frac{48}{41.7} = 1.1510 \approx 1 \text{ ó } \frac{125}{41.7} = 2.997 \approx 3 \quad (9)$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}} = \frac{48}{1.1510} = 41.70 \quad (10)$$

Para un voltaje de 48 Vdc para las baterías.

Con este resultado se conectarían 42 ramales en paralelo de 1 panel por ramal.

La corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados) en las condiciones de radiación solar del mes crítico sería:

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}} = \frac{592}{4,3} = 137.67A \quad (11)$$

Siendo,

$I_{GFV,MPP}$ La corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles Instalados).

Si la dividimos entre la corriente unitaria de cada módulo fotovoltaico $I_{MOD,MPP}$ que en el caso del JKM400M-72H-V es de un valor de 9,60 A

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{GFV,MPP}}}{I_{\text{MOD,MPP}}} = \frac{137.67}{9.6} = 14.34 \approx 15 \quad (12)$$

Líneas en paralelo sin usar regulador, el voltaje de las baterías serían las que dictan cuantas líneas en paralelo se requieren en este caso 15 con 1 panel cada una, siempre se recomienda usar el regulador.

Calculo Banco de baterías real ya que solo requerimos bacterias para el sistema de cierre de emergencia y PLC

Profundidad de Descarga Máxima Estacional (PDmax,e) = 70% = 0,7

Profundidad de Descarga Máxima Diaria (PDmax,d) = 15% = 0,15

Número de días de Autonomía (N) = 1

Se calcula entonces ahora la capacidad nominal necesaria de una batería solar en función de la profundidad de descarga estacional y diaria. La mayor de ellas será la que seleccionemos, pues de lo contrario se podría incurrir en una insuficiencia estacional o diaria.

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (Cnd):

El valor usado como consumo es el valor de consumo de la bomba de corriente directa descrita en la tabla de consumo más el consumo de las comunicaciones por 10 horas

$$C_{\text{nd}}(\text{Wh}) = \frac{L_{\text{md}}}{P_{\text{Dmax,d}} * F_{\text{CT}}} = \frac{2,300}{0,15 * 1} = \frac{2,300}{0,15} = 15,333.3 \text{ Wh} \quad (13)$$

$$C_{\text{nd}}(\text{Ah}) = \frac{C_{\text{nd}}(\text{Wh})}{V_{\text{bat}}} = \frac{15.333.3}{48} = 319\text{Ah} \quad (14)$$

Profundidad de Descarga Máxima Diaria (PDmax,d) = 15% = 0,15

Se requiere generar la energía diaria para suplir el valor de **L_{md}** con las **baterías**, pero permitiendo solamente el 15 por ciento de descarga máxima al día, y suponiendo un factor de corrección de temperatura de 1, una vez sabido el valor en Wh de la batería, simplemente se

divide entre la tensión de la misma (en este caso 48 Vdc), ya sabremos la capacidad que requerimos para nuestro sistema de baterías.

Cálculo de banco de baterías

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (C_{ne}):

$$C_{ne} \text{ (Wh)} = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax,e} * F_{CT}} = \frac{2,300 * 1}{0,7 * 1} = \frac{2,300}{0,7} = 3,285.7 \text{Wh} \quad (15)$$

$$C_{ne} \text{ (Ah)} = \frac{C_{ne} \text{ (Wh)}}{V_{Bat}} = \frac{3,285.7}{48} = 68.45 \text{ Ah} \approx 69 \text{Ah} \quad (16)$$

Profundidad de Descarga Máxima Estacional (PD_{max,e}) = 70% = 0,7

Como en la explicación anterior se requiere suministrar el valor de L_{md} con las baterías pero que se pueda disponer de ella durante 6 días sin el parque fotovoltaico en funcionamiento, sin permitir una descarga del 70 por ciento y suponiendo un factor de corrección por temperatura de 1, al tener el valor en Wh, se divide por el valor del voltaje (en este caso es de 48 Vdc), y obtenemos el valor de la capacidad mínima necesaria para el banco de baterías en función de los días de autonomía.

