

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO



**PROPUESTA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE
LA ENERGÍA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA
CALIENTE SANITARIA Y ELECTRICIDAD MEDIANTE UN
SISTEMA DE COGENERACIÓN EN EL HOSPITAL
NACIONAL DE NIÑOS BENJAMÍN BLOOM**

PRESENTADO POR:

**ARQ. SALVADOR OSWALDO AYALA SOSA
ING. JOSÉ FRANCISCO GONZÁLEZ MARTÍNEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO
AMBIENTE**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE POSGRADO

DIRECTOR:

MSc. MANUEL ROBERTO MONTEJO SANTOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE

Título:

**PROPUESTA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO
DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE
AGUA CALIENTE SANITARIA Y ELECTRICIDAD
MEDIANTE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN EN EL
HOSPITAL NACIONAL DE NIÑOS BENJAMÍN BLOOM**

Presentado por:

ARQ. SALVADOR OSWALDO AYALA SOSA

ING. JOSÉ FRANCISCO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSc., ING. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS

SAN SALVADOR, DICIEMBRE DE 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Álvaro', written on a light-colored background.

Docente Asesor:

MSc., ING. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS

Agradecimientos

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Jehová Dios, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad en mi vida. Por ser el inspirador quien nos da la fuerza y la fortaleza para continuar en los procesos de la vida con el propósito de obtener las metas que nos trazamos.

A mi esposa Ana Vilma, uno de los pilares principales de mi vida, quien siempre está a mi lado y quien me brinda su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hijos que tanto amo: Bayron David, Alexis Josué y Elian Francisco, por confiar en mí, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mis padres (Q.E.P.D), en especial a mi Tía Lucy a papá Luis Alonso, por sus oraciones y palabras de aliento.

A mis amigos, que siempre me alentaron a seguir adelante hasta alcanzar la meta trazada.

Agradezco a nuestros docentes de la Maestría, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al maestro Álvaro Rene Flamenco, quien con su paciencia y su rectitud como docente ha sido un ejemplo a seguir.

Francisco González

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la bendición de alcanzar esta meta académica y permitirme plasmar en estas páginas parte de las investigaciones y conocimientos adquiridos en nuestra educación.

Agradezco a la Universidad y todo su personal que son parte esencial en nuestra formación académica, con especial dedicación a quienes han partido en estos tiempos de pandemia, profesores, administrativos y estudiantes.

A nuestros maestros y colegas maestrantes con quienes realizamos esta travesía, compartiendo sus conocimientos y experiencias.

A nuestro asesor por la dedicación y guía ofrecida. Gracias Alvaro.

Agradezco a mi familia que ha sido soporte incondicional para el logro del objetivo trazado.

A mis amigos, gracias.

Salvador Ayala

Resumen

En el presente documento se desarrolla una evaluación de tres sistemas de aprovechamiento de la energía solar: fotovoltaico, combinado fotovoltaico – termosolar y combinado fotovoltaico – híbrido, aplicando en un caso real proyectado para el hospital nacional de niños Benjamín Bloom en San Salvador, se busca determinar cuál de los sistemas es el más adecuado en las condiciones actuales para producir agua caliente sanitaria para fines médicos y terapéuticos. La evaluación se realiza considerando los aspectos de eficiencia, economía e instalación. Los resultados de estos análisis se pueden utilizar y replicar en otros nosocomios de la red pública de hospitales del país.

Abstract:

In this document an evaluation of three systems for the use of solar energy is developed: photovoltaic, combined photovoltaic - thermal solar and combined photovoltaic - hybrid, applying in a real case projected for the Benjamín Bloom national children's hospital in San Salvador. With this analysis it was determined which of the systems (technologies) is the most suitable under current conditions to produce sanitary hot water for medical and therapeutic purposes. The evaluation is carried out considering the aspects of efficiency, economy and installation. The results of these analyzes can be used and replicated in other hospitals in the public network of hospitals in the country.

| CONTENIDO | PÁGINA |
|---|--------|
| 1. Introducción..... | 17 |
| 2. Objetivos..... | 18 |
| 2.1. General..... | 18 |
| 2.2. Específicos..... | 18 |
| 3. Alcances..... | 18 |
| 4. Delimitación del Análisis y la Propuesta de Solución..... | 19 |
| 5. Justificación..... | 20 |
| 6. Antecedentes..... | 22 |
| 7. Marco Teórico..... | 25 |
| 7.1. Eficiencia Energética en la Edificación y las Energías Renovables..... | 25 |
| 7.2. Aprovechamiento de la Radiación Solar como Fuente Primaria de Energía Renovable..... | 26 |
| 7.3. Dispositivos para Absorción de la Radiación Solar..... | 27 |
| 7.4. Energía Solar Fotovoltaica..... | 28 |
| 7.5. Criterios para el Diseño de un Sistema FV..... | 30 |
| 7.6. Sistema Solar Híbrido (PV-T)..... | 33 |
| 7.7. Ventajas de un Sistema Solar Híbrido Térmico Fotovoltaico (PV-T)..... | 34 |
| 7.8. Aspectos Ambientales del Aprovechamiento de la Radiación Solar..... | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7.9. | Marco Normativo Aplicada al Proyecto (UPR)..... | 35 |
| 8. | Análisis de Información Recopilada..... | 35 |
| 8.1. | Análisis de la Demanda de Atenciones a Pacientes..... | 36 |
| 8.2. | Análisis de la Demanda de Energía Eléctrica..... | 40 |
| 9. | Elaboración de Propuesta Técnica..... | 42 |
| 9.1. | Selección de la Cubierta de Techo..... | 43 |
| 9.2. | Selección de Equipos para Área de Hidroterapia..... | 45 |
| 9.3. | Estimación de la Cantidad de Equipos para área de Hidroterapia..... | 48 |
| 9.4. | Propuesta de Distribución de Equipos..... | 49 |
| 9.5. | Propuestas para el Aprovechamiento de la Energía Solar..... | 51 |
| 9.5.1. | Propuesta de Sistema FV para Producción de ACS..... | 51 |
| 9.5.2. | Pre-dimensionamiento del Sistema FV..... | 53 |
| 9.5.3. | Propuesta de Diseño del Sistema Termo solar..... | 59 |
| 9.5.4. | Cálculo del Número de Módulos Híbridos (PV-T)..... | 66 |
| 9.5.5. | Ahorro por Producción de ACS..... | 67 |
| 9.5.6. | Resumen de Potencia por cada Sistema Propuesto..... | 69 |
| 9.6. | Análisis estructural del techo del edificio seleccionado para la implementación del sistema de ACS..... | 69 |
| 9.6.1. | Análisis estructural de polines..... | 70 |

| | | |
|--------|--|----|
| 9.6.2. | Análisis estructural de vigas | 71 |
| 10. | Análisis Económico de las Propuestas de Solución | 72 |
| 10.1. | Presupuesto por Sistema Propuesto..... | 72 |
| 10.2. | Estimación de la Energía Eléctrica Equivalente | 74 |
| 10.3. | Estimación del Ahorro Económico | 75 |
| 10.4. | Cálculo de Indicadores Económicos por Sistema | 75 |
| 11. | Conclusiones..... | 78 |
| 12. | Recomendaciones | 80 |
| 13. | Trabajos citados..... | 81 |
| 14. | ANEXOS..... | 83 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Camilla instalada en el área para tratamiento de pacientes con quemaduras (ref.: HNNBB)..... | 21 |
| Figura 2 Principales edificios del HNNBB ubicado en Lat.: 13.7138656 y Long.: - 89.2039223 (Google Earth)..... | 24 |
| Figura 3 Ejemplo de edificio de alta eficiencia (Wikipedia,2021)..... | 26 |
| Figura 4 Diagrama de un circuito hidráulico primario y secundario (Elaboración propia con (Visual-paragim, 2021)). | 27 |
| Figura 5 Tipos de tecnologías para producción de ACS. a) captador plano, b) captador de tubos de vacío y c) tecnología de concentración solar. | 28 |
| Figura 6 Sistema fotovoltaico conectado a la red (Referencia: Energía Solar Conectada a Red). | 30 |
| Figura 7 Orientación del módulo FV para máxima producción anual (Solar, 2021). | 32 |
| Figura 8 Esquema básico de un captador híbrido para generar electricidad y agua caliente con una única instalación (ABORA, s.f.) | 33 |
| Figura 9 Planta de Conjunto y Techos. Ubicación de la Unidad para niños quemados (Archivos del Hospital Benjamín Bloom)..... | 43 |
| Figura 10: Matriz de evaluación de edificios para determinar la ubicación del área de hidroterapia (Elaboración propia)..... | 44 |
| Figura 11 Plano de distribución de equipos y área (128 m ²) dedicada a las actividades de fisioterapia (Elaboración propia basada en la sección del edificio para atención de paciente con quemaduras)..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 12 Esquema de una instalación para foto termia (PV-Heating) con tecnología Fronius (FRONIUS, 2021). | 53 |
| Figura 13 Gráfico del flujo de caja para el periodo de evaluación del proyecto, sistema híbrido (elaboración propia). | 76 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1 Número de pacientes atendidos durante el año 2019 (HNNBB, 2020)..... | 37 |
| Tabla 2 Cantidad de pacientes atendidos en el año 2019 (HNNBB, 2020). | 38 |
| Tabla 3 Cantidad de pacientes atendidos en el año 2019 en el área de emergencia entre las edades de 0 a 14 años (HNNBB, 2020)..... | 38 |
| Tabla 4 Consolidado de egresos más emergencias ((HNNBB, 2020)..... | 39 |
| <i>Tabla 5 Especificaciones técnicas de equipos propuestos para la implementación del área de hidroterapia (Fisiolab, 2018).....</i> | <i>47</i> |
| Tabla 6 Resumen de las características principales de los equipos para el área de hidroterapia y su consumo de agua Fuente: Cálculo propio..... | 48 |
| Tabla 7 Resumen de los principales parámetros técnicos de un captador solar (Elaboración propia)..... | 64 |
| Tabla 8 Resultado del área mínima requerida por mes, área total empleada y factor de cobertura solar Captadores solares para ACS (Elaboración propia) | 65 |
| Tabla 9 Características técnicas de captadores solares (Elaboración propia). | 66 |
| Tabla 10 Resultados obtenidos para el área de captación para un factor de cobertura solar igual o mayor a 70% (Elaboración propia)..... | 66 |
| Tabla 11 Ahorro por energía sustituida con captadores térmicos convencionales..... | 68 |
| Tabla 12 Cálculo del ahorro por energía sustituida, sistema PV-T..... | 68 |
| Tabla 13 Resumen de producción de potencia por sistema (Elaboración propia)..... | 69 |
| Tabla 14 Resumen de presupuesto para sistema fotovoltaico (elaboración propia)..... | 72 |

| | |
|--|----|
| Tabla 15 Resumen de presupuesto para sistema combinado (elaboración propia) | 73 |
| Tabla 16 Resumen de presupuesto para sistema híbrido (elaboración propia) | 73 |
| Tabla 17 Resumen de monto por propuesta de sistema par ACS (Elaboración propia) | 74 |
| Tabla 18 Tabla resumen con la estimación de la energía eléctrica anual equivalente sustituida (Elaboración propia)..... | 74 |
| Tabla 19 Ahorro en energía anual sustituida o evitada (elaboración propia) | 75 |
| Tabla 20 Resumen con el resultado de los indicadores económicos para evaluación de las alternativas (elaboración propia). | 76 |

Lista de abreviaturas y Acrónimos

| | |
|----------------------|---|
| °C: | Grados Centígrados |
| AC: | Corriente Alterna |
| ACS: | Agua Caliente Sanitaria |
| Amp. | Amperios |
| CAESS: | Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador |
| CNE: | Consejo Nacional de Energía |
| CO ₂ : | Dióxido de Carbono |
| COVID-19. | Enfermedad respiratoria muy infecciosa causada por el coronavirus dos del síndrome respiratorio agudo grave (o SARS-COV-2), que produce síntomas semejantes a los de la gripe en los casos más leves y semejantes a los de la neumonía en los casos más graves. |
| CRINA: | Centro de Rehabilitación de la Niñez y Adolescencia |
| DC: | Corriente Directa |
| ERNC: | Energías Renovables no Convencionales |
| FV: | Solar Fotovoltaico |
| GEI: | Gases de Efecto Invernadero |
| HFO: | Quema de Combustible Fósil |
| Hidro-Termoderapias. | Terapias por medio de agua caliente sanitaria |
| HNNBB: | Hospital Nacional de Niños Benjamin Bloom |
| Hz: | Hercios |
| IEC: | Comisión Electrotécnica Internacional, también conocida por su sigla en inglés International Electrotechnical Commission, es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. |
| kWh: | Medida de energía (kilovatio por hora) |
| kWp:. | kilovatio pico |
| m ³ : | Unidad de volumen expresada en metros cúbicos |
| MPPT: | Punto de máxima potencia |
| MT: | Media Tensión |
| MWe: | Potencia eléctrica en Megavatio eléctrico |
| NDC: | Contribuciones Nacionales Determinadas |
| ONU: | Organización de las Naciones Unidas |
| PRI: | Periodo de Recuperación de la Inversión |
| PV-T: | Sistema Híbrido de cogeneración (energía eléctrica y térmica) |
| SIGET: | Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones |
| Termo-Solar: | Térmica y solar |
| TIR: | Tasa Interna de Retorno |
| UL | (Underwriters Laboratories). Organismo regulador estadounidense que elabora las normas para las pruebas de seguridad de los equipos eléctricos y la compatibilidad electromagnética |
| UPR: | Norma para los Usuarios Finales Productores con Energías Renovables |
| VAN: | Valor Actual Neto |

1. Introducción

El mundo tiene el reto de disminuir el consumo energético de fuentes no renovables, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y lograr un balance de carbono para alcanzar el objetivo principal que es el de aportar para la desaceleración del cambio climático el cual, según los estudios científicos, se está desarrollando a pasos agigantados. Estos compromisos han sido suscritos en el protocolo de Kyoto, protocolo de Montreal, los acuerdos de París, los objetivos del milenio de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) y otros tratados suscritos por el estado salvadoreño. Uno de los compromisos asumidos por el gobierno de El Salvador está definido por las Contribuciones Nacionales Determinadas (EUROCLIMA, s.f.) o NDC por sus siglas en inglés, que en los numerales 3.3 y 3.6.2 el estado salvadoreño se compromete a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) mejorando la eficiencia energética.

Los edificios públicos son objeto inmediato de aplicación de estos compromisos y particularmente los hospitales públicos porque demandan una cantidad importante de energía de diverso tipo para sus múltiples aplicaciones, sus instalaciones deben operar en óptimas condiciones y garantizar el suministro energético de forma eficiente. Hay varias formas de mejorar la eficiencia energética, entre las cuales se encuentra la generación de energía termo-solar, fotovoltaica e implementar más y mejores métodos de gestión de la energía. El uso de la energía solar, debido a que posee un alto potencial de aprovechamiento, dadas las condiciones favorables de irradiancia que recibe El Salvador, los espacios disponibles sobre las estructuras de techos existentes, el costo competitivo de los sistemas de módulos solares, el bajo mantenimiento de los sistemas, la larga vida útil, entre otras.

Con base en lo anterior, se han identificado los hospitales nacionales con un buen potencial para poder implementar la tecnología de aprovechamiento de la energía solar, en especial los que poseen especialidades de maternidad, pediatría o fisioterapia debido a que estas áreas demandan, además de la energía eléctrica, agua caliente sanitaria (ACS). No obstante, los sistemas fotovoltaicos poseen potencial para cualquier instalación hospitalaria.

Dentro de este marco se desarrolla el presente trabajo de graduación para optar al título de Maestro en Energías Renovables y Medio Ambiente y el detalle de la propuesta es como se presenta a continuación.

2. Objetivos

2.1. General

Desarrollo de una propuesta para la implementación de tecnología de aprovechamiento de la energía solar para producción de electricidad y calor útil para cubrir un porcentaje de la demanda del “Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom” (HNNBB), extensible a los hospitales de la Red Nacional del país.

2.2. Específicos

- Caracterización de la demanda de energía térmica y eléctrica del hospital objeto de estudio.
- Determinación del porcentaje de la demanda de energías a cubrir con el sistema de cogeneración propuesto.
- Realización de una propuesta de integración de la tecnología más apropiada en función de las necesidades del tipo de energía y espacio disponible en una instalación hospitalaria.
- Ejemplificar, mediante una propuesta técnica, sobre la implementación de un proyecto de aprovechamiento de la radiación solar para sustituir fuentes de energía convencionales no renovables y uso eficiente de la energía en la red de hospitales públicos.

3. Alcances

Para el presente trabajo se tiene planificado ejecutar un estudio a nivel de pre factibilidad para el aprovechamiento directo de la radiación solar para la producción de energía eléctrica y calor útil mediante tecnología apropiada, realizando un estudio comparativo entre la producción de ACS y electricidad mediante un sistema convencional y

de cogeneración, tomando como caso práctico el HNNBB, escalable a cualquier hospital de la red nacional de salud pública.

Es importante aclarar que inicialmente se seleccionó el Hospital de Cojutepeque como primera opción para la realización del estudio, pero debido a las condiciones actuales en que se encuentra el país derivadas de la pandemia del COVID-19, la cual limitó grandemente las opciones y accesos a los hospitales de la red pública, se evaluó la conveniencia de realizar el estudio en cualquier hospital nacional que permitiera el acceso a sus instalaciones para la realización de los estudios, pero que también cumpliera el criterio de consumo de ACS como parte del tratamiento de padecimiento de sus pacientes.

El producto final del estudio consistirá en un documento en el cual se definirán los conceptos teóricos de los sistemas termosolares y fotovoltaicos, métodos de simulación y cálculo, modelos de implementación, propuesta de implementación con detallado y presupuesto estimativo.

La investigación pretende determinar la capacidad de generación de un sistema de ACS y un sistema de generación eléctrica solar fotovoltaico (FV) en las instalaciones HNNBB, con el propósito contribuir al proceso de rehabilitación de los pacientes con diferentes padecimientos o lesiones físicas siendo las principales las provocadas por quemaduras.

4. Delimitación del Análisis y la Propuesta de Solución

Por lo anterior expuesto, queda en evidencia la necesidad de que el HNNBB cuente con un área especializada para atender y dar seguimiento a los padecimientos de niños con lesiones que requieran uso de ACS como tratamiento. Por tanto, el alcance de este trabajo de graduación será la de elaborar la factibilidad para el acondicionamiento de un área dentro del HNNBB especializada para impartir hidroterapia con ACS (hidro-termoterapia) mediante tinajas de tanque de remolinos para inmersión de miembros superiores, inferior, cuerpo completo y duchas. La propuesta contempla tanto la distribución de equipos, según la demanda de atenciones por día laboral, así como también la producción de ACS empleando energía solar ya sea de forma directa (termo solar) o indirectamente mediante el

uso de tecnología fotovoltaica, el análisis se centrará en determinar la viabilidad técnica y económica de cada una de las tecnologías y el contexto de la necesidad antes planteado.

5. Justificación

Muchos hospitales de la red nacional de salud de El Salvador no cuentan con un sistema de producción de ACS que solvante las necesidades diarias como: duchas del área de hospitalización y sala de hidro-termoterapias de atención para los/as niñas/os, adolescentes y adultos. No obstante, existe una amplia variedad de sistemas convencionales (eléctricos y a gas) para la producción de agua caliente, así como también sistemas para calentamiento de agua haciendo uso de la energía solar. Lo anterior no sólo tiene beneficios ecológicos sino económicos pues, si bien es cierto que hay que hacer una inversión inicial en el proyecto, los costos operativos de la instalación solar son bajos comparados con los sistemas convencionales a gas o electricidad lo que permite amortizar la instalación en poco tiempo.

Para este proyecto se contempla realizar un análisis comparativo entre el uso de las tecnologías renovables convencionales para la producción de calor útil y electricidad, de forma separada, a lo que posteriormente le llamaremos como “opción combinada”, y las de cogeneración que por un lado aprovechan la tecnología convencional de células FV para producción de electricidad y calor (calentamiento de la célula) mismo que es recuperado mediante un circuito hidráulico de enfriamiento en su parte posterior con lo cual se obtendrá un doble beneficio: electricidad y energía térmica como subproducto, con lo cual se incrementa el rendimiento de una instalación solar.

Lo anterior no es una tecnología nueva, no obstante, el doble beneficio de su implementación podría ser una buena opción desde el punto de vista de menor tiempo de retorno de la inversión y espacio útil utilizado para el proyecto.

Con la utilización de herramientas para cálculo será posible realizar el análisis comparativo y determinar la tecnología más apropiada y el porcentaje de cobertura de la demanda de energía eléctrica y térmica a cubrir con el sistema propuesto, así como también la huella ecológica y económica del proyecto.

Como dato importante según Informe de Evaluación Plan Anual Operativo Institucional 2020 (HNNBB, 2020), se obtuvo que en el año 2020 el servicio de cirugía plástica del HNNBB atendiera la cantidad total de 378 pacientes con quemadura graves, los cuales fueron atendidos y recuperados satisfactoriamente.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, a pesar de que en las instalaciones del HNNBB existe un área dedicada para fisioterapia (para niños quemados) la cual no se encuentra brindando atención debido a que no posee los equipos adecuados como tinas y sistema para producción de ACS. De hecho, el único departamento que ocupa un sistema de ACS es el departamento de cirugía plástica en donde a los pacientes con quemaduras se les realiza una limpieza en el área afectada y posteriormente se aplica el medicamento respectivo (crema antibiótica) y luego cubren las partes dañadas con vendajes, utilizando gasas especiales y otros accesorios.

La Figura 1 muestra la tina empleada actualmente en el área antes citada, en la cual se coloca el paciente mientras se le aplica agua tibia, a $36^{\circ}\text{C} \sim 37^{\circ}\text{C}$, para minimizar el dolor por la remoción del vendaje que cubren las lesiones que, como bien se ha dicho, la mayoría son por quemadura.



Figura 1 Camilla instalada en el área para tratamiento de pacientes con quemaduras (ref.: HNNBB).

Es de mencionar que, según lo manifestado por el personal relacionado con el área de cirugía plástica, los pacientes que quedan con secuelas de movilidad por las quemaduras son referidos al departamento de fisioterapia del mismo hospital, pero el mayor inconveniente que se presenta es que dicha área no cuenta con un sistema apropiado de recuperación por medio de hidroterapia, en otras palabras, el HNNBB no cuenta con la disponibilidad de equipos requeridos para brindar el servicio de tratamiento por medio de hidroterapia y entre ésta la termoterapia con ACS, ya que los equipos con que contaban en su oportunidad se dañaron, lo que provoca que los pacientes tengan que movilizarse hasta otros centros de atención como el Centro de Rehabilitación de la Niñez y Adolescencia (CRINA), centro de atención especializado en este tipo de tratamientos.

Por todo lo anterior, se justifica la implementación de la propuesta de una sala de atenciones para hidroterapia pero que además sea técnica, ambiental y económicamente sostenible.

6. Antecedentes

Los sistemas de preparación y distribución de agua caliente han evolucionado de la mano de la ingeniería solar térmica y fotovoltaica hasta el punto de poder convertirse en un bien común al alcance de la mayoría de la población. Las fuentes alternativas de energía, por ejemplo, la energía solar, son cada vez más utilizadas, permitiendo la obtención de un agua caliente de calidad con menor impacto en el medio ambiente y un considerable ahorro energético.

En la actualidad, la gran mayoría de sistemas solares térmicos pertenecen a sistemas que se usan cada vez más en edificios de gran magnitud: hoteles, hospitales privados, así como también en edificios públicos con buenos resultados los cuales están siendo replicados en otros sectores terciarios. Una lección importante que se desprende de la experiencia es que el diseño de grandes sistemas solares térmicos no puede estandarizarse y cada sistema debe ser desarrollado individualmente, teniendo en cuenta las circunstancias y las necesidades del usuario, una tarea y un desafío para todos los profesionales competentes y desarrollantes de estudios en este rubro o área

En los últimos años, el Consejo Nacional de Energía (CNE), quien es el ente rector en El Salvador de generar las políticas relacionadas con el tema de reducción de gases de efecto invernadero y del ahorro energético, principios fundamentales a favor de la lucha contra el cambio climático ha adoptado importantes decisiones sobre política energética, con el objetivo de reducir el consumo de energías y apostar por el consumo de energías renovables. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es la implementación de una propuesta técnica-económica para un área de hidroterapia incluyendo la producción de ACS empleando energías renovables y con énfasis en hospitales, ya que éstos son, en esencia, grandes consumidores de agua caliente. Este complejo hospitalario es ideal para la instalación de tecnología de aprovechamiento de la energía solar ya sea fotovoltaica, termosolar o híbrida, lo cual permitiría un ahorro económico y un mayor respeto hacia el medio ambiente.

El caso de estudio (HNNBB), está ubicado en Final 25 Avenida Norte y Final 29 Calle Poniente, San Salvador. Dicho Hospital, identificado principalmente por su torre, es el más grande y moderno para la niñez de toda la región Centroamericana, está ubicado en la ciudad de San Salvador, El Salvador. La torre cuenta con diez niveles sobre calle y un nivel bajo tierra, y otro edificio anexo de cinco niveles; la torre del HNNBB tiene una altura de 53.3 metros y un área de 14.000,0 m².

Mediante una visita al lugar y del análisis posterior de la información recopilada (como por ejemplo la proyección de sombras), se concluyó que el edificio para atención de pacientes con quemaduras (referencia color azul de la Figura 2), cuya cubierta sería la adecuada para desarrollar la propuesta de diseño para el sistema de ACS. La extensión total de la cubierta del edificio es de 420 m².



Figura 2 Principales edificios del HNNBB ubicado en Lat.: 13.7138656 y Long.: -89.2039223 (Google Earth).

Durante la visita técnica realizada al lugar se constató que en la actualidad el hospital no cuenta con un departamento y área asignada para la rehabilitación de lesiones, fracturas o quemaduras de miembros superiores o inferiores en el cuerpo de los pacientes que hacen uso de dicho nosocomio, como lo es el área de fisioterapia, que contenga equipos de hidroterapia para tales fines y de rehabilitación de los pacientes que requieran la atención especializada.

Por lo anterior, la propuesta de este trabajo de graduación consiste en el diseño del área destinada para hidroterapia, la cual será dimensionada teniendo en cuenta la demanda prevista y que además haga uso de la energía solar para el autoabastecimiento de la energía requerida para ACS así como también de la energía eléctrica, todo integrado en las instalaciones existente.

A medida que se profundizó en la investigación sobre la consideración de las posibles áreas adecuadas del hospital para proponer la implementación de un ACS, se realizaron las consultas necesarias al personal técnico de mantenimiento del hospital. Dentro de las consultas realizadas se encuentran lo relacionado con la facturación por el consumo de energía eléctrica, estudios de calidad de energía al suministro eléctrico brindado a las

instalaciones, ambos realizados por la distribuidora de energía, los registros del historial de consumo, además de planos civiles del área asignada para la implementación de la propuesta, etc.

Ante lo solicitado, los representantes del hospital brindaron la información que estaba disponible. Iniciando de esta manera con la elaboración y formulación de cada una de las propuestas planteadas y desarrolladas en este documento.

7. Marco Teórico

7.1. Eficiencia Energética en la Edificación y las Energías Renovables

Un edificio energéticamente eficiente es aquel que minimiza el uso de las energías convencionales de modo de reducir su demanda energética y/o autoproducir su propia energía empleando tecnología apropiada.

Para lograr esto se deben usar estrategias de diseño pasivo, que tienen que ver con la obtención del confort térmico mediante el diseño arquitectónico de la edificación que, para el caso de un clima tropical, minimice las ganancias de la radiación solar y un buen aprovechamiento de la ventilación natural; por otro lado, se tiene el diseño activo el cual usa la tecnología asociada a las ERNC (energías renovables no convencionales) para su autoabastecimiento. Entre los tipos de energía producidos está la energía eléctrica y térmica, principalmente.

Existen cuatro formas amplias de reducir el consumo de energía en la construcción, lo que en última instancia resulta en la mitigación de las emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono) a través de la conservación de la energía. Estos aspectos se describen a continuación:

- Diseño de edificios y viviendas pasivas y su orientación para aprovechar la energía solar para iluminación y/o su bloqueo mediante la proyección de sombras.
- Materiales de baja energía incorporados para la construcción de edificios y viviendas.

- Electrodomésticos de alta eficiencia energética para conservar la energía operativa del edificio.
- Construir edificaciones con integración de tecnologías de energía renovable.



Figura 3 Ejemplo de edificio de alta eficiencia (Wikipedia,2021)

La técnica de energía más sostenible es conservar la energía tanto como sea posible. El diseño de edificios solares pasivos puede ayudar a los esfuerzos de conservación de energía porque el diseño de edificios está directamente relacionado con el uso de energía. Los edificios con diseños de edificios solares pasivos usan de forma natural la energía del sol para calentar, enfriar e iluminar sin cargo adicional. Esto reduce la necesidad de consumir energía de otras fuentes y proporciona un ambiente confortable en el interior.

7.2. Aprovechamiento de la Radiación Solar como Fuente Primaria de Energía Renovable

En primeras instancias se tiene la energía termosolar, la cual es el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor útil mediante un conjunto de dispositivos especialmente diseñados para captar, transmitir, almacenar y distribuir la energía térmica hasta los puntos de consumo. Uno de los principales dispositivos para tal fin es el captador y/o concentrador solar que básicamente sirve para absorber la radiación solar y calentar un fluido de trabajo como agua u otro de características similares.

De acuerdo con (Solar-System, s.f.), un sistema termo solar típico para ACS es como el que se muestra en la Figura 4, en la cual se puede apreciar la conexión de los subsistemas principales que componen un sistema para ACS, y entre sus características principales se cuentan las siguientes:

- Subsistema de captación solar: es un intercambiador de calor diseñado para convertir eficientemente la energía de la radiación solar en energía térmica que se transfiere al fluido de trabajo.
- Subsistema de conducción: conjunto de tuberías que transportan el agua atemperada hasta elementos terminales.
- Subsistemas de Acumulación: depósito o depósitos que almacenan el agua caliente, incrementando la inercia térmica del sistema y permitiendo la utilización de generadores de calor de potencia inferior a la demanda máxima puntual del sistema.
- Subsistema de calefacción auxiliar: dispositivo que permite calentar el fluido de trabajo cuando no existe recurso solar aprovechable.

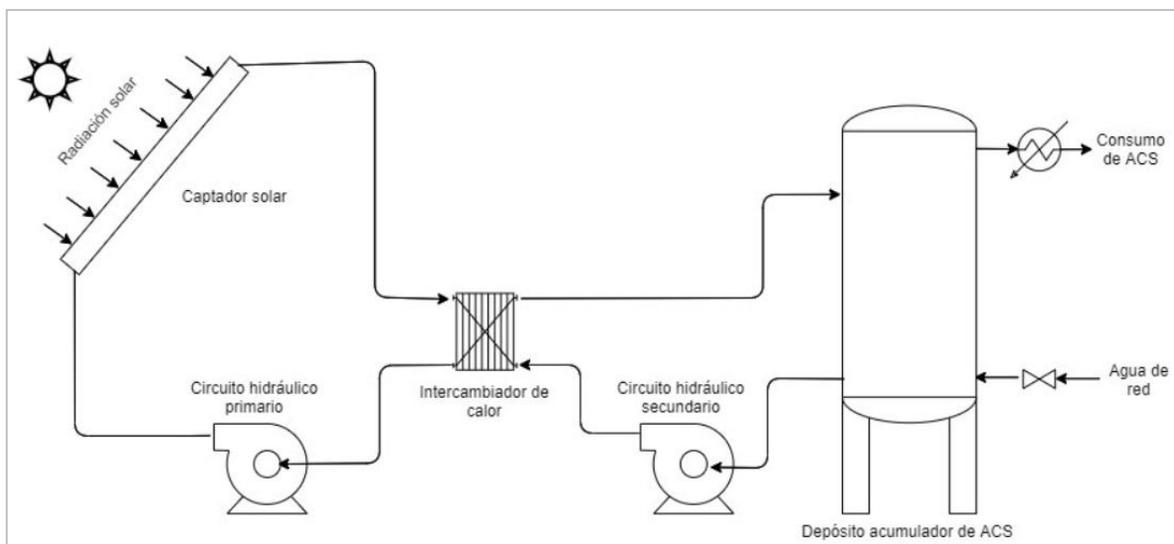


Figura 4 Diagrama de un circuito hidráulico primario y secundario (Elaboración propia con (Visual-paragim, 2021)).

7.3. Dispositivos para Absorción de la Radiación Solar

Entre los principales tipos de captador y/o concentradores solares empleado en los sistemas termo solares para ACS se encuentran entre otros los siguientes:

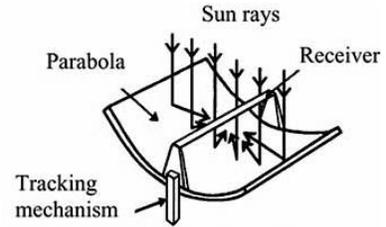
- Captadores de placa plana,
- Captadores de tubos de vacío, y
- Concentradores solares.



A) Captador plano



B) Captador de tubo de vacío



C) Concentrador solar

Figura 5 Tipos de tecnologías para producción de ACS. a) captador plano, b) captador de tubos de vacío y c) tecnología de concentración solar.

A diferencia del concentrador solar, los captadores de placa plana y de vacío son dispositivos que únicamente captan la radiación solar para concentrarla, generalmente tiene una orientación e inclinación fija. De los tres, el concentrador solar es el que permite un incremento mayor de temperatura, dado que la sección parabólica del canal permite concentrar la radiación sobre un foco lineal tal cual se observa en la Figura 5C.

Los tres sistemas requieren de un circuito hidráulico de circulación forzada que refrigera la placa que absorbe la radiación solar transportando y almacenando la energía térmica en un tanque acumulador para su posterior distribución hasta los puntos de consumo.

7.4. Energía Solar Fotovoltaica

Otra forma de aprovechamiento de la irradiancia solar es a través de la tecnología fotovoltaica (FV), término que engloba el conjunto de tecnologías que permite la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante células fotovoltaicas interconectadas eléctricamente. Entre las ventajas de estos dispositivos se mencionan las siguientes:

- Es una tecnología madura y de fácil implementación.

- No precisan suministro de combustible alguno para su operación.
- No es contaminante.
- Son muy fiables, su operación y mantenimiento son muy sencillos y al alcance de personal escasamente especializado.
- Sus costos (\$/Wp) actualmente se han reducido considerablemente.
- Su vida útil es muy larga, probablemente superior a los 30 años, sin que muestran apenas degradación.
- Sus componentes pueden ser reciclados.
- Eficiencia de conversión Solar a electricidad de hasta 21 %.

Los sistemas FV pueden ser dimensionados ya sea para sistemas aislados o conectados a la red eléctrica y estos últimos para autoconsumo y/o para inyección a la red.

Las partes principales de un sistema FV conectado a la red son las que se describen a continuación:

- Módulo FV en arreglo o “String”.
- Cable FV para interconectar módulos en “String”.
- Sistema de puesta a tierra.
- Estructura para ubicar módulos FV sobre techo o piso.
- Inversor DC/AC con su sistema de protecciones en AC y DC.
- Distribución de la energía en AC, y
- Sistema de medición de energía.

En la Figura 6 se muestran los elementos principales de una instalación FV conectado a la red de distribución eléctrica.

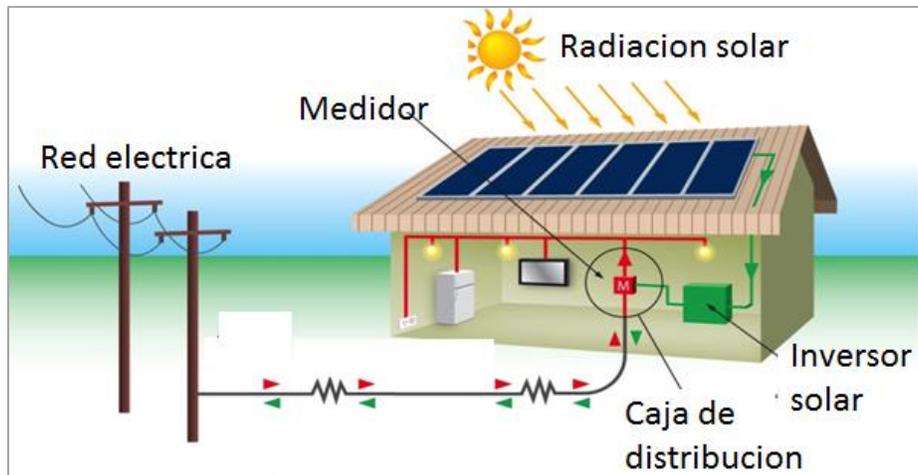


Figura 6 Sistema fotovoltaico conectado a la red (Referencia: Energía Solar Conectada a Red).

7.5. Criterios para el Diseño de un Sistema FV

Entre los criterios considerados para el dimensionamiento de un sistema FV para autoconsumo y conectado a la red eléctrica de distribución, se citan los siguientes:

- Estudio de la Demanda de Energía Eléctrica Consumida en HNNBB

Este comprende el análisis en detalle de la cantidad de energía demandada para diferentes periodos de tiempo, identificando las horas del día de mayor consumo (punta, resto y valle) y la calidad de la energía. Lo anterior típicamente se realiza solicitando un histórico de consumo, al menos de los últimos 12 meses previos al estudio, a la distribuidora que brinda la energía al suministro en estudio.

Consideraciones adicionales se deberán tomar para evaluar el punto o puntos de conexión donde se inyectó la energía del sistema FV.

- Determinación del recurso solar

La irradiancia solar en el lugar puede ser determinada mediante medición directa en el lugar o de uno cercano, que presente condiciones como calidad, cantidad y continuidad en las mediciones. En muchas ocasiones no se cuenta con este tipo de datos por lo que se recurre al uso de bases de datos de irradiancia solar de tipo satelital como [Global Solar Atlas](#), [Watts](#) de NREL, [Solar GIS](#), entre otros, con buena precisión que pueden ser

empleados para la estimación del potencial de radiación solar (horas solares pico) del lugar del proyecto.

- Verificación de sombras

Un aspecto crítico en la localización de los módulos es asegurar que no existen obstáculos (vegetación, edificios, elementos constructivos, otros módulos, etc.) en el horizonte cercano que proyecten sombras sobre los módulos, al menos durante las horas centrales del día. La influencia de las sombras sobre los módulos se cuantifica mediante un análisis de sombras mediante el cual se determina la mejor orientación (inclinación respecto a la horizontal, acimut respecto al sur y distribución espacial en la cubierta de techo, entre otras características, mismas que según la Figura 7, se ven condicionadas fuertemente con la latitud, longitud y altitud de la instalación FV).

Como principio de optimización de la producción anual de energía, en una instalación FV se busca que la zona de módulos que recibe la irradiación tenga una orientación preferente hacia el sur geográfico (acimut igual a cero en el Norte) y un ángulo de inclinación igual o similar al ángulo de latitud, condición que no siempre se cumple dado que por motivos de integración arquitectónica la zona de módulos termina con la misma inclinación del techo.

Para el caso de nuestro proyecto, el área seleccionada es el techo a dos aguas del edificio de niños quemados (Figura 2), cuya fachada principal se encuentra ubicada hacia el Sur, con azimut de 2° Oeste, respecto al Sur.

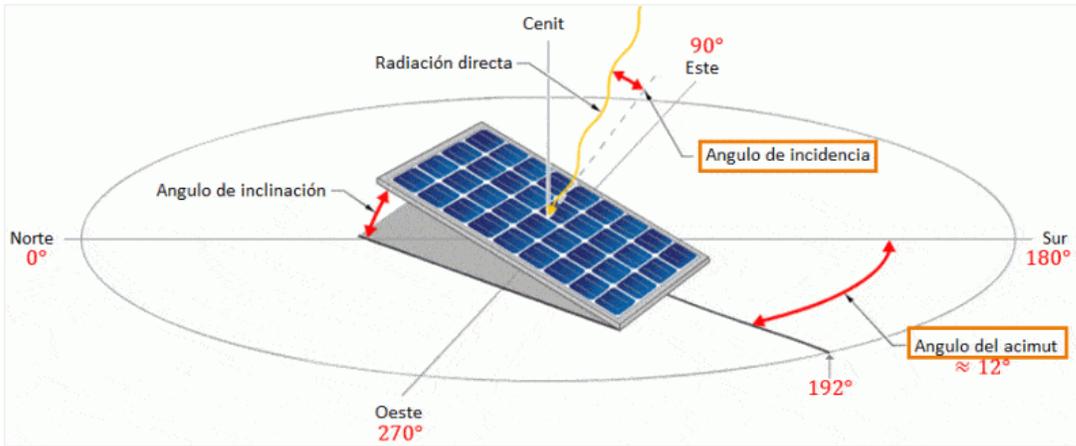


Figura 7 Orientación del módulo FV para máxima producción anual (Solar, 2021).

- Evaluación de las pérdidas del sistema

Es necesario tener en cuenta las pérdidas/caídas de tensión introducidas por los componentes que forman el sistema (regulador de carga, cables de conexión, sombreado, problemas de manufactura, etc.), cuya magnitud puede ser englobada entre 10 ~ 15% de la potencia total generada, lo cual implica aumentar en el mismo porcentaje la potencia pico del sistema FV.

7.6. Sistema Solar Híbrido (PV-T)

Existe otra tecnología que combina las características de las mencionadas anteriormente, este es la tecnología solar híbrida o PV-T, que aprovecha la irradiación solar para la producción energía eléctrica mediante células fotovoltaicas y energía térmica como subproducto, todo en un mismo módulo. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 8 un panel híbrido fabricado por la empresa española (ABORA, s.f.), del cual se dice tener la mayor eficiencia de conversión (superior al 80%) de energía solar a otras de mayor utilidad.

Los sistemas híbridos necesitan de un circuito de circulación forzado que recorre por la parte trasera del módulo (en contacto con la célula FV) para su enfriamiento, ganando energía térmica durante el proceso que luego es almacenada en tanques acumuladores similar a como se hace en sistemas para ACS convencionales. Al proceso anterior también se le llama “cogeneración de energía” ya que se obtiene, en un mismo dispositivo y de forma simultánea, electricidad y calor útil.

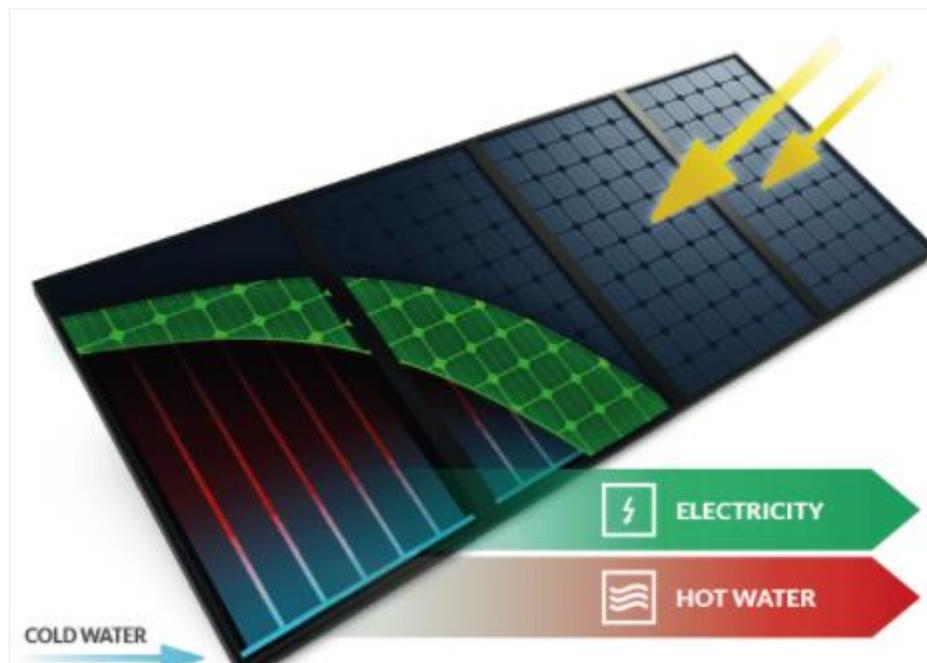


Figura 8 Esquema básico de un captador híbrido para generar electricidad y agua caliente con una única instalación (ABORA, s.f.)

7.7. Ventajas de un Sistema Solar Híbrido Térmico Fotovoltaico (PV-T)

El uso de un sistema PV-T presenta las ventajas siguientes:

- Mayor eficiencia global del sistema (producción de energía eléctrica y térmica de forma simultánea para una misma entrada de energía solar).
- Aumento en la potencia fotovoltaica del módulo y mayor tiempo de vida útil, al disminuir la temperatura de funcionamiento.
- Calentamiento de agua y producción de energía eléctrica para uso industrial y doméstico en un solo sistema.
- Reduce significativamente el riesgo de sobrecalentamiento de ACS.
- Reducción de espacio y costos requeridos para la instalación del colector térmico y módulo fotovoltaico.
- Menor impacto ambiental.
- Menores costos de operación y mantenimiento.

7.8. Aspectos Ambientales del Aprovechamiento de la Radiación Solar

Si se quiere reducir el consumo de los recursos no renovables y preservar el ambiente, es necesario incorporar las energías renovables en el nivel urbano.

La energía solar tiene como ventajas respecto de otras fuentes, una elevada calidad energética, un impacto ambiental prácticamente nulo y ser un recurso inagotable. El generar energía térmica sin que exista un proceso de combustión, supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio y no producir contaminación.

Por su parte, para la construcción de los sistemas solares térmicos hay que usar materiales de cobre, aluminio, hierro, vidrio y aislantes que pueden producir efectos ambientales negativos durante su fabricación; sin embargo, todos esos procesos son mucho menos contaminantes y peligrosos que las fuentes energéticas convencionales.

7.9. Marco Normativo Aplicada al Proyecto (UPR)

En cuanto al aspecto de legislación aplicable a las instalaciones FV para autoconsumo, existe la “Norma para los Usuarios Finales Productores con Energía Renovable” o UPR, que establece los procedimientos, requisitos y responsabilidades aplicables a la conexión, operación, control y compensación de los excedentes temporales de Sistemas de Generación Eléctrica basados en Recursos Renovables y que se conectan a la red de distribución eléctrica.

La ley entró en vigor en octubre de 2017, y se aplica a sistemas de generación renovable ubicados dentro de las instalaciones de un usuario final productor renovable (UPR), quien instala el sistema de generación con el objeto de abastecer su demanda interna (autoconsumo) y que, bajo una condición temporal y excepcional, por un periodo corto de tiempo podría inyectar excedentes de energía a la red de distribución eléctrica sin fines netamente comerciales.

Por lo tanto, la norma UPR únicamente aplica a instalaciones con energía renovable para producción de electricidad, por lo que la propuesta planteada en este documento ha sido analizada tomando en cuenta todas las consideraciones que dicha Norma contiene.

8. Análisis de Información Recopilada

La información técnica recopilada para el dimensionamiento del área para hidroterapia está relacionada con la base de datos de la cantidad de pacientes que fueron tratados por fracturas y quemaduras, principalmente, así como también información relacionada con la demanda de energía eléctrica del hospital y de las condiciones en que es brindado el suministro de energía eléctrica por parte de la distribuidora CAESS. Toda la información anterior fue el insumo para realizar el planteamiento de la propuesta técnica.

A continuación, se presenta el análisis de cada una de la información proporcionada.

8.1. Análisis de la Demanda de Atenciones a Pacientes

El HNNBB, es un hospital especializado del 3er nivel de atención, cuya oferta de servicios se concentra en atenciones de Medicina Interna, Oncología, Hematología, Nefrología, Infectología, Neonatología; así también se cuenta con servicios de especialidades quirúrgicas, en donde se atiende pacientes de cirugía General.

Las atenciones en salud se han ido reorientando, debido a la transición epidemiológica y demográfica, que el país está experimentando, y que impacta un segmento importante de la población concentrada en el segmento de 10 a 18 años, lo que implica el incremento en la atención.

A nivel de la región centroamericana, el HNNBB es reconocido como un centro de excelencia en la atención pediátrica especializada, situación que promueve migración de población usuaria de los servicios de salud de países centroamericanos, que son referidos a dicho hospital, entre los cuales se identifica a Honduras, Guatemala, Nicaragua.

Es importante considerar que el Hospital no cuenta con una población fija de adscripción hospitalaria, ya que, por ser el único Hospital pediátrico de Referencia Nacional, está destinado a atender toda la población del país, lo cual, al evaluar el volumen, los resultados denotan que la población atendida en emergencia, Hospitalización y consulta externa sobrepasa la capacidad instalada, especialmente en cierta época del año.

De ahí la importancia de realizar una adecuada referencia de pacientes, y sobre todo la coordinación con los establecimientos de salud del 1er. y 2do. nivel de atención, de modo que sean prioridad a aquellos pacientes con diagnósticos complejos.

Al revisar los datos de la población atendida, se observó que la población atendida tiene características propias que determinan las necesidades de atención, principalmente por la complejidad de las patologías de los pacientes que consultan, y que va de acuerdo con la oferta de servicios de la institución.

Tabla 1 Número de pacientes atendidos durante el año 2019 (HNNBB, 2020)

| | |
|-------|---------|
| Ene | 17,450 |
| Feb | 16,240 |
| Marz | 16,928 |
| Abril | 14,049 |
| May | 16,504 |
| Jun | 15,636 |
| Jul | 17,750 |
| Ago. | 14,522 |
| Sept. | 16,272 |
| Oct. | 17,628 |
| Nov. | N/D |
| Dic | N/D |
| Total | 162,979 |

Para el caso que nos compete en este trabajo de graduación se solicitó a las autoridades del HNNBB la base de datos relacionada con las consultas atendidas en dicho hospital relacionadas con fracturas y quemaduras, padecimientos que requieren rehabilitaciones utilizando la técnica con especialistas en fisioterapias y la utilización de equipos de hidroterapias.

En respuesta, los representantes de dicho hospital, proporcionaron la base de datos conteniendo la información relacionada a las lesiones por fracturas atendidas. Con relación a las atenciones por quemaduras, se manifestó que en el servicio de cirugía plástica se atendieron 378 pacientes con quemaduras graves y que los pacientes que quedan con secuelas de movilidad por las quemaduras son referidos al departamento de fisioterapia siempre en el HNNBB, esta área no cuenta con ningún sistema ni equipos de hidroterapia.

En las tablas siguientes se observan las caracterizaciones de forma general de la población atendida en el HNNBB, de enero a octubre del 2019, de acuerdo con su edad, sexo y procedencia. Para realizar esta caracterización se consideraron las dos áreas que son punto de entrada en la atención como son: los egresos y emergencia.

De dichas tablas se obtiene la siguiente información:

- **Cantidad de pacientes atendidos:**

Los pacientes con egresos para 2019 fueron de 683, entre las edades de 0 a 17 años. Lo anterior expuesto se presenta en la tabla 3.

Tabla 2 Cantidad de pacientes atendidos en el año 2019 (HNNBB, 2020).

| EDAD DEL PACIENTE | CANTIDAD DE PACIENTES ATENDIDOS | PORCENTAJE DE PACIENTES ATENDIDOS |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| MENOR DE 1 AÑO | 23 | 3.61% |
| DE 1 A 4 AÑOS | 176 | 27.59% |
| DE 5 A 9 AÑOS | 286 | 44.83% |
| DE 10 A 14 AÑOS | 148 | 23.20% |
| DE 15 A 17 AÑOS | 5 | 0.78% |
| TOTAL, | 638 | 100% |

- **Emergencias**

La cantidad de pacientes atendidos en el año 2019 en el área de emergencia fue de 830, entre las edades de 0 a 14 años se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3 Cantidad de pacientes atendidos en el año 2019 en el área de emergencia entre las edades de 0 a 14 años (HNNBB, 2020).

| EDAD DEL PACIENTE | CANTIDAD DE PACIENTES ATENDIDOS | PORCENTAJE DE PACIENTES ATENDIDOS |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| MENOR DE 1 AÑO | 29 | 3.49% |
| DE 1 A 4 AÑOS | 238 | 28.67% |
| DE 5 A 9 AÑOS | 376 | 45.30% |
| DE 10 A 14 AÑOS | 187 | 22.53% |
| DE 15 A MAS | 0 | 0.00% |
| TOTAL | 830 | 100% |

A continuación, se presenta el resumen del consolidado de Egresos y Emergencias en el cual se aprecia el total de consultas y atenciones realizadas en el año 2019.

Tabla 4 Consolidado de egresos más emergencias (HNNBB, 2020).

| EDAD DEL PACIENTE | CANTIDAD DE PACIENTES ATENDIDOS | PORCENTAJE DE PACIENTES ATENDIDOS |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| MENOR DE 1 AÑO | 52 | 3.54% |
| DE 1 A 4 AÑOS | 414 | 28.20% |
| DE 5 A 9 AÑOS | 662 | 45.10% |
| DE 10 A 14 AÑOS | 335 | 22.82% |
| DE 15 A MAS | 5 | 0.34% |
| TOTAL | 1468 | 100% |

En conclusión, se atendieron la cantidad de 378 pacientes por quemaduras graves más 1468 pacientes por fracturas de todo tipo, haciendo un total de 1846 pacientes, de los cuales muchos de estos requirieron tratamientos especializados en el área de fisioterapia utilizando equipos para hidroterapia que facilitarían la pronta recuperación del paciente.

De acuerdo a la información contenida en el documento denominado (HNNBB, 2020) en el que se establece que el número de pacientes que asistieron a una consulta y que recibieron atención medica en el hospital fue de 162,979.0 y dentro de estos la existencia de 1846 con necesidades de requerir los servicios de fisioterapia y referidos al área de hidroterapia, lo cual refleja que el 1.13% de la población atendida en el 2019 requirió los servicios de fisioterapia y por consiguiente la existencia de la necesidad de un tratamiento con técnicas de hidroterapia utilizando agua caliente sanitaria.

Otro dato importante es al que se refiere al servicio de Cirugía Plástica, el cual se encuentra ubicado en el en sexto nivel de la torre del HNNBB, este servicio cuenta con 16 cunas, dentro del área de servicio existe un cubículo de aproximadamente 4 m² con una pequeña tina, la cual se utiliza para tratar al paciente, introduciéndolo en la tina cubierta con agua a una temperatura de 36 a 37 °C, previo a la curación de las quemaduras. La utilización de la tina con agua a temperatura requerida es utilizada por un paciente a la vez, con el propósito de facilitar la remoción del vendaje adherido a la piel del paciente que sirve para cubrir las quemaduras y evitar posibles infecciones en la piel, dicha práctica se realiza en un lapso de 30 minutos por cada paciente.

Luego de practicada las curaciones respectivas a los pacientes, se establece como norma que los pacientes que quedan con secuelas de movilidad por las quemaduras y son referidos al Departamento de fisioterapia del HNNBB, cabe señalar que dicho departamento no cuenta con un área específica para realizar las rehabilitaciones por medio de hidroterapia.

En conclusión, de acuerdo a la información verificada se determinó que la cantidad de pacientes atendidos por diferentes tipos de fracturas en las partes del cuerpo ya sea en miembros inferiores, superiores o craneales, o tratamientos por quemaduras de primer grado o segundo grado sufridas por el paciente, requieren un tratamiento especializado para su recuperación, utilizando la técnica y equipos para el uso de Hidroterapia con Agua Caliente Sanitaria, condición que el HNNBB en la actualidad no cuenta.

Por lo anterior, nuestro trabajo brindará una propuesta conteniendo el espacio mínimo requerido de trabajo denominado sala de hidroterapia con sus instalaciones básicas, así como la cantidad y ubicación de los equipos mínimos requeridos incluyendo los requisitos técnicos para el buen funcionamiento de estos.

8.2. Análisis de la Demanda de Energía Eléctrica

Como toda edificación actual, dentro del HNNBB existen dos tipos de energías que se consumen de forma continua: la eléctrica y/o térmica. La primera permite el accionamiento de todos los equipos eléctricos y electrónicos, y la térmica, generalmente empleando vapor producido en calderas convencionales, se emplean en área como la cocción de alimentos, en duchas para pacientes y, en menor grado, en el tratamiento como analgésico en pacientes con quemaduras, fractura y otros tratamientos en la piel. Tanto el suministro de energía eléctrica como térmica está centralizado y ésta se suministra a los diferentes puntos de consumo.

Dentro de la información brindada por representantes del HNNBB, se encuentra el informe: Calidad de energía eléctrica, realizado por la empresa distribuidora CAESS, S.A. de C.V., al servicio eléctrico a NIC 2500668, en el período comprendido entre el 23 al 30 de septiembre 2020. Para el análisis, se instaló un analizador de calidad de energía autorizado y registrado por la SIGET el punto de acople común entre la distribuidora y el

del usuario, en este caso el del Hospital (ubicado en la torre del hospital). Todo lo anterior se basó en los Acuerdos 192-E-2004, para regulación de tensión y el Acuerdo No. 320- E-2011, referente a las Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución y a la Metodología para el Control de la Calidad del Producto Técnico Referente a la Campaña de Perturbaciones.

Con base información proporcionada por CAESS, en el suministro brindado al HNNBB, la energía suministrada no presenta irregularidades que estén fuera de la normativa aplicable por la SIGET, durante el período de análisis, ya que el perfil de tensión en mediana tensión (MT) no transgrede los límites permisibles respecto a Normativa de Regulación de Tensión y, además, la tasa de distorsión armónica de voltaje cumple con el parámetro definido por la norma y el Factor de Potencia registrado dentro del estudio es mayor que 0.975.

Por lo anterior la distribuidora CAESS estableció que el suministro eléctrico brindado al HNNBB cumple con lo establecido en las Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución y a la Metodología para el Control de la Calidad del Producto Técnico Referente a la Campaña de Perturbaciones.

Dentro de la investigación se realizaron las gestiones para la instalación de un analizador de redes en el suministro medido por la distribuidora y de esta manera poder validar lo registrado por ésta, lo cual no fue posible debido a las estrictas restricciones implementadas por el Ministerio de Salud a nivel nacional, debido a la pandemia por COVID -19, entre las cuales se encontraba el ingresos a terceros, por lo que el análisis de demanda eléctrica está basado en la información proporcionada por la distribuidora de energía eléctrica al HNNBB.

Un aspecto destacable es que, a pesar de que el HNNBB cuenta con varias subestaciones eléctricas, no se tiene un registro de la energía consumida por área de atención, como, por ejemplo: cirugía, pediatría, área de quemados, etc., con lo cual se complica la cuantificación del consumo por área de especialidad. Igual es el caso del suministro de vapor. Por lo anterior, se decidió hacer una propuesta consistiendo en el diseño de un área especializada para hidroterapia con su propio sistema de abastecimiento

de energía térmica y eléctrica cuyos excedentes de energía eléctrica sean consumidos dentro de las instalaciones del hospital.

9. Elaboración de Propuesta Técnica

Para la definición de la propuesta de solución fue necesario realizar consultas con el personal del departamento de fisioterapia del hospital y así se obtuvo información de los equipos con que actualmente cuenta dicha área y de estos los que están en funcionamiento. En dichas consultas se determinó que el hospital no cuenta con el mínimo de los equipos necesarios y con un área dedicada al tratamiento de rehabilitación de pacientes por medio de la técnica de hidroterapia.

Por lo antes expuesto se incluyó en los alcances de este trabajo de graduación la propuesta de diseño de un área para la atención de pacientes en rehabilitación por medio de hidroterapia con agua caliente, así como también la determinación de la cantidad de equipos recomendados a instalar para cubrir la demanda estimada de pacientes y así dar vida al área de hidroterapia que en la actualidad ha sido desarticulada.

Para la determinación de la cantidad de equipos se tomó como referencia la cantidad de pacientes atