1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos para nuestra sociedad, desde un punto de vista económico y sostenible, es enfrentar las consecuencias de los cambios acelerados del clima, los cuales tienen impacto en el ambiente, la sociedad y la economía. Cuando hay un incremento de temperatura la Tierra, sus habientes vivientes sufren consecuencias negativas, muchas veces extintivas, al romperse el equilibrio de sus sistemas naturales, creando repercusiones trágicas y catastróficas en el desarrollo de las actividades productivas humanas. En el largo plazo, la mitigación de GEI se constituye como una medida de adaptación, es decir que entre más se reduzcan las emisiones GEI, menos necesidades de adaptación tendremos a futuro.
Se estima que, de continuar con el crecimiento actual, para 2100 se aumentaría dos más de temperatura; siendo este un escenario conservador. Esta cifra podría aumentar, con consecuencias nefastas para la conservación de la vida en la Tierra. Es necesario reinventar nuestra forma de vivir para reducir la producción gases de efecto invernadero. Para el planeta, y por supuesto para Colombia, cada grado más de temperatura importa.
Como consecuencia, en los últimos años, los instrumentos de planificación de Colombia para la acción climática se han consolidado y puesto en marcha. a través de la formulación de los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático a nivel sectorial (PIGCCS) y territorial (PIGCCT). Consolidados recientemente en a la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), que busca definir metas y medidas para la gestión del cambio climático para el periodo 2020-2030, y se establecen sinergias con la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Asimismo, la NDC se articula con la Estrategia de Largo Plazo E2050 que Colombia comunicará a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) en antelación a la COP26.

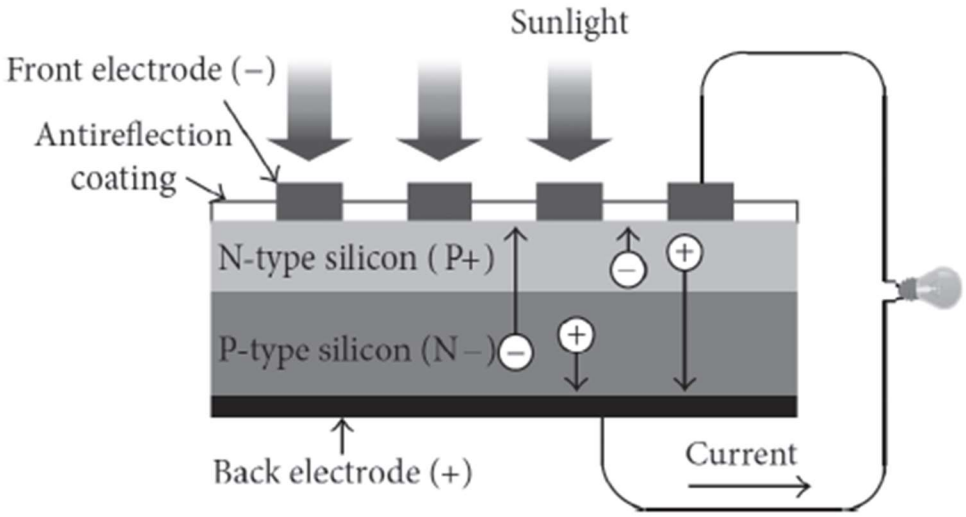
El aumento en el consumo y la extracción indiscriminada creciente de combustibles basados en recursos fósiles, afectan de manera negativa la mayoría de los aspectos relevantes en el desarrollo de la vida humana. Una vez que se agoten estos recursos combustibles, se deben enfocar los esfuerzos en desarrollar e implementar en mayor medida la generación con base en recursos renovables. Los mayores esfuerzos y las tecnologías más desarrolladas están enfocados en generación eólica, fotovoltaica y biomasa. Una de las mejores alternativas al petróleo actualmente, la producción de bioetanol ha aumentado desde los años 1990, con un fuerte aumento a partir del año 2000. El bioetanol también ofrece una alternativa atractiva como combustible en las células de combustible a baja temperatura, ya que puede producirse en grandes cantidades a partir de residuos agrícolas y biomasa. Actualmente, el etanol global se produce principalmente a partir de azúcar y a partir de la materia prima del almidón. La utilización exitosa de la energía solar renovable, abundante y barata para la producción de bioetanol a partir de la biomasa tiene el potencial de resolver el problema de la escasez de combustible al que se enfrente el mundo[1].

[1] Tomado de Carter, Joel G. Solar Energy and Solar Panels: Systems, Performance and Recent Developments. Hauppauge, NY: Nova Science, 2016. Print.

La energía renovable es el tipo de energía que puede ser obtenida de la naturaleza y se puede reponer naturalmente en una escala de tiempo humana incluyendo la energía solar, energía eólica, calor geotérmico, energía hidráulica, energía de la marea, y energía de onda. La energía renovable puede eliminar la demanda de combustibles fósiles, ya que puede sustituir a los combustibles fósiles convencionales en varias zonas del mundo por completo. Por lo tanto, la promoción activa de las energías renovables se ha convertido en una opción importante entre muchos países para superar el problema del calentamiento global y la demanda creciente de energía. La energía solar es considerada como la energía renovable con más potencial y ha sido agresivamente promovida por los gobiernos de muchas naciones en el mundo.
La energía solar es una fuente de energía sostenible y abundante, y su aprovechamiento para la producción de biocombustibles y otros aspectos en la economía tiene ventajas financieras y ambientales. El uso de este recurso alternativo verde renovable puede proporcionar una solución para satisfacer las crecientes demandas de energía.
Los paneles fotovoltaicos están hechos de células fotovoltaicas montadas en serie / paralelo y encapsuladas en módulos. La estructura celular puede simplificarse como una unión p-n expuesta a la luz, como se representa en la Figura 1-1, que es una combinación de dos capas de materiales semiconductores dopados de manera diferente.

Adicionalmente, la capacidad fotovoltaica instalada (PV) ha superado los 627 GW alrededor del mundo en abril de 2020, con la mayoría de las instalaciones instaladas sólo en los últimos años. Aparte de los diversos beneficios ambientales de la adopción de energía fotovoltaica, la creciente instalación fotovoltaica también está motivada por los beneficios financieros que se han hecho evidentes en los últimos años, cuando da a lugar la paridad de red en muchos lugares del mundo. La degradación del PV es una consideración clave durante la evaluación del rendimiento fotovoltaico, no sólo con respecto a los fabricantes, sino también a los desarrolladores y propietarios del sistema.
Normalmente, la instalación de una planta de energía fotovoltaica consiste en tres fases, es decir, el desarrollo, la construcción, y por último la operación y el mantenimiento (O & M). Tener una estimación precisa de la degradación del PV es muy importante para los propietarios e inversores de las plantas de energía fotovoltaica, especialmente durante el desarrollo y las fases de O & M. A pesar de la caída sustancial en el costo de la energía fotovoltaica en todo el mundo, el costo de capital inicial requerido para instalar una planta de energía fotovoltaica de tamaño considerable a escala de utilidad puede seguir afectando sobre la liquidez de los propietarios de las plantas fotovoltaicas.

Figura 1-1 Circuito equivalente de diodos



A continuación, se muestra un estudio previo que muestra las razones de utilizar paneles solares como solución energética por encima de otras tecnologías disponibles en el mercado. Actualmente, existen muchos incentivos tarifarios que aplican a la energía solar en todo el mundo, los cuales se han puesto en marcha para tratar de aumentar la cantidad de energía producida por la energía solar tratando de disminuir el daño ambiental causado por energías convencionales. Las subvenciones y las tarifas de alimentación a la red están cambiando de forma regular a nivel mundial, y es esta una de las razones por la que se adopta este tipo de energía, debido a que se prevé que se utilicen incentivos tarifarios por parte del gobierno en formas de resoluciones y regulaciones por parte del Ministerio de Minas y Energía y la Comisión de regulación de energía y gas – CREG en un futuro cercano. Una de las formas de llevar a un proyecto de implementación de energía renovable en Colombia a ser económicamente viable, es a través de incentivos tarifarios que compensan los altos costos iniciales de instalación comparados con otras tecnologías igualmente viables.

La energía solar, con respecto a otros tipos de energía limpias posee claras ventajas que no es necesario analizar en detalle ya que son intrínsecas al sistema solar con respecto a uno con energía eólica o alimentado por una turbina, como, por ejemplo:

1. Carece de partes en movimiento, lo que tiene como consecuencia un menor costo de mantenimiento
2. Niveles de confiabilidad alto probados por la forma constructiva de las partes del sistema solar
3. Requiere menor grado de monitoreo para una operación exitosa por su falta de movimiento
4. Operación silenciosa comparado con las demás fuentes de energía

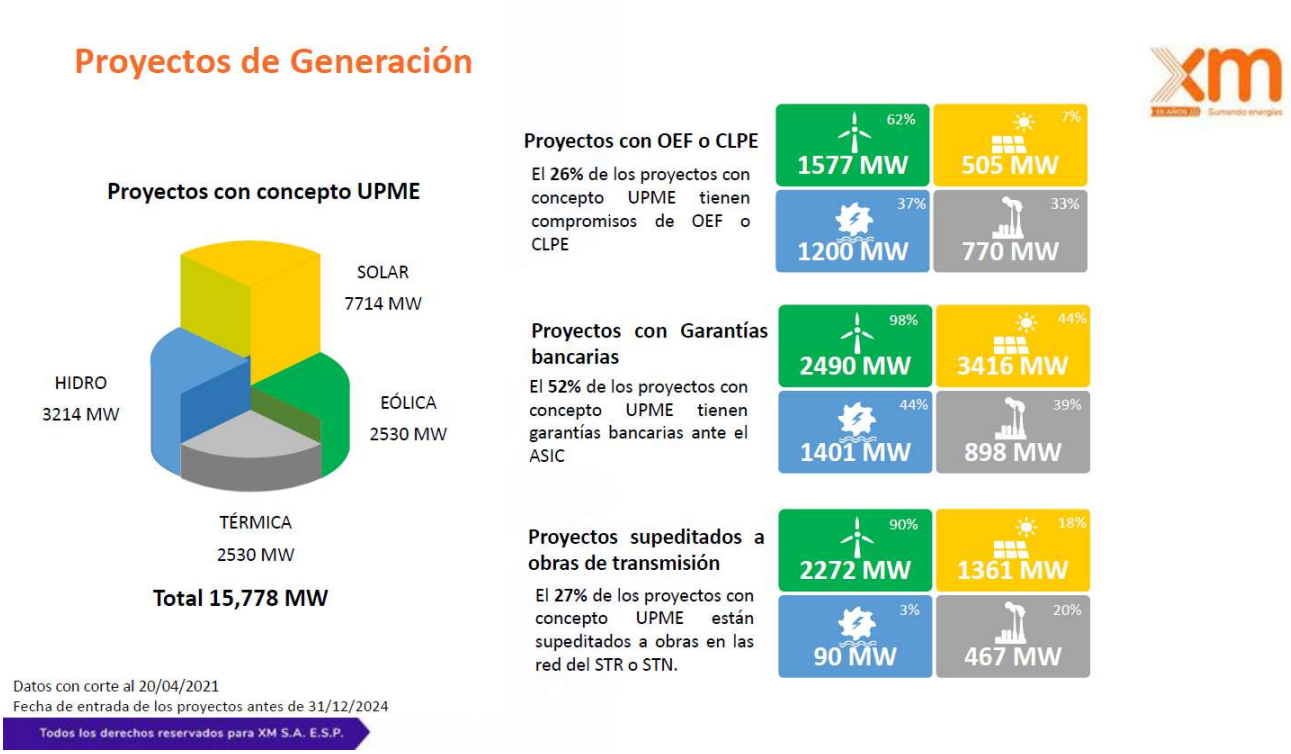
5. Menor espacio requerido relativo

Adicionalmente, el uso de energía solar se tiene un menor impacto social en la comunidad, ya que tanto la contaminación visual como auditiva se reduce con respecto a un sistema de energía eólica y el impacto ambiental frente a una turbina es menor, ya que ésta interrumpe ecosistemas acuáticos y afecta la flora y fauna natural.
Otra desventaja que presenta un sistema de turbinas es que éste es fijo en su capacidad ya que este tipo de sistemas no permite expansiones futuras de forma sencilla (por ejemplo, añadiendo más paneles al sistema).

2 MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

Colombia tiene un esquema regulatorio establecido para asegurar el suministro de energía confiable a largo plazo. Este esquema garantiza que los recursos de generación sean capaces de satisfacer la demanda durante la escasez de energía a precios eficientes.
El banco Mundial pronostica que la demanda de electricidad se duplicará para el año 2030, llegando a los 2.500 TWh al final de este período. Este crecimiento implica la necesidad de un incremento adicional de 239 GW en la región, aproximándose a 330 GW de capacidad instalada.

Hay una expectativa de generación con fuentes convencionales y no convencionales de 15.778 MW con 563 proyectos en diferentes etapas.



El sistema interconectado Nacional SIN conecta el 48% del territorio nacional y cubre el 97% de la población. Las zonas no interconectadas ZNI representan el 52% restante y producen energía con Diesel.

Colombia tiene un alto potencial por la disponibilidad de recursos energéticos renovables y alternativos, como el Sol, viento, biomasa energía de los océanos y geotermia.

La ley 1715 de 2014 promueve el desarrollo y uso de los recursos de energía no convencionales en el sistema de energía nacional.

El artículo 185 del Plan Nacional de Desarrollo – Ley 1955 de 2019 establece que los comercializadores de energía, tienen una obligación de comprar el 10 % de su energía, a proyectos que utilicen Fuentes de Energía No Convencionales.

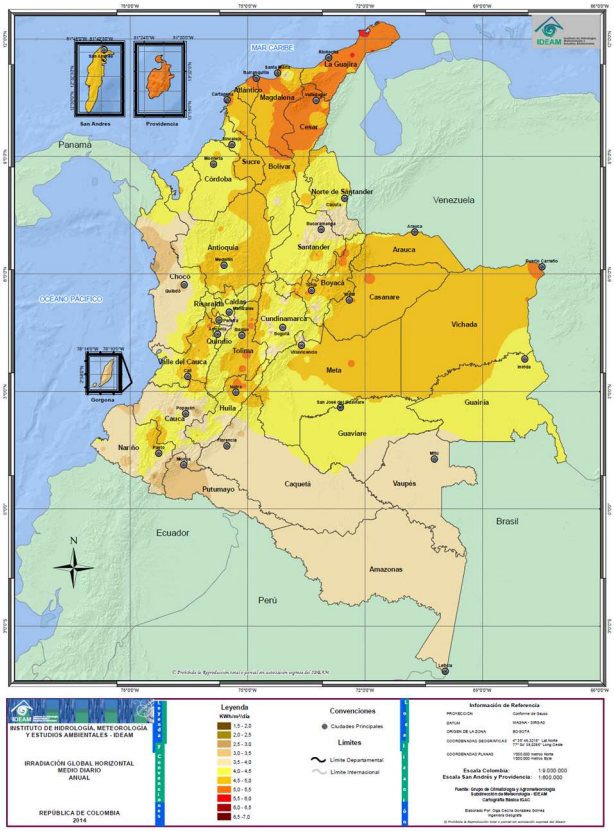


Fig. 2-1 Atlas solar tomado de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionSolar13.pdf

En el estudio “La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia (2018) y su situación actual” se afirma que Colombia cuenta con una irradiación que supera el promedio mundial, lo que favorece positivamente el potencial del país en energía solar fotovoltaica. Esta irradiación presenta mayor concentración en las regiones de la costa atlántica y pacífica, la Orinoquía y la región central. El promedio es de 4.5 kWh/m2/d3, que supera el promedio mundial de 3.9 kWh/m2/d, estando por encima de Alemania (3.0 kWh/m2/d), país que hace mayor uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial.

Figura 2-1 Razones adicionales para la implementación de sistemas PV

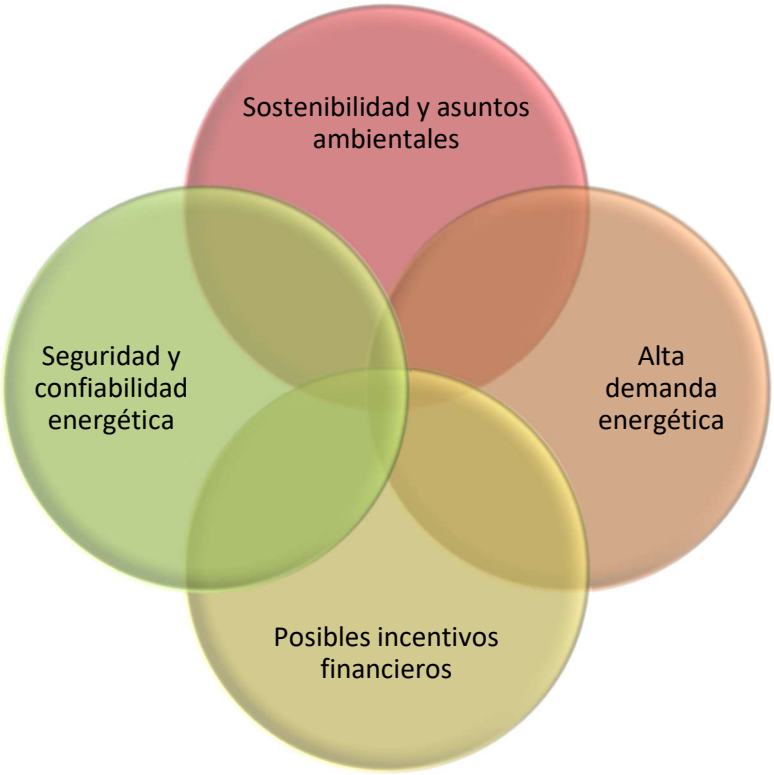


Figura 2-2 Agregado SIN – Colombia



Figura 2-3 Participación por tecnología en la matriz eléctrica

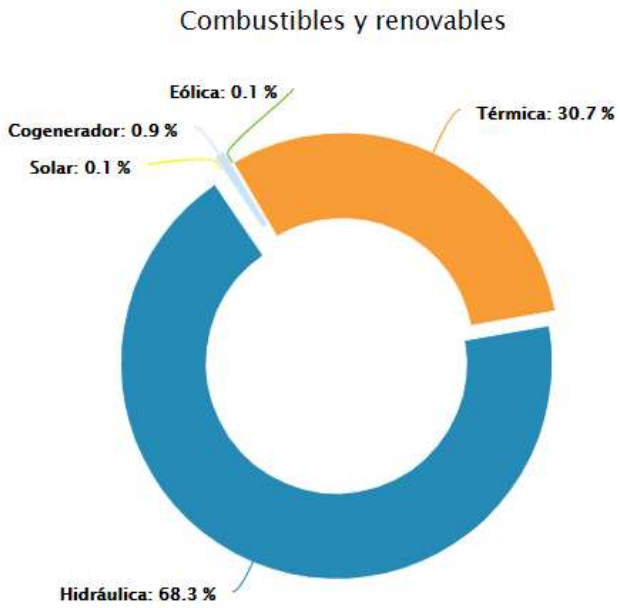


Figura 2-4 Matriz Energética Colombiana. Fuente: UPME

Como se ven la Figura 2-4Figura 2-3, la matriz energética Colombiana está inclinada principalmente a las fuentes hidráulicas de generación, mientras que las generaciones con base en energía limpias y renovables, tiene una pequeña participación y mucho campo para el desarrollo en el país.

Las pequeñas plantas de generación hidráulica juegan un papel importante en alimentar pequeñas poblaciones rurales donde el sistema de transmisión nacional no está disponible. Estas pequeñas centrales hidroeléctricas pueden ir desde 5 kW hasta 500 kW, dependiendo de ciertas condiciones específicas. Sin embargo, estas condiciones no se cumplen en todos los sitios colombianos. Es aquí donde la generación fotovoltaica llama la atención para brindar una solución factible a los problemas de generación en poblaciones rurales de difícil acceso a la energía hidráulica. Debido a la naturaleza intermitente de dichos sistemas, se hace necesario contar adicionalmente con un sistema de almacenamiento.

Adicionalmente en la siguiente figura se muestra la relación entre un típico perfil horario de demanda y la generación típica tanto solar como eólica durante 24 horas.

Gráfica 2. Perfil Promedio Horario

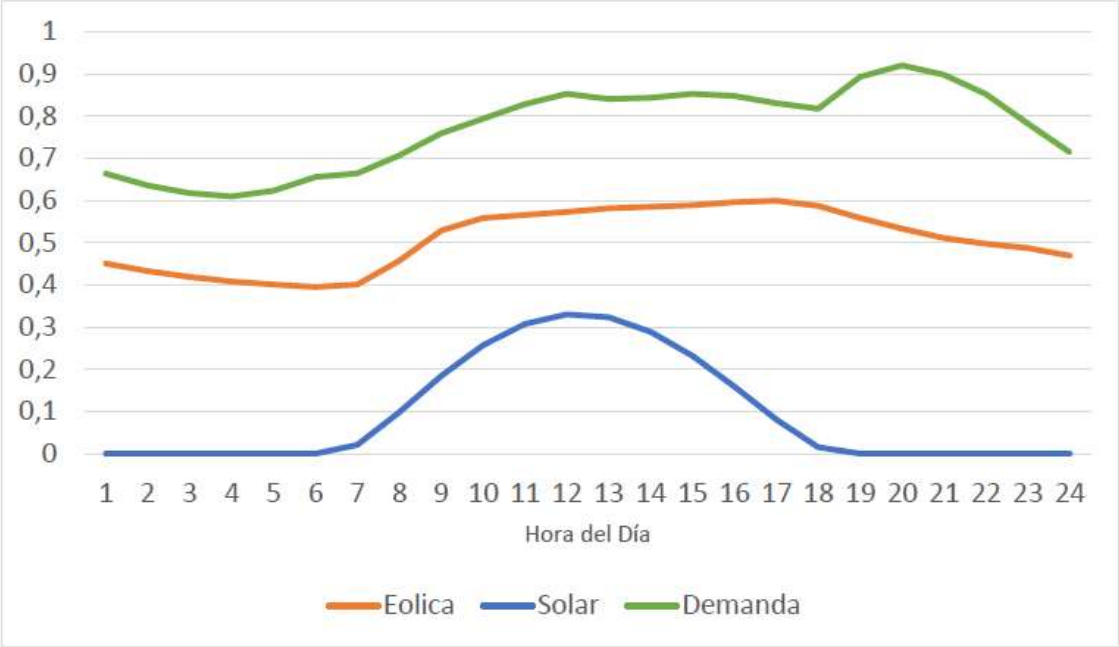


Figura 2-5 Perfiles de Demanda y Generación. Fuente: UPME

3 CRITERIOS DE DISEÑO

En esta memoria se describen los criterios fundamentales, seguidos para el diseño de las instalaciones eléctricas y la iluminación tanto interior de la caseta de control como la iluminación del patio exterior, donde se siguen los lineamientos trazados en la NTC 2050 (Norma Técnica Colombiana), el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctrica) y la norma ANSI IESNA RP-7-01 2001 “Recommended Practice for Lighting Industrial Facilities”
Las instalaciones eléctricas e iluminación de la caseta, así como el respectivo diagrama unifilar y cuadro de cargas, se presentan en este documento. Adicionalmente se presenta la solución de generación propuesta para la alimentación de estas cargas.

4 NORMAS Y ESTANDARES DE REFERENCIA

- RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Ministerio de Minas y
- Energía, Resolución 90795 de 25 Julio 2014.
- NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano, 1998.
- NFPA 70. National Electrical Code (NEC), 2014 Edition.
- RETILAP Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Ministerio
- de Minas y Energía. Resolución 90980 de noviembre 15 de 2013 (última
- actualización Resolución 40122 de febrero 8 de 2016).

- The IESNA Lighting Handbook: reference & application. 10th Edition.
- Illuminating Engineering Society of North America. July, 2011.
- National Electrical Safety Code C2-2007.

5 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el desarrollo del diseño y de los cálculos de las instalaciones eléctricas de la caseta de relés, se consideraron los siguientes parámetros generales:

a. Tensión de servicio fase-neutro: 120 VCA para todos los circuitos de iluminación y tomacorrientes.
b. Tensión de servicio fase-fase: 208 VCA
c. Frecuencia: 60 Hz.
d. Factor de potencia: 0.90.
e. El código de colores para el cableado es el recomendado por el RETIE, es decir:
   Fases: Amarillo (A), Azul (B) y Rojo (C).
   Neutro: Blanco
   Tierra: Verde o desnudo.
f. Para los circuitos de alumbrado se tuvo en cuenta un factor de demanda igual a 1, ya que se considera posible que todas las luminarias estén en funcionamiento simultáneamente.
g. Para el cálculo de los conductores de los circuitos ramales, se consideró un factor de incremento del 25% del valor de la corriente nominal. Así mismo, se tuvo en cuenta que el amperaje de los interruptores no supere los máximos valores estipulados en las tablas 310.15.B.2.a, 310.16 de la NFPA 70-2014, que garantizan la adecuada protección de los conductores asociados a ellos.
h. Para el cálculo de los conductores e interruptor de la acometida, se consideró un factor de reserva del 10 % del valor de la potencia total.
i. Todos los conductores serán de cobre, aislamiento LSHF a 90 ºC, calibre 12 AWG, a menos que se especifique otro calibre.

6 SISTEMA SOLAR PROPUESTO

Se requieren dos puntos eléctricos en el sistema, de acuerdo a la figura a continuación y la siguiente descripción:

1. Punto de bombeo sobre el rio Zulia
    a. Punto de la barcaza
2. Punto de la PTAP

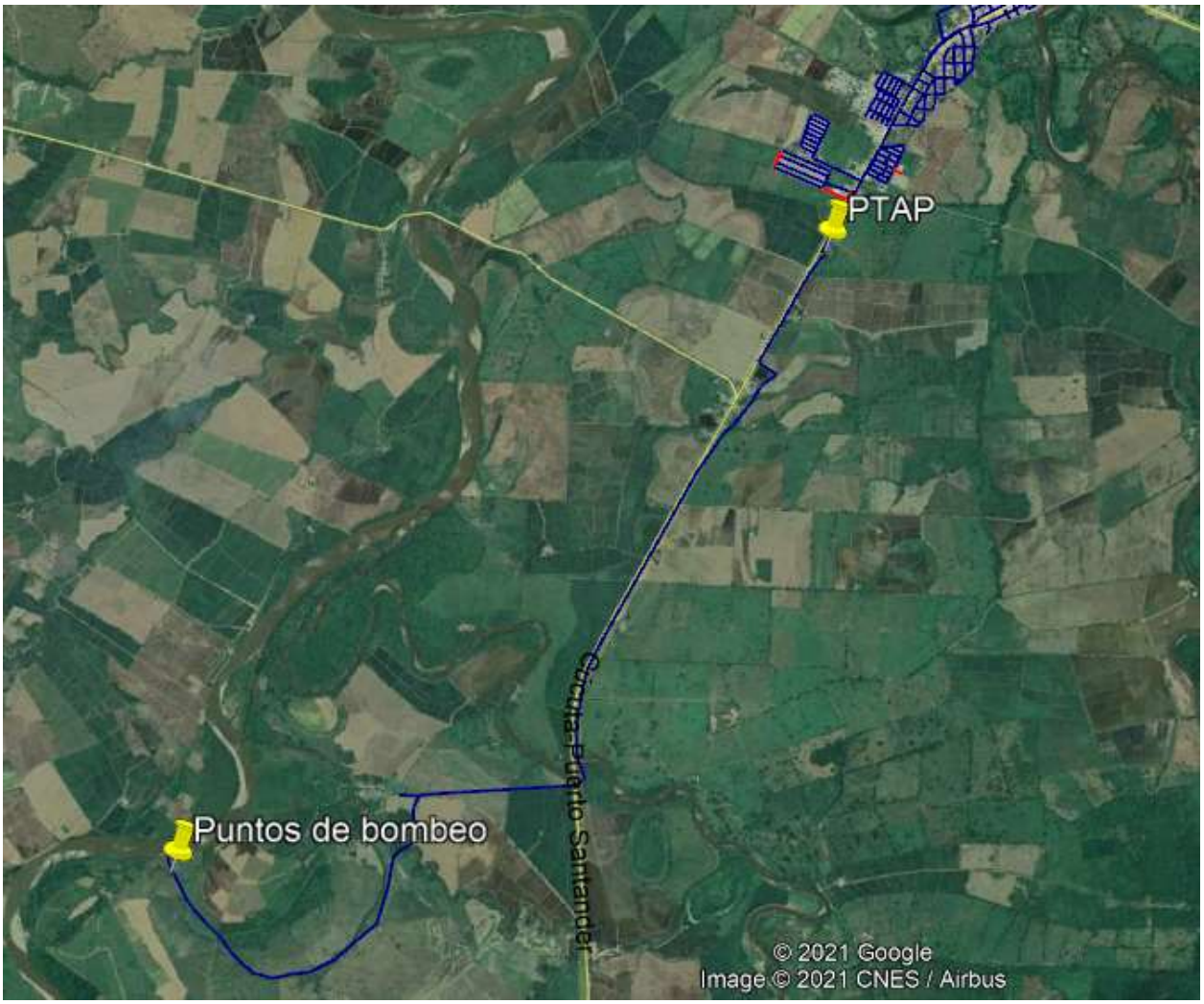


Fig. 6-1 Ubicación de la solución

En este punto se realizarán la construcción de dos puntos de bombeo
La primera línea de bombas:

Se instalarán 4 bombas de 4,5 HP de las cuales solo funcionarán 2 bombas a la vez con un funcionamiento continuo durante todo el día.

Segunda línea de bomba

Se instalarán 2 bombas de 50 HP de las cuales solo funcionarán 1 bomba a la vez con un funcionamiento continuo durante todo el día.

Localización de bombas en predios de la barcaza

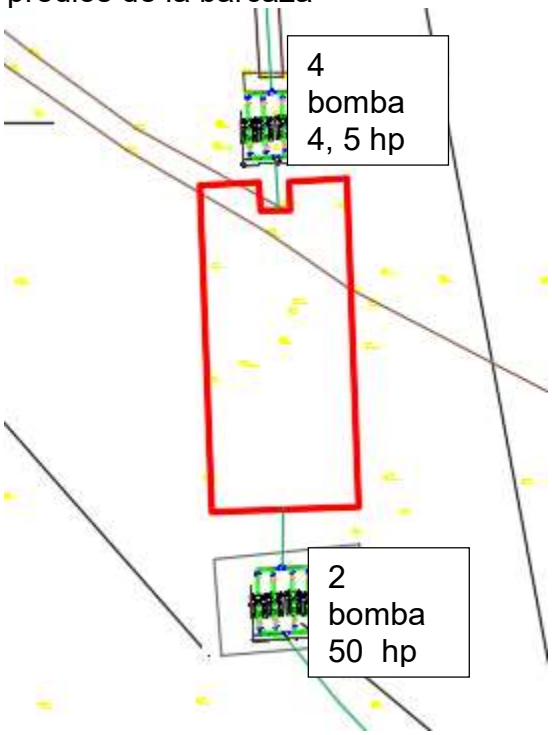


Fig. 6-2 Bombeo en la Barcaza

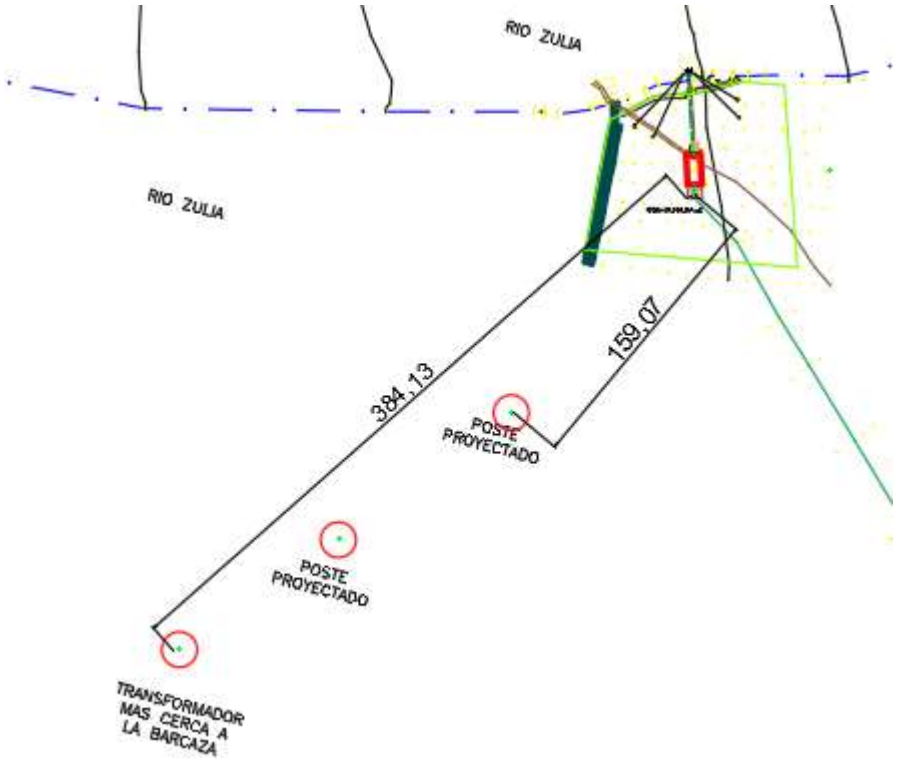


Fig. 6-3 Distancia a la red eléctrica domestica

Fuente eléctrica PTAP
La PTAP requiere iluminación y actualmente cuenta con un cuarto de bombas.
Actualmente cuenta con un cuarto de bombas, en donde estarán instaladas 3 bombas, de las cuales funcionan dos a la vez, con una potencia de 22hp.

Cuarto de bombas
3 bombas
22 hp

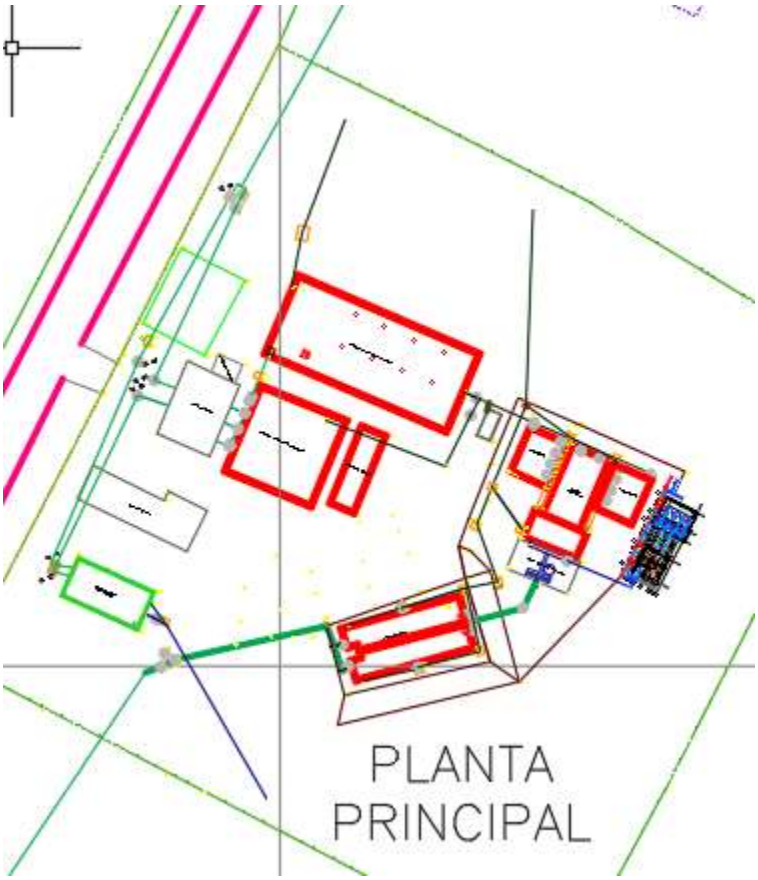


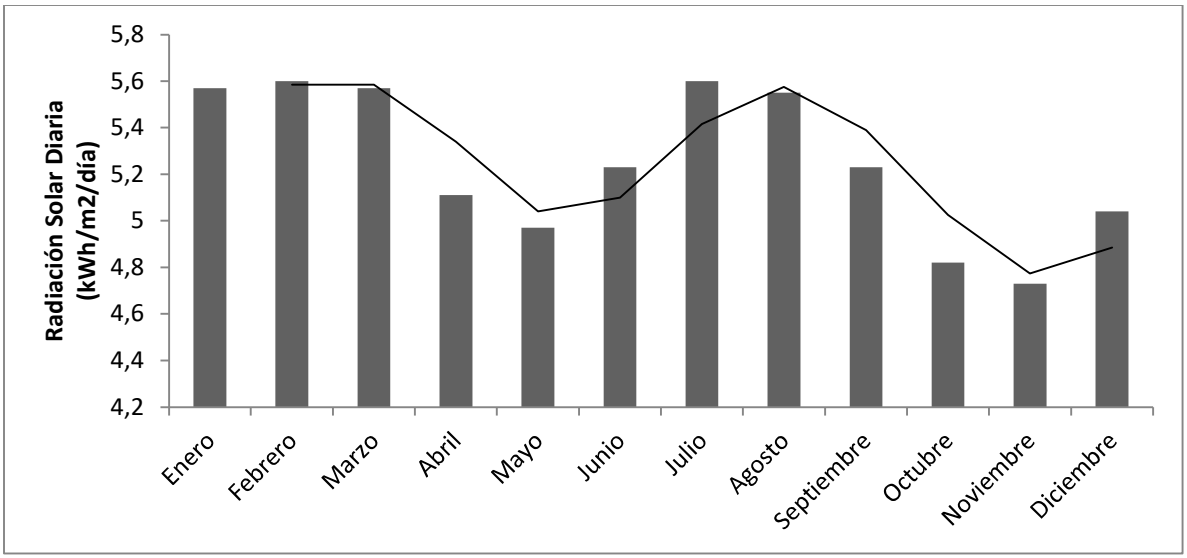
Fig. 6-4 Distribución en PTAP



Fig. 6-5 Imagen del transformador que alimenta el cuarto de bombas

7 UBICACIÓN GENERAL – Proyecto Puerto Santander

Figura 7-1 Radiación promedio mensual incidente sobre una superficie horizontal e índice de claridad



De acuerdo con los datos presentados en la Figura 7-1, el área recibe un promedio anual de irradiación solar diaria de aproximadamente 5.25 kWh / m^2 / día. De la figura, puede verse que no hay un cambio significativo en los promedios mensuales durante un año.

A continuación, se muestra un aproximado de radiación y generación de energía en el sitio durante el año.

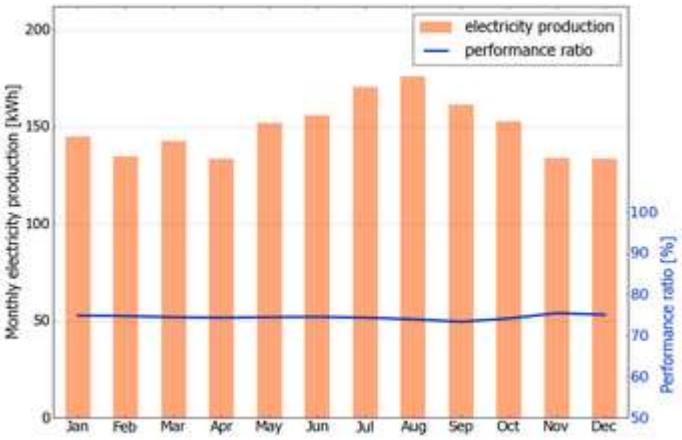


Figura 7-2 Producción de energía estimada con 1 kWp instalado en sitio. Fuente. Solargis ®

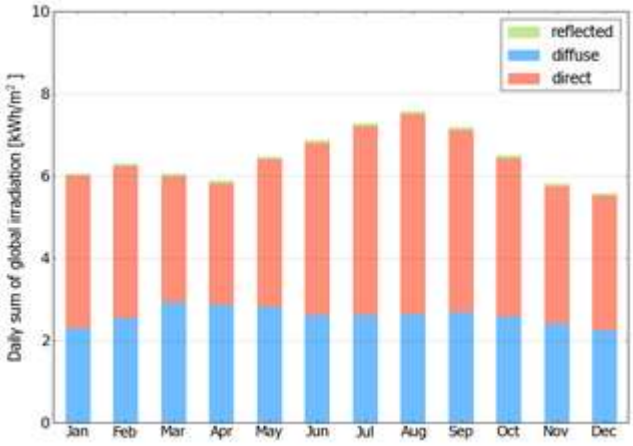


Figura 7-3 Irradiación global diaria. Fuente: Solargis®

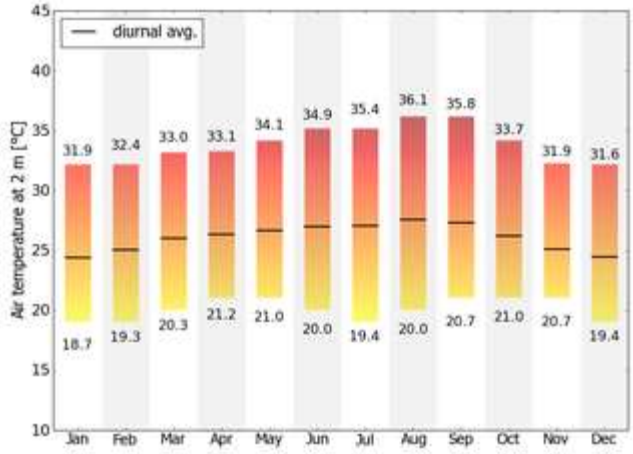


Figura 7-4 Temperatura del Aire durante el año Fuente Solargis ®

Adicionalmente, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los datos de Temperatura de aire, Humedad Relativa, Precipitación, Radiación, Presión, Velocidad del Aire, Temperatura de la tierra para el sitio mencionado.

8 CONCEPTOS BÁSICOS DE GENERACIÓN SOLAR

8.1 Conceptos básicos de Generación Fotovoltaica

La tecnología de conversión de luz solar en electricidad es conocida como energía solar fotovoltaica. Los principales factores que pueden afectar la potencia de salida de la energía fotovoltaica son la eficiencia de las celdas solares y la irradiación y temperatura de las celdas solares. La eficiencia de una celda solar varía con la radiación solar, y puede ser calculada de la siguiente forma:

$$Eff = \frac{\eta_c}{R_c} \times G_{bi} \qquad 0 \leq G_{bi} < R_c$$

$$Eff = \eta_c \qquad R_c \leq G_{bi}$$

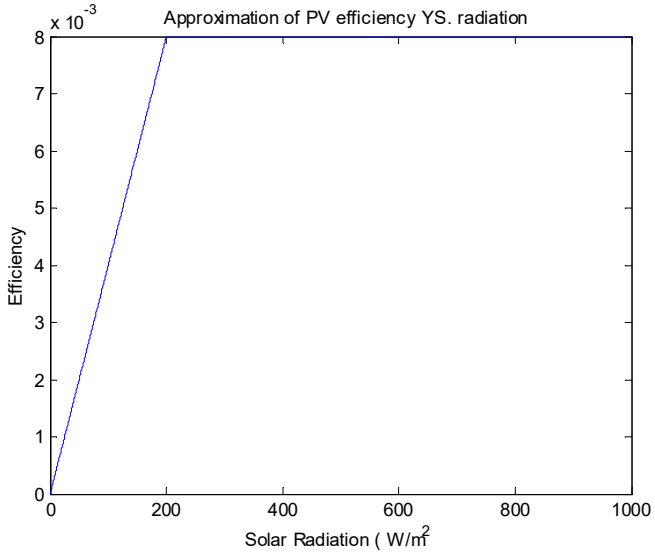


Fig. 8-1 Eficiencia de una celda PV

El modelo de potencia de salida de una celda solar puede estimarse multiplicando la irradiación solar por la eficiencia. La Fig. 8-2 muestra el modelo de potencia de salida de una celda PV.

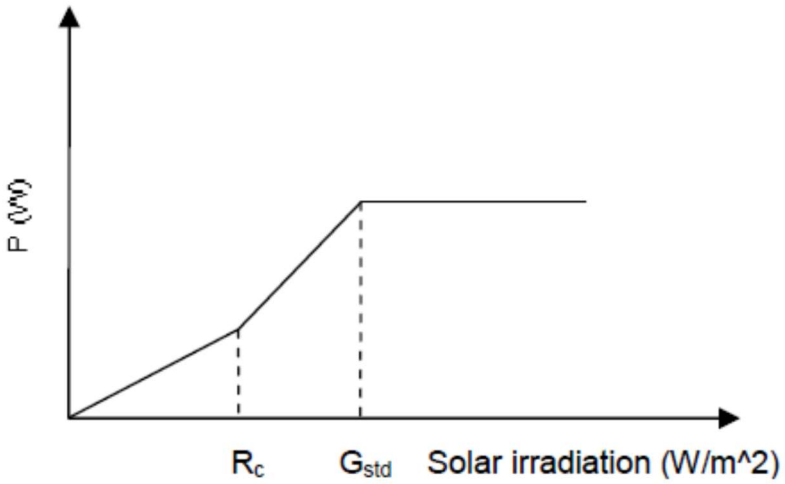


Fig. 8-2 Modelo de Potencia de Salida

Las ecuaciones que describen el modelo se muestran a continuación.

$$P = \begin{cases} P_{sn} \times \frac{G_{bi}^2}{G_{std} \times R_c} & 0 \leq G_{bi} < R_c \\ P_{sn} \times \frac{G_{bi}}{G_{std}} & R_c \leq G_{bi} < G_{std} \\ P_{sn} & G_{bi} > G_{std} \end{cases}$$

Donde:
P: Potencia de salida [W] de celda PV
G_{bi}: Radiación solar horaria [W/m^2]
G_{std}: Irradiación solar en ambiente normal, se toma como 1000 W/m^2
R_c: Cierto punto de radiación se toma como 150 W/m^2
P_{sn}: Capacidad nominal equivalente de celda PV [W]

9 SISTEMA SOLAR PROPUESTO

Como regla general se resumen a continuación los componentes principales que deben ser parte del sistema:

- Módulos fotovoltaicos, los cuales convierten la radiación solar en corriente continua.
- Seguidor a un eje, encargado de soportar y orientar los módulos fotovoltaicos para minimizar el ángulo de incidencia entre la radiación solar incidente y el módulo fotovoltaico a lo largo del día.
- Inversores, en el cual se alojan los equipos encargados de transformar de corriente directa (DC) a corriente alterna (AC).

- Transformadores de potencia de media tensión que elevan el nivel de tensión de baja luego de los inversores a media tensión, para llegar a la subestación elevadora.
- Subestación elevadora, que corresponde a los equipos necesarios, como transformadores, barrajes, equipos de corte, auxiliares, etc., que elevan el voltaje desde media tensión hasta alta tensión, en este caso hasta 115 kV.

A continuación, se describe el sistema de suministro de energía eléctrica por medio de energía solar, para ser utilizado como fuente para alimentación de los servicios auxiliares y sistema de bombeo. El sistema deberá tener la capacidad suficiente para atender la carga demandada por los servicios auxiliares en forma permanente durante las horas necesarias durante el día y el sistema de bombeo, y se plantea como respaldo el sistema por medio de línea de transmisión eléctrica de forma convencional.

El sistema estará formado por un subsistema de generación de energía eléctrica, un subsistema de almacenamiento de energía, un subsistema de acondicionamiento, un subsistema de conversión de corriente directa a corriente alterna y un tablero de distribución.

El lugar de las celdas solares estará protegido contra robos e inclemencias meteorológicas, así como suficientemente ventilación.
El subsistema de generación eléctrica está formado por un generador fotovoltaico de 33000 Wp (vatios pico), y su tensión de trabajo será de 24 VDC.
El subsistema de almacenamiento lo formará un conjunto de baterías de 24 V y de 1 000 Ah de capacidad.
El sistema de distribución tendrá su sistema de regulación y de inversión de tensión con frecuencia de 60 Hz y debe ser capaz de soportar la capacidad del sistema, así como el alumbrado interior y exterior.



Figura 9-1 Prediseño de distribución para la planta solar

Un regulador de carga se encargará de evitar sobrecargas o descargas profundas de las baterías, así como de proporcionar información sobre el estado de carga de estas.
La corriente eléctrica generada es corriente continua, sin embargo, las cargas funcionan con corriente alterna. De la transformación de la corriente continua en alterna se encargará un inversor.
La conexión entre las zonas de generación eléctrica, acumulación y consumo seguirá el esquema general que se presenta en el esquema general de la instalación eléctrica. A continuación, se muestran entonces el propuesto del "Armario de conexión" así como un esquema de la conexión.

Los interruptores marcados permiten la conexión y desconexión de los inversores.
Pueden estar integrados dentro de los inversores o colocarse en las líneas. El interruptor marcado permite conmutar las cargas, en caso de que este inversor quede fuera de servicio.

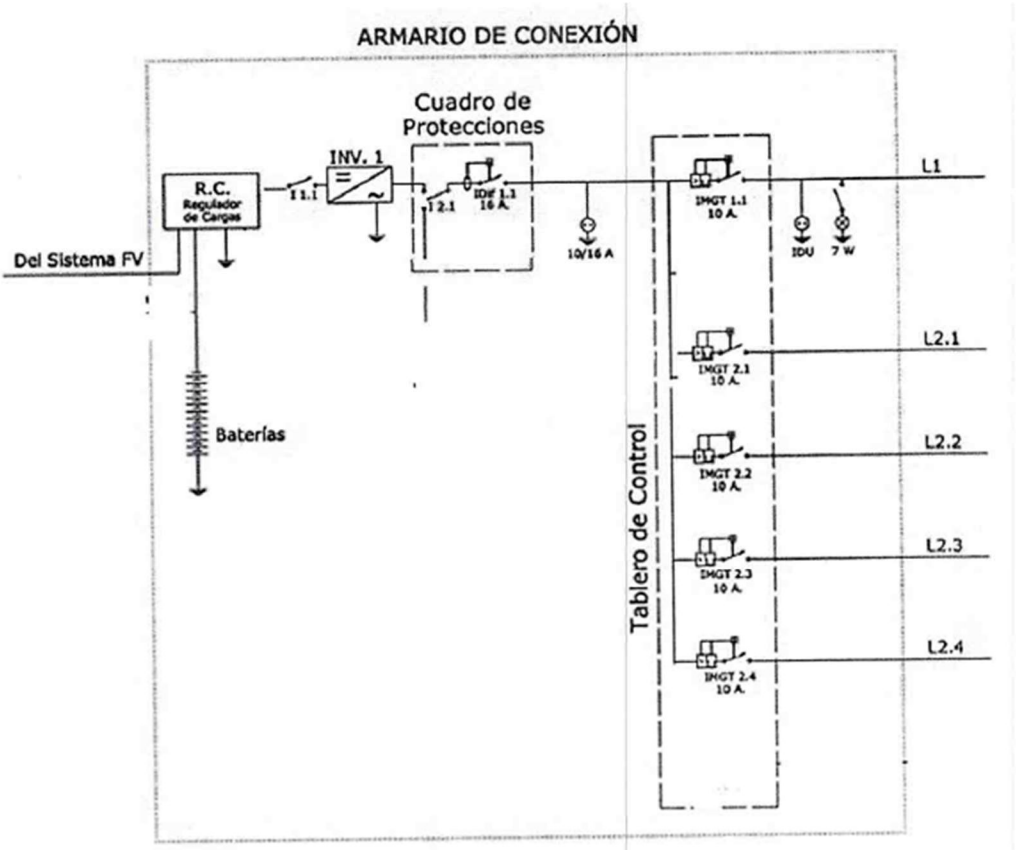


Fig. 9-1 Ilustración del tablero de conexión

El sistema propuesto tiene en cuenta la ubicación donde se realizará el proyecto según la siguiente figura que muestra los parámetros solares necesarios para el diseño:

9.1 Características Mecánicas del módulo solar

El módulo irá laminado en estructura tipo sándwich, estando formada la capa frontal por vidrio templado de alto coeficiente de transmisión y no menos de 3 mm de grosor, la capa posterior por Tedlar (fluoruro de polivinilo) y el relleno a base de sendas láminas de EVA (acetato de vinilo-etileno) transparente, asegurando así su durabilidad en exposición a intemperie.
Cada módulo tendrá una caja de conexión impermeable y resistente a la radiación ultravioleta, los microbios y la temperatura, situada en la parte trasera del mismo, con una protección IP65 y contará con diodos de bypass. De la misma saldrán dos cables claramente marcados con + (positive) y - (negative), de 4 mm2 de diámetro, resistentes a la abrasión y el desgaste, e irán rematados por conectores, también claramente marcados con + (positive) y - (negative) y de tipo encapsulante, preservando las uniones de la intemperie a la vez que asegurando la conexión.
El marco estructural de cada uno de los modules fotovoltaicos será de aluminio anodizado a prueba de torsión.
Estructuralmente los módulos deben ser lo suficientemente robustos como para resistir cargas e impactos de granizo sin ocasionar defectos visuales, según IEC. 61215.
Los paneles deben cumplir con la normativa IEC 61215 y de seguridad Clase II.
El inversor cumplirá con todas las exigencias concernientes a corriente alterna y continua residual RCD, de acuerdo con la norma europea DIN VDE 0126 de modo que se desconecte el módulo solar en caso de mal funcionamiento.



9.2 Tierra

Una buena disposición de tierra debe proporcionar una trayectoria bien definida, de baja resistencia del sistema fotovoltaico a tierra. Este conductor de tierra debe ser tan grande como el conductor más grande del sistema. En los sistemas fotovoltaicos son necesarios dos tipos de tierra; La tierra del sistema y la tierra del equipo. Para la tierra del sistema, uno de

los conductores de corriente, normalmente el negativo, se conecta a tierra en un solo punto. Esto establece la máxima tensión con respecto a tierra y también sirve para descargar corrientes de sobretensión inducidas por rayos. Cualquier equipo metálico expuesto (como los caparazones y marcos de equipos) que pueda tener contacto físicamente también debe estar conectado a tierra. Esto limitará el riesgo de una descarga eléctrica si se produce un fallo a tierra. La varilla de tierra requiere un buen contacto con el suelo que está incrustado para asegurar una resistencia baja

9.3 Protección de rayos

Los sistemas fotovoltaicos no aumentan el riesgo de que una edificación sea golpeada por un rayo, sin embargo, debido a la gran superficie o elevación con respecto al terreno circundante que necesitan los sistemas fotovoltaicos (y los sistemas de cableado), estos pueden estar expuestos a riesgo de rayos durante las tormentas eléctricas, que son más prevalentes en las regiones de la costa pacífica y Amazonía en Colombia. Poco se puede hacer para proteger el equipo fotovoltaico contra rayos directos. Sobrecargas causadas por rayos ocurren con mayor frecuencia y la gravedad de posibles daños al arreglo de paneles depende de la distancia desde donde se produjo la descarga. Los rayos pueden dañar los módulos fotovoltaicos e Inversores y por lo tanto necesitan alguna forma de protección.
El sistema fotovoltaico no debería, sin embargo, interferir con las medidas existentes de protección contra rayos en las instalaciones. Esto significa mantener una distancia de separación suficiente entre la estructura fotovoltaica y el sistema de protección contra rayos para evitar chispas incontroladas o flameo. En muchas situaciones, los paneles fotovoltaicos cubren toda la estructura de un techo determinado. En estas situaciones, el marco de los paneles debe estar integrado en la protección contra rayos externos. Existe dispositivos con disponibilidad comercial de protección (motores de óxido de silicio y varistores). Estos normalmente se instalan en la salida / entrada DC del arreglo al inversor y en la Salida AC
Desde el inversor. Una instalación de los conductores del sistema fotovoltaico en conduit metálico disminuirá la susceptibilidad a rayos

9.4 Inversor

Desde el inversor se controlará la tensión y frecuencia de salida.
Debe estar preparado para ser montado en pared y debe ir instalado en una de las paredes del "Armario de conexión".
Las carcasas de ambos inversores deberán conectarse a tierra.
Deben cumplir con los niveles de emisión e inmunidad frente a armónicos y compatibilidad electromagnética, según las normas IEC 61000-6-1 e IEC 61000-6-3, o equivalentes.
Deben ser inversores de onda sinodal pura.

Las características técnicas requeridas del inversor son:

- Indicación del estado de operación mediante LED (encendido/en Espera/apagado/error)
- Alta potencia de irrupción para el arranque de cargas criticas
- Eficiencia máxima no menor del 90%
- 100% protegido contra cortocircuitos
- Modos de operación encendido I en espera I apagado
- Grado de protección IP20ñ2
- Protección frente a sobrecargas
- Protección frente a inversión de polaridad
- Protección frente a sobre temperatura
- Aviso sonoro en caso de sobrecarga
- Tensión nominal de entrada 24 V
- Rango de tensión de entrada 21-32 V
- Potencia nominal a 25° C 1000W
- Consume máximo standby o espera 0,4/10 W
- Coseno phi admisible 0,1 - 1
- Eficiencia máxima Al menos 92%
- Corriente nominal de entrada Al menos 40 A
- Mínimo rango de temperatura -20° C hasta + 50° C
- Humedad relativa Al menos 95 % (sin condensación)

9.5 Cajas de String

Un “string”, es un conjunto de paneles conectados en serie. Cada inversor recibe varios strings en paralelo. Las cajas de string son los equipos que permiten conectar en paralelo y protegen los strings en el campo fotovoltaico. Para que coincida con el número de entradas de los inversores, varios strings en paralelo se concentrarán en un solo circuito de salida. Las cajas de string se instalarán con un fusible por string para proteger cada serie.
Además, se instalarán descargadores de sobretensión de DC, y un interruptor de DC estará situado en la línea de salida. El sistema de comunicaciones propuesto monitoreara la corriente y el voltaje del string.

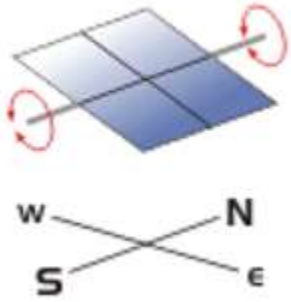


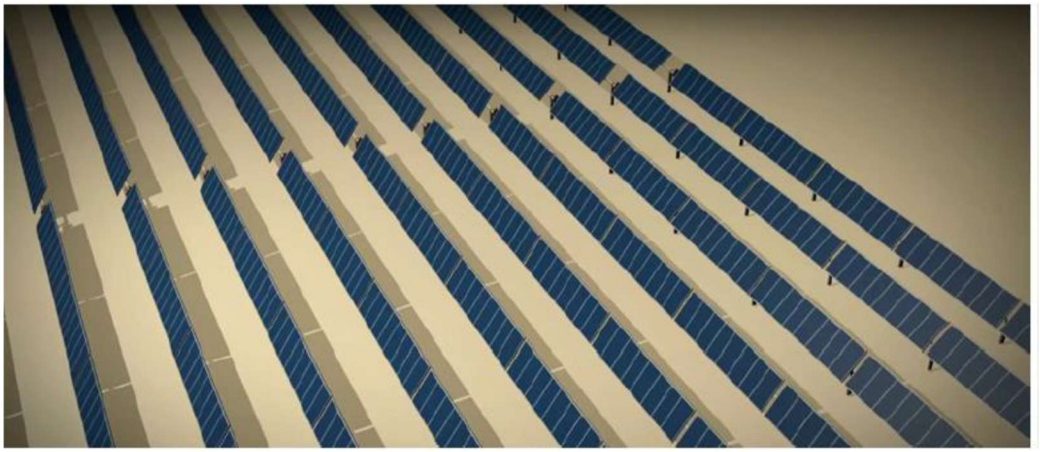
Las cajas de string se montarán fuera de la luz solar directa en un lugar accesible para facilitar los trabajos de mantenimiento. Se colocarán detrás de los módulos fotovoltaicos y, si es posible, utilizando una estructura existente, para que permanezcan en la sombra y para prevenir del agua de lluvia directa. Las principales características de la caja string son las siguientes:

- Max. Voltaje DC admisible: 1,500 V.
- Número de strings de entrada: 21.
- Fusibles (uno por string): 15 A.
- Interruptor-seccionador en carga 250 A.
- Descargador de sobretensiones
- Sección del conductor DC conectada: 300 and 240mm2.

9.6 Seguidor a un eje N-S

Los módulos fotovoltaicos se montarán en el seguidor a un eje Norte-Sur, integrados en estructuras metálicas que combinan acero galvanizado y piezas de aluminio, formando una estructura fijada al suelo.





Los seguidores a un eje N-S están diseñados para minimizar el ángulo de incidencia entre la radiación solar y el plano fotovoltaico. El sistema de seguimiento consiste en el seguimiento del ángulo solar de este a oeste.

9.7 Baterías

Un sistema híbrido fuera de la red requiere almacenamiento para almacenar el exceso de energía de las fuentes renovables para su posterior utilización cuando no se produce energía suficiente por las fuentes renovables. Las baterías son el medio de almacenamiento más común utilizado en aplicaciones renovables. Varios tipos de baterías están disponibles, tales como las baterías de plomo-ácido, níquel cadmio, litio, bromuro de zinc, cloruro de zinc, azufre de sodio, hidrógeno de níquel y baterías de flujo redox de vanadio.

Entre éstas, las baterías de plomo-ácido son ampliamente utilizadas en sistemas fuera de la red debido a su bajo costo, alto voltaje por célula y buena vida útil. La duración de la batería se ve afectada principalmente por la profundidad de descarga y la temperatura de funcionamiento. Profundidad de descarga es el nivel al que las baterías se descargan en un ciclo antes de que se carguen de nuevo. La sobrecarga de la batería resulta en la electrólisis del agua y el sobrecalentamiento, mientras que la descarga profunda acelera la degradación de la batería. Por lo tanto, el estado de carga de la batería (SOC) debe mantenerse dentro de los límites de seguridad para maximizar la duración de la batería.
La capacidad de la batería es la cantidad de energía que se puede retirar desde un estado de inicio hasta un estado completamente cargado. Depende de la velocidad a la que se retire la energía de la batería. Cuanto mayor sea la corriente de descarga, menor será la capacidad. Cuando las baterías se dejan sin carga, las baterías pierden la carga lentamente por autodescarga. Esto ocurre debido a las reacciones dentro de las células de una batería. La velocidad de autodescarga depende de la temperatura, el tipo de batería y su edad. A medida que las baterías envejecen, aumenta la tasa de autodescarga. Las baterías requieren

mantenimiento regular para mantener el funcionamiento adecuado durante su vida útil. Los requisitos de mantenimiento de las baterías varían considerablemente dependiendo del diseño y la aplicación de la batería. En general, las baterías requieren mantenimiento, limpieza de cajas, cable y terminales, terminales de apriete, adición de agua destilada y comprobación de rendimiento.
Los controles de rendimiento incluyen grabaciones de gravedad específica, lecturas de conductancia, mediciones de temperatura, lectura de voltaje de celda y prueba de capacidad.

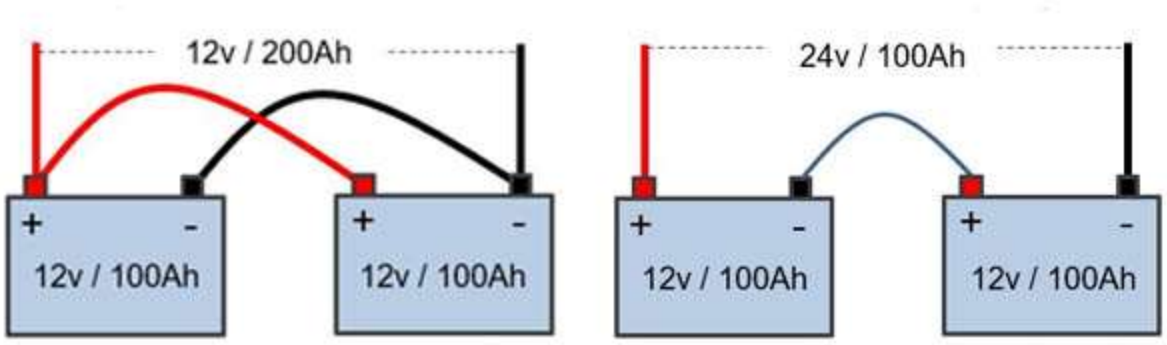


Figura 9-2 Ejemplo de distribución típica de baterías

Las baterías empleadas deben de ser de plomo-acido, libre de mantenimiento, de descarga profunda o del tipo "solar" con una profundidad repetida permisible de descarga diaria del 60%. Se deben utilizar baterías VRLA con tecnología de Gel. Las baterías deberán estar instaladas en la caseta del proyecto. Las baterías deberán de ser fabricadas conforme a las normas DIN 40736 o IEC 61427. El recipiente de las baterías debe ser resistente a impactos, según IEC 707 FVO.
Los terminales y conectores deberán evitar la corrosión y prevenir contra cortocircuitos, incluso durante la instalación.
Las baterías deben instalarse en el interior del "Armario de conexión", sobre una bancada con una altura mínima de 40cm.
La bancada sobre la que se situarán las baterías debe ser de madera tratada o plástico con una pintura epoxi para evitar la corrosión.
La disposición de las baterías debe tener una tensión de operación nominal de 24 V.
La disposición de las baterías puede componerse de unidades de 2V o 6V conectadas en serie. El diseño se realizó para una configuración de 24 V y 1000 Ah. La batería debe tener una capacidad de 1000 Ah, a un régimen de descarga C10 a 20° C, con una tensión final de 1,80 V par celda, según la norma DIN 43539.

10 CUADRO DE CARGAS

A continuación, se muestra el cuadro de cargas a utilizar en el proyecto.

- Instalación de 4 bombas con potencia de 4.5 HP. Dos de estas funcionando simultáneamente en un lapso de 24 horas al día.
- Dentro de la planta de bombeo, instalación de 3 bombas de 22HP, dos de ellas funcionando 24 horas al día
- Se necesita además la instalación de dos bombas de 50 HP para llegar al predio donde se encuentra la PTAP. Se estima también 24 horas al día de utilización para una de las bombas.

Tabla 10-1 Cuadro de Cargas

Descripción de la Carga	Nº de Cargas	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia AC	Ciclo diario	Ciclo semanal	Tensión nominal del sistema (V)	Consumo kWh-Mes	Consumo Amp-Hora
				(W)	(horas/día)	(días/semana)			(Ah/día)
CARGAS EN AC									
Bombas 22HP	2	6,78	220	**1.491**	24	7	120	**1.074**	**163**
Bomba 4,5HP	2	50,84	220	**11.186**	24	7	120	**8.054**	**1.220**
Bomba 50 HP	1	169,48	220	**37.285**	24	7	120	**26.845**	**4.067**
Luminarias Externas	8	4,67	120	**560**	12	7	120	**202**	**56**
Luminarias Internas Caseta Control	2	0,95	120	**114**	12	7	120	**41**	**11**

Tabla 10-2 Resumen de Cargas

Potencia DC Total (W)	Potencia AC Total (W)	Consumo kWh-Mes	Tensión Nominal del Sistema (V)	Intensidad pico (A)	Consumo Total Ah/día	Factor de rendimiento de cableado	Factor de rendimiento de la batería	Consumo Total corregido (Ah/día)
56965,3875	**50.635,90**	**5.517,79**	**120**	**232,72**	**5.517,79**	0,98	0,95	**5.926,73**

11 SOLUCIÓN SOLAR

Necesidad de Inversor (kW)	53
Capacidad de Inversor (kW)	55
Cantidad de Inversores	1
Voltaje de Baterías Voc	48
Días de autonomía	2
Profundidad de descarga de Baterías	0,6
Capacidad de Banco de Baterías(Ah)	84393
Capacidad Nominal de Batería (Ah)	1000
Cantidad de Baterías	85
Potencia Panel [W]	530
Horas Solar Pico (HSP)	5
Cantidad de Paneles	101
Necesidad de Regulación (A)	1319
Tamaño del Regulador (A)	100
Cantidad de Reguladores	13

A continuación, se muestra un diagrama ilustrativo de cómo se plantea la conexión y cuáles son los elementos que intervienen en el proceso.

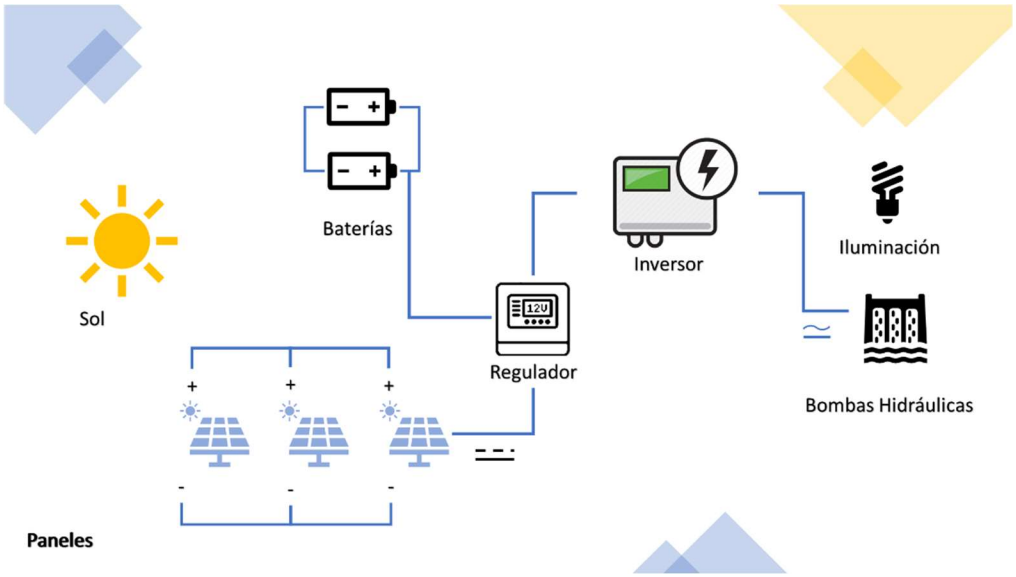


Figura 11-1 Esquema de la solución

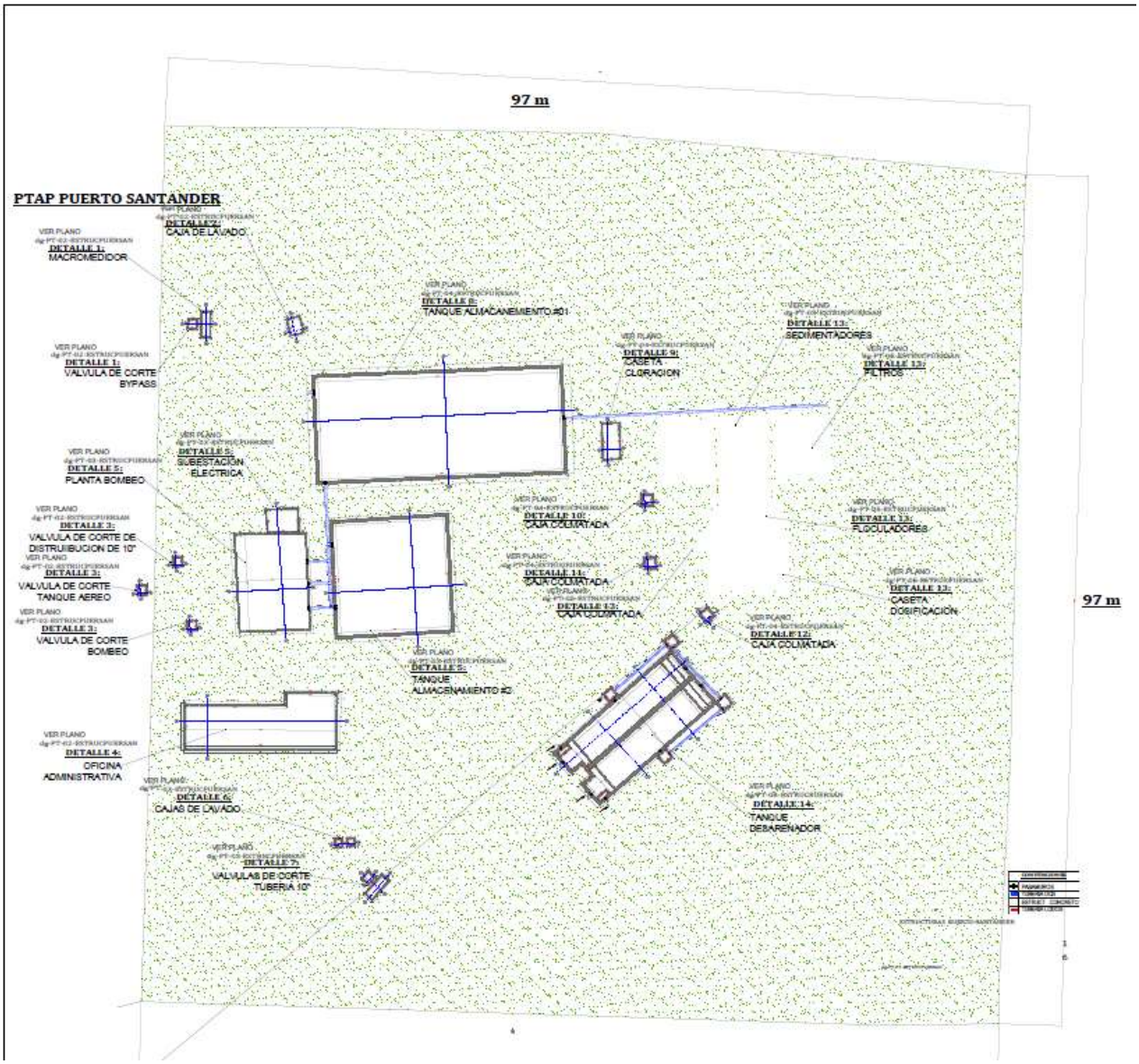


Figura 11-2 Área total disponible en PTAP

El área total del predio es de 97X97= 9.409 m^2

La siguiente tabla, ilustra la capacidad teórica que se pude instalar en esta área:

Ref	Nombre	Unidad	
F1	Superficie del terreno, excluida la zona no edificable	Ha	0,94
F2	Superficie del terreno, excluyendo las carreteras y los patines de los inversores	Ha	1
F3	Pitch	m	5,5
F4	Longitud del módulo Solar (m)	m	2,26
F5	Anchura del módulo (m)	m	1,13
F6	Área para Módulos	Ha	0,35
F7	Superficie de cada módulo	m2	2,56
F8	Número de módulos posibles		1.359
F9	Capacidad individual por módulo	Wp	530
F10	Capacidad total DC	Wp	720.227
F11	Capacidad Total DC	MWp	**0,7**

Teniendo en cuenta esto, y el cuadro de cargas anteriormente presentado. Se llega a un área necesaria de 662 m^2 para la solución.

A partir de lo anterior, y teniendo todos la información necesaria de diseño para la solución, se procede a detallar los elementos de la solución encontrada.

A partir de este cálculo y el diseño inicial presentado a continuación se presenta el sistema de generación solar concreto escogido con los componentes que se definen a continuación:

Ítem	Cantidad
Panel Solar 530W Longi Solar	101
Regulador Outback 100A 12/24/48VDC MPPT	13
Batería Mtek AGM 1000Ah 2VDC	85
Inversor Solis 48VDC/110VAC 55000W O. Pura	1
Soporte para 10 paneles	11
Base para baterías en madera tratada	9
Cables, conectores, terminales y protecciones	1
Sistema de puesta a tierra	1
Tablero central para la conexión	1

Donde las características de los componentes principales se resumen a continuación:

11.1 Celdas Longi LR5-72HPH

A continuación se presenta la información con respecto a los Paneles Solares.

Características Generales	
Dimensiones (L/W/H)	2256mm/1133mm/35mm
Peso	27.2 kg

Los paneles marca LONGI tienen las siguientes características de Desempeño Eléctrico:

Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)			
Tipo de Módulo			Longi LR5-72HPH
Potencia de Salida	P_{Max}	W	530
Tolerancia de Potencia de Salida	ΔP_{Max}	W	0/+5
Eficiencia del Modulo	η_m	%	20.7
Voltaje a P_{Max}	V_{mpp}	V	41.35
Corriente a P_{Max}	I_{mpp}	A	12.82
Voltaje de Circuito Abierto	V_{OC}	V	49.2
Corriente de Corto Circuito	I_{SC}	A	13.71

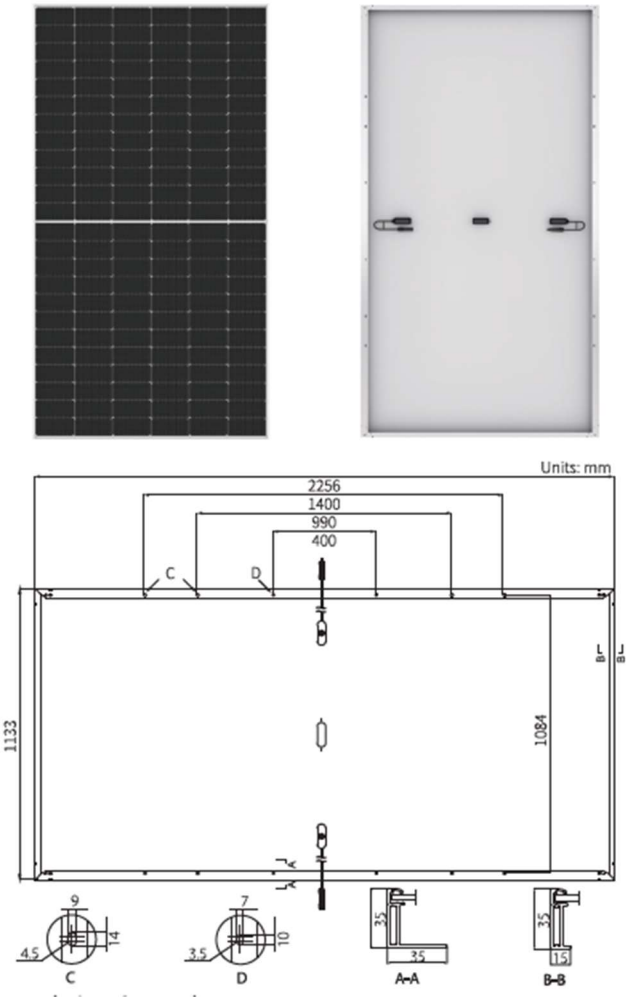


Figura 11-3 Dimensiones de Panel

11.2 Inversor Solis S5-GC50K

Especificaciones generales	
Voltaje de entrada Nominal DC Máximo	1000 VDC
Potencia Continua a 25 ° C (77 ° F)	55000 VA
AC Voltaje / frecuencia	120 VAC 60 Hz
Salida AC RMS continua a 25 ° C (77°F)	83.6 amps AC
Eficiencia típica	98.3%
+ Peso	64 lbs (29 kg)

Dimensiones (HXWXL)	12 x 8.25 x 16.25” (30 x 21 x 41 cm)
Certificaciones	ETL Listed a UL1741



Figura 11-4 Ilustración de Inversor

11.3 Regulador de Carga Outback FLEXmax 100

Especificaciones FlexMax	
Tensiones nominales de la batería	24, 36, 48, o 60 VDC
Corriente de salida máxima	100 amperios a 104 º F (40 º C) con límite de corriente ajustable
Arreglo FV máxima (placa de identificación STC)	3500 W / 5250 W / 7000 W (salida de carga limitada a 100A en voltaje de batería)

Voltaje máximo del sistema FV1	300 VCC
Consumo energético en Standby	2.5W
Eficiencia de conversión de energía	97% @ 100 Amperios en la Tensión del sistema - Típico 48 VDC
Regulación de carga	Tres etapas
Set Points de regulación de voltaje	Absorción, flotación, silencioso y ecualización
Carga de compensación	Tiempo de inicio programable, punto de ajuste y duración de voltaje, finalización automática al completar
Salida programable Auxiliar de Control	12 señal de salida VDC que puede ser programado para diferentes aplicaciones de control (con un máximo de 0,2 amperios de corriente continua)
Cableado de red	Sistema de la red de propiedad exclusiva mediante RJ 45 Conectores modulares con cable CAT 5e (8 hilos)
Registro de Datos	Últimos 128 días de la Operación - Amperios hora, vatios horas, tiempo en Float, Watts Pico, Amplificadores, Solar array Tensión, Max Battery Voltage Min Voltaje de la batería y absorber por cada día, junto con el total de horas acumuladas de amplificador, y kW Horas de producción
Rango de temperatura de funcionamiento	Mínimas de -40 ° a 60 ° C máxima (capacidad de alimentación del controlador se reduce automáticamente cuando se realicen por encima de 40 ° C)
Certificaciones	UL 1741, CSA C22.2 No. 107.1, IEC 62109-1
Peso (lb/kg)	Unidad: 18,3 / 8,3 Envío: 22 / 10
Dimensiones (alto x ancho x profundidad) (pulg./cm):	Unidad: 22 x 8,8 x 6 / 55,9 x 22,4 x 15,2 Envío: 25,5 x 12 x 10 / 64,8 x 30,5 x 25,4



Figura 11-5 Ilustración de Controlador

12 CABLEADO

El dimensionamiento de los conductores se realiza teniendo en cuenta las tablas de capacidad máxima de corriente de la NTC 2050 y la NFPA 70 de 2014. Los conductores serán de cobre, aislamiento LSHF a 90 ºC, calibre 12 AWG, a menos que se especifique otro calibre.

La ecuación que se muestra a continuación indica la forma de hallar la corriente máxima demandada en el tablero de distribución, esto con el fin de escoger el conductor de la acometida.

$$I = \left(\frac{P}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times FP}\right) * 1{,}25$$

Donde:
P, potencia total del circuito, 47.000W según cuadro de cargas
V_{LL}Voltaje entre fases del circuito 208 V

FP, Factor de potencia 0.9
1.25 factor de incremento del 25 % del valor de la corriente nominal, tal como especifica el capítulo 2 del NTC 2050.

Con la ecuación se obtiene un valor de corriente (I) igual a 180 A. Conforme a este valor de corriente, se escoge un calibre de conductor adecuado, el cual corresponde a un calibre 2/0 AWG de cobre con aislamiento LSHF, cuya capacidad de corriente es de 190 A a 90°C (incluido el factor de corrección por agrupamiento de 0,8 según la norma NFPA 70-2014). Para el conductor de neutro se escoge el calibre 2 AWG de cobre con aislamiento LSHF.



Figura 12-1 Ilustración de Cableado

13 RECOMENDACIONES ELÉCTRICAS

Todos los materiales eléctricos para suministrar (luminarias, tuberías, accesorios de instalación y montajes, tomas, interruptores, dispositivos de protección de sobrecorriente, tableros, conductores, etc.,) deberán tener certificado de conformidad de producto y certificado de cumplimiento RETIE.

13.1 Tubería

Toda la tubería embebida en paredes o pisos será Conduit PVC apta para tal uso, con los elementos de unión y pegantes adecuados; así mismo, todos los cambios de dirección se harán mediante el uso de curvas hechas en fábrica. En los lugares en los que la tubería esté a la vista, la tubería será Conduit EMT.

13.2 Conductores

Todos los conductores serán de cobre en aislamiento del tipo LSHF (Low Smoke Halogen Free) (90 °C), para 600 V, resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama.

13.3 Tableros de distribución

El tablero de distribución de tipo industrial será para sobreponer en los muros; las cajas de los tableros deben ser de lámina de acero calibre No. 18 y la puerta debe llevar cerradura sin llave. Sus barras principales de neutro y de tierra aislada serán en cobre de alta conductividad, que soporte la capacidad de corriente correspondiente.
El tablero debe poseer las siguientes características: Tablero Trifásico De 225 A, 10 kA, 208/120 Vac, 18 Circuitos, Con Espacio Para Totalizador.

13.4 Tomas e Interruptores Manuales

Los tomacorrientes monofásicos serán dobles, con polo a tierra, de 15 A, 120 VCA, para uso industrial. Su instalación será en la pared a una altura de montaje de 0,3 m sobre el nivel de piso acabado.

Los interruptores manuales serán de 10 A, 120 VCA, para uso industrial y su montaje será en la pared a una altura de montaje de 1,2 m sobre el nivel de piso acabado.

14 ANÁLISIS ECONÓMICO

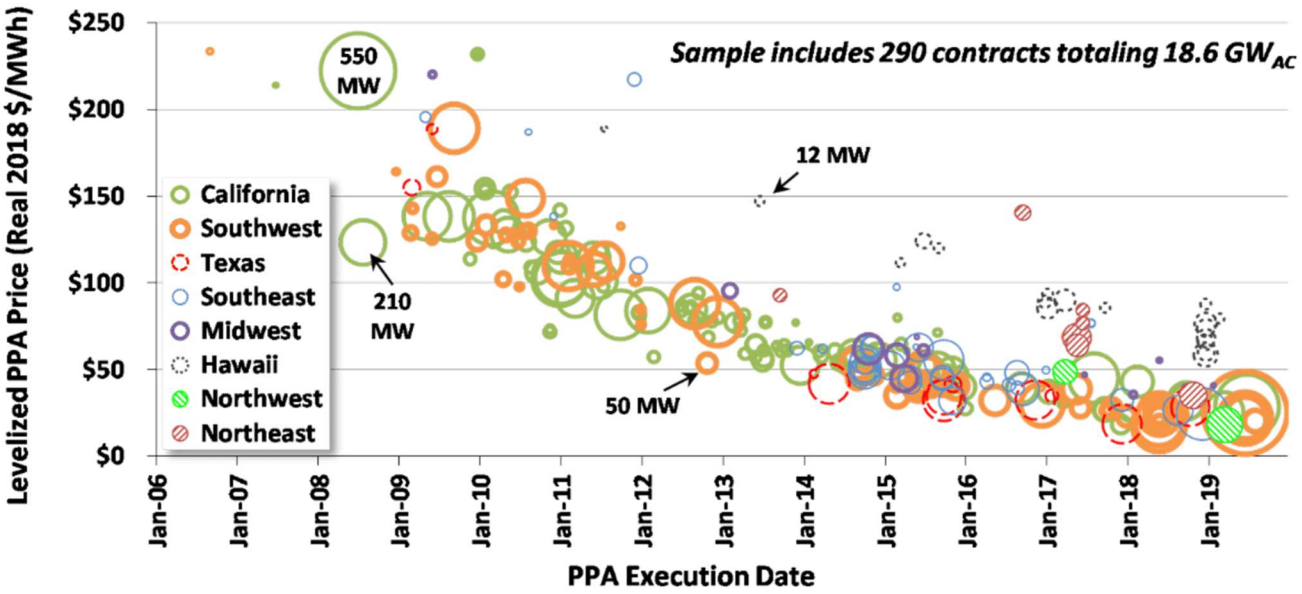
El coste total del proyecto de instalación de un sistema fotovoltaico es por lo general su cuello de botella más conocido y de igual forma para el despliegue a gran escala de energía solar fotovoltaica en general.

El costo de la electricidad solar varía ampliamente dependiendo de muchos factores como el tamaño del sistema instalado, con menores costos para sistemas más grandes. Dado que nuestra meta en general ambiental y mundialmente para la energía solar fotovoltaica debería ser un despliegue a escala de terawatt, la mayoría de el análisis se centran en el costo de los sistemas de mayor escala de utilidad cuyo tamaño está actualmente en el rango de megavatios pico (MWp). El costo de los sistemas de techo residenciales más pequeños, que constan de unos cuantos kilovatios de pico (kWp), pueden llegar a ser del doble que los sistemas de gran escala de utilidad en dólares por vatio pico ($ / Wp). La tercera categoría en el tamaño del sistema son los sistemas comerciales, que actualmente se encuentran desde decenas a cientos de kilovatios pico.

Hay varios métodos para explicar el costo de la electricidad solar. Para los fabricantes de células solares y módulos, el precio de venta de los módulos en $ / Wp es el método más conveniente. En 2012, los precios de la oblea-Si y CdTe módulos de película delgada fueron de alrededor de $ 0.85 / Wp. Esto representa una fuerte caída en el precio, ya que los precios en 2011 fueron de alrededor de $ 1.5 / Wp. En recientes años, los precios han seguido su tendencia a la baja, y en los últimos tres años específicamente, se pueden encontrar precios en el mercado desde 0.6 – 0.2 $/Wp. Una mejor medida del costo inicial de la energía solar fotovoltaica es el costo de los sistemas instalados, también en $ / Wp, que incluye el costo de los módulos solares y el costo de instalación. Los costos de instalación incluyen materiales de montaje (bastidores y cables), inversores, mano de obra, permisos y tarifas, financiamiento y gastos del instalador (gastos generales, impuestos, mercadeo y ganancias). Estos costos, especialmente los costos no relacionados con el hardware varían mucho de una región a otra y son más difíciles de resumir. Es claro que los precios mundialmente discutidos se ajustan al cliente final, el volumen de instalación y el país, pero sirven de referencia para esta propuesta.

En 2018, el costo de instalación para los sistemas de escala de servicios públicos fue en promedio alrededor de $ 1.6 / Wp. Para las empresas de servicios públicos y los consumidores, el costo nivelado de la electricidad (LCOE) para la energía solar fotovoltaica es más importante, que se define como:

$$LCOE\ (¢/\ kWh = \frac{Costo\ Vida\ Útil}{Salida\ de\ energía\ durante\ ciclo\ de\ vida}$$



El costo de la vida útil incluye no sólo el costo de instalación de sistemas solares, sino también el costo de operación y mantenimiento. Este método es útil para comparar el costo de la electricidad solar con la electricidad generada por otras fuentes como el carbón, el petróleo, el gas natural, la energía hidroeléctrica, la energía nuclear o el viento. Los sistemas solares fotovoltaicos tienen la ventaja de generar bajos costos de operación y mantenimiento, ya que no requieren combustibles ni trabajo constante de supervisión o mantenimiento. Se requiere que se realice trabajo ocasional sobre los módulos para la reparación y limpieza, ya que los módulos acumulan polvo a lo largo del tiempo, lo que reduce la producción de energía eléctrica.

El método de análisis por sistemas instalados puede utilizarse para comparar los costos iniciales de diversas tecnologías de generación de electricidad. Para los sistemas solares a escala industrial, es de alrededor de $ 2.3 / Wp en 2018. Los sistemas solares no son capaces de producir energía por las noches y poco en las mañanas tempranas y tardes. La salida promediada en el tiempo de un sistema solar está entre 10-20% de su salida máxima, dependiendo de varios factores tales como la intensidad solar local, el clima, la calidad del aire y el paisaje. A efectos comparativos, el costo de los sistemas solares instalados debe ser convertido de dólares por vatios pico a dólares por vatio. Un sistema solar de $ 3 / Wp con una producción media de 10-20% es equivalente a $ 15-30 / W, varias veces mayor que los costos iniciales de las centrales nucleares o de carbón.

Con el fin de examinar la mejor configuración que puede proporcionar la electricidad a la comunidad a un costo más bajo con el nivel requerido de disponibilidad, el costo de por vida

de las diferentes alternativas debe ser calculado y comparado. El sistema debe dimensionarse de tal manera que se disponga de suficiente energía para satisfacer la demanda y que el coste de la energía producida del sistema se reduzca al mínimo en la medida de lo posible. El cálculo del costo del ciclo de vida implica que todos los costos incurran durante la vida útil del proyecto, que incluye el capital de instalación, el costo de operación y mantenimiento, el costo de reemplazo y todos los demás costos. El resumen del coste de capital estimado se ve en la Tabla 14-1 para las dos alternativas.

Con el diseño realizado se procede a indicar los valores unitarios y totales del proyecto de la siguiente forma:

Tabla 14-1 Costo de capital de inversión

Item	Cantidad	Valor Unitario	Total
Panel Solar 530W Longi Solar	101	$ 874.000	$ 88.274.000
Regulador Outback 100A 12/24/48VDC MPPT	13	$ 3.105.777	$ 40.375.096
Batería Mtek AGM 1000Ah 2VDC	85	$ 1.203.188	$ 102.270.979
Inversor Solis 48VDC/110VAC 55000W O. Pura	1	$ 37.354.201	$ 37.354.201
Soporte para 10 paneles	11	$ 2.125.446	$ 23.379.906
Base para baterías en madera tratada	9	$ 1.024.865	$ 9.223.785
Cables, conectores, terminales y protecciones	1	$ 4.125.897	$ 4.125.897
Sistema de puesta a tierra	1	$ 3.125.485	$ 3.125.485
Tablero central para la conexión	1	$ 23.021.845	$ 23.021.845
Transporte del sistema	1	$ 12.255.678	$ 12.255.678
Instalación, prubeas y puesta en operación	1	$ 26.548.741	$ 26.548.741
Imprevistos	1	$ 9.314.578	$ 9.314.578
		TOTAL	**$ 379.270.191**

Gustavo Mondragón
c.c 88.768.860 de Bogota