Cálculo del inversor

Por último, para el cálculo del inversor fotovoltaico para solar aislada, únicamente se debe de calcular la suma de las potencias de las cargas de alterna y aplicar un margen de seguridad del 20%.

$$P_{INV} = 1,2 * P_{CA} = 1,2 * 70,400 = 84,480 \text{W} \quad (17)$$

Será necesario un inversor de 85000W aproximadamente.

$$P_{INV} = 1,2 * P_{CA} = 1,2 * (70,400 * 4 + 1,690) = 339,948 \text{W}$$

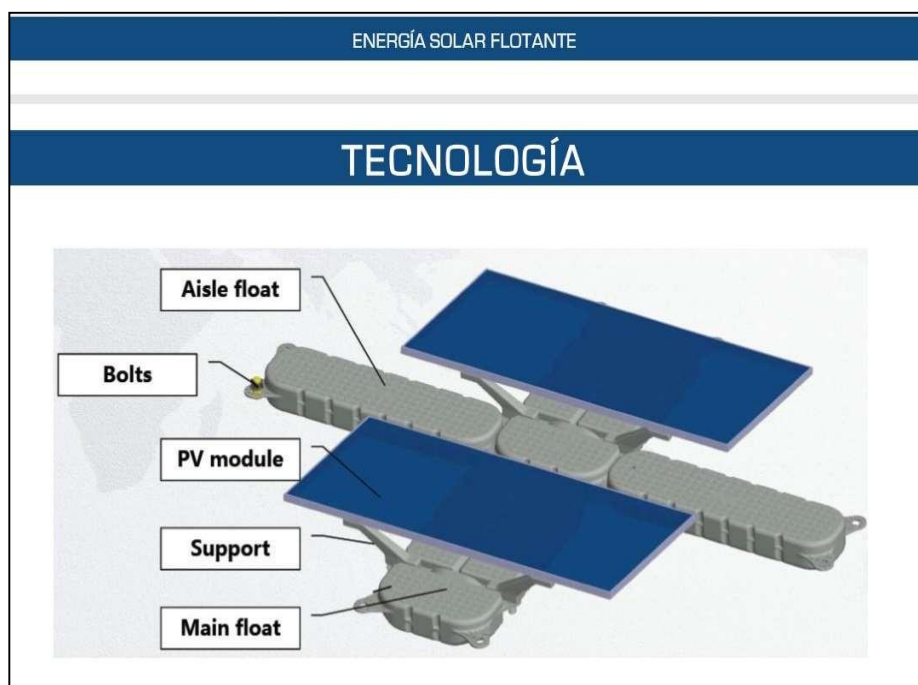
El inversor debería cubrir, al menos, 340,000 W de demanda para tener bien cubiertas los arranques de los motores. Lo que no es necesario ya que todos los motores no arrancan al mismo tiempo, esto nos permite tener un inversor más pequeño que podría ser de 25000 W, ya que es una potencia superior al motor más grande que se tienen instalado en el sistema, pero para tener los estándares de seguridad sugeridos se puede optar por el de 85KW que ya fue calculado.

Diseño de flotadores

Con la empresa ingeniería flotante se realizan varios acercamientos donde logramos identificar el tipo de flotador que se necesita para la plataforma flotante donde irán instalados los sesenta y cuatro paneles solares, para esto se requiere la plataforma de 192 metros cuadrados, donde nos permita realizar el mantenimiento de los paneles de forma segura y rápida.

Figura 5

Tecnología flotadores



Fuente: <https://ingenieriaflotante.com>

Ventajas

- Eco Amigable
- Todos los materiales del sistema ExcelDock son reciclables.

- La instalación de plantas solares flotantes reduce la evaporación en embalses de agua de consumo.

- Se reduce el crecimiento de algas en el embalse gracias a la sombra que genera.
- No requiere excavaciones, ni explanaciones como los sistemas en tierra reduciendo el impacto ambiental.

- Preserva terrenos valiosos que tienen destinación para la agricultura u otros usos.

Rentabilidad

- Menor costo y tiempos de instalación.
- No se requiere la compra y adecuación de terrenos.
- Mayor generación de energía por la efectividad de los paneles sobre el agua.
- Al ser construido sobre embalses de generación reduce los costos de conexión y transmisión aprovechando la infraestructura existente.

¿Por qué escoger sistemas flotantes?

Energía solar flotante

Estudios realizados por Korea Water Resources Corporation han demostrado que los sistemas fotovoltaicos flotantes superan el rendimiento de instalaciones sobre terreno hasta en un 11%.

En el caso de EPM con su planta piloto solar flotante, se instaló una planta paralela en tierra, cerca de la planta flotante. Resultados preliminares arrojan un rendimiento mayor de los módulos flotantes (entre 11% y 14%).

Figura 6

Proceso de instalación



Fuente <https://ingenieriaflotante.com>

Figura 7

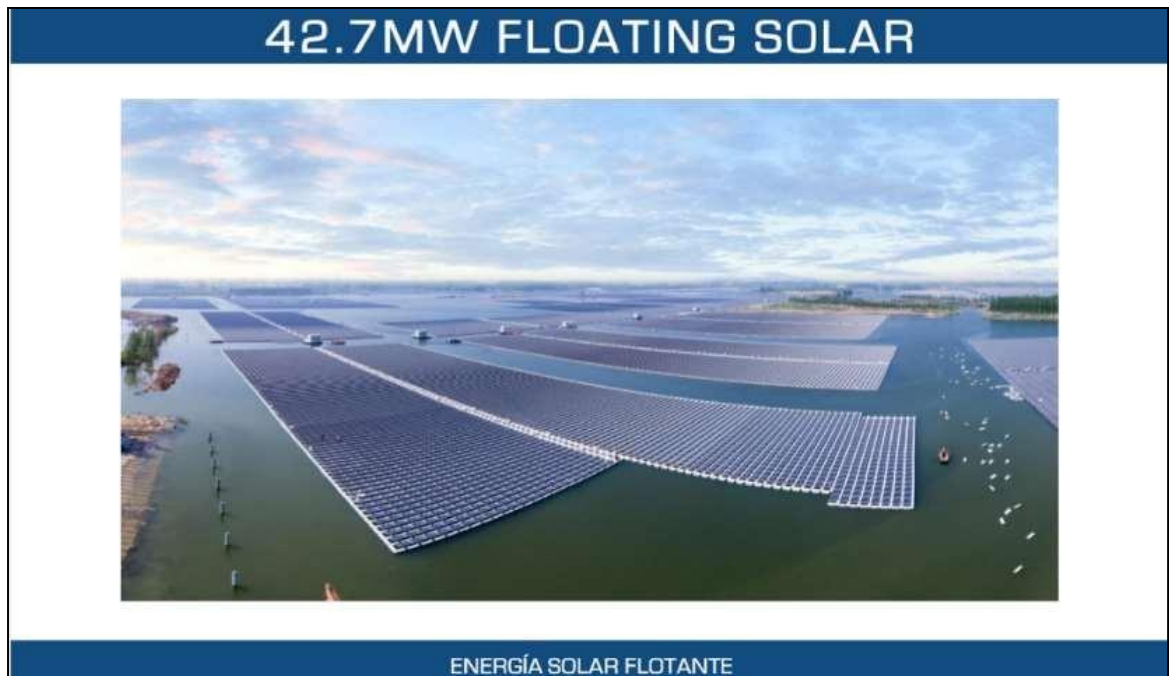
Proyectos instalados



Fuente: <https://ingenieriaflotante.com>

Figura 8

Plataformas flotantes



Fuente: <https://ingenieriaflotante.com>

Como se puede ver en las figuras 7 y 8 en el mundo ya se realizan proyectos de grandes magnitudes en este tipo de plataformas flotante. El lugar en la central jaguas donde iría la plataforma flotante, de fácil acceso al edificio donde se encuentran los equipos, lo que nos permite evitar gastos en cableado, el anclaje de la plataforma se realizaría a la ladera de la montaña y tendrá la posibilidad de subir y bajar con el embalse según el nivel que se tenga en este.

Como se ve en la figura 9 y 10 el personal de ingeniería flotante realizó el diseño de la plataforma y la ubicación de los paneles se ven dos tipos de posible conexionado de los paneles solares y los pasadizos para poder realizarle el mantenimiento necesario a los paneles solares y sus equipos asociados.

Dentro del proyecto también está para la empresa ISAGEN la propuesta del cambio de la iluminación que alimenta el circuito 7, como vimos esta iluminación consume 41000 watios hora día, dentro del desarrollo del proyecto y buscando información de cómo está la iluminación externa en otras centrales de ISAGEN, logramos ver que muchas fueron cambiadas por luces led, que bajan el consumo pero siguen conectada a la red eléctrica y cuando hay un apagón como lo que hemos tenido en la central Jaguas las luminarias quedan por sin alimentación y se apagan, la propuesta nuestra es que las luminarias se cambien por luces led pero alimentadas por paneles solares, así siempre estarán iluminadas y para el proyecto solar nos permitirá cortar las ramificaciones que tienen el circuito 7, lo que ayudaría que las descargas eléctricas no viajen hacia el parque flotante.

Propuesta técnica interconectado sistema solar fotovoltaico

Tabla 6

Equipos propuestos para la instalación

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Panel fotovoltaico Longi/Jinko 395Wp	64
2	Inversor Froniuns 24 KW	1
3	Sistema de Monitoreo	1
4	Medidor Bidireccional	1
5	Cableado y accesorios	1
6	Estructura flotante	1
7	Ingeniería, logística y Construcción	1
8	Certificación RETIE	1
9	Estudio de Conexión	1
10	Pólizas	1

Equipos

- Paneles fotovoltaicos

En este caso se ha optado por seleccionar los módulos fotovoltaicos JKM400M-72H-V 400 Watt, fabricado por Jinko Solar. Este modelo presenta las siguientes características eléctricas:

Tabla 7:

Principales datos eléctricos de los paneles JKM400M-72H-V

Datos eléctricos	
Potencia nominal (Pmax)	400 Wp
Tensión en el punto máximo (Vpm)	41,7V
Corriente en el punto máximo (Imp)	9,60A

Tensión en circuito abierto (Voc)	49,8V
Corriente de cortocircuito (Isc)	10,36A

Figura 11:

Módulos fotovoltaicos JKM400M-72H-V 400 Watt



Fuente: <https://www.renova-energia.com/productos/panel-solar-jinko-solar-cheetah-hc-jkm400m-72h-v-0-400/#>

- Inversores

Tabla 8

Características eléctricas de entrada del inversor elegido SYMO 20.0-3-M.

Características eléctricas de entrada	
Máxima corriente de entrada	33/27A
Tensión de entrada máxima	1000 V

Rango de tensión MPP	420/800 V
Tensión de entrada nominal	600 V
Corriente máxima de entrada	51A

Figura 12

Inversor SYMO 20.0-3-M



Fuente: <https://www.fronius.com/es/latin-america/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>

Tabla 9

Características eléctricas de salida del inversor elegido SYMO 20.0-3-M

Características eléctricas de salida	
Potencia nominal	20.000 W
Máxima potencia de salida	20.000 VA
Máxima corriente de salida	28.9 A
Frecuencia	50Hz/60Hz
Coefficiente de distorsión no lineal	1.30%

Tabla 10*Características principales del sistema*

Potencia Del Sistema	Producción De energía	Consumo Actual	Peso Del Sistema	Área Mínima Requerida
25,28 KWp	2.859 KWh/mes	2.800 KWh/mes	45kg/m ²	190 m ²

Planos eléctricos

En el plano se evidencia como quedaría el circuito eléctrico del proyecto con sus respectivos equipos y cargas eléctricas del sistema.

Este está compuesto por la planta flotante de 25KV la cual estará instalada en el embalse San Lorenzo, el inversor con sus respectivas protecciones, el cargador y su banco de baterías de 48Vdc el cual alimenta el motor del sistema hidráulico de respaldo, adicionalmente encontramos la transferencia automática que va alimentar los diferentes circuitos del edificio como: puente grúa, central oleodinámica, malacate e iluminación y tomas. Es de aclarar que la alimentación de la transferencia automática viene del sistema fotovoltaico y el circuito 7 de 13.2KV existente que viene de la subestación Violetas y pasa por un transformador 75KVA y lo reduce a 480Vac.

Conclusiones

Mediante el diseño del sistema de energía solar fotovoltaico flotante se podría obtener seguridad, respaldo y confiabilidad al respectivo funcionamiento de los diferentes equipos del edificio de captación, con un circuito de energía que estaría todo el tiempo conectado listo para atender la demanda de energía necesaria para el buen funcionamiento de los equipos y así ayudaría a mantener una disponibilidad operacional de la central mas segura.

En el desarrollo de los cálculos vimos que estos se pueden aplicar para sistemas aislados como para hogares comunes, lo que nos permite fácilmente realizar cálculos para atender la demanda de un hogar en colombiano con paneles solares, en cualquier parte del país, usando la tabla de la radiación solar que la podemos obtener de internet de cada región del país.

Recopilando la información necesaria, para saber cuál es la demanda que requerimos atender con nuestro sistema solar, podemos diseñar el circuito eléctrico para saber cómo vamos a distribuir nuestros equipos, inversores, paneles solares, cableado, el área a utilizar, si es más económico en tierra o en el agua dependiendo del tamaño del parque, o de la energía que vamos a entregar.

Referencias

- A., Héctor, I. N. G., & Castellanos, E. (2004). *Rehabilitación y mantenimiento del sistema hidráulico para compuertas del embalse de la central hidroeléctrica jurún marinalá*.
- Acciona. (2015). *Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual*.
<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>
- ¿Cuántas placas solares necesito para una casa? - SunFields. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/instaladores/cuantas-necesito-casa/>
- Cálculo Placas Solares, Conexiones y Producción Fotovoltaica*. (s/f). Sun Fields Europe.
 Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- Celsia. (2018). *Proyectos de Energía Solar que debes conocer en COlombia*. Energía Solar.
<https://blog.celsia.com/new/proyectos-de-energia-solar-en-colombia/>
- Energía solar: un potencial por explotar*. (2018).
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/energia-solar_285
- EPM innova con el primer piloto de parque solar flotante*. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-innova-con-el-primer-piloto-de-parque-solar-flotante>
- Erco Energía | Energía Solar Medellín | Energías renovables*. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <http://www.ercoenergia.com.co/>
- Garwood, A. (2005). *Energía solar*. Refocus. [https://doi.org/10.1016/S1471-0846\(05\)70397-8](https://doi.org/10.1016/S1471-0846(05)70397-8)

Holanda construirá la primera planta solar flotante del mundo sobre el mar. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://ecoinventos.com/holanda-promueve-la-primer-planta-solar-flotante-mar-del-mundo/>

Ignacio Mártil. (s/f). *Energía solar fotovoltaica: panorama mundial - El Blog de Ignacio Mártil.* Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/11/25/energia-fotovoltaica-panorama-mundial/>

¡Ingeniería Flotante | Expertos en soluciones flotantes! (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://ingenieriaflotante.com/#Inicio>

Plantas fotovoltaicas flotantes: la promesa de la energía renovable solar | Trace Software Spain. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://www.trace-software.com/es/plantas-fotovoltaicas-flotantes-la-promesa-de-la-energia-renovable-solar/>

Planta Solar Flotante “Atractivos proyectos de la energía solar”. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://avatarenergia.com/planta-solar-flotante/>

Planta solar flotante: innovadora tecnología - World Energy Trade. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/investigacion/planta-solar-flotante-innovadora-tecnologia>

Sistema modular para Energía Solar Flotante | Excel Dock. (s/f). Recuperado el 29 de junio de 2021, de <https://exceldock.com/portfolio-posts/energia-solar-flotante/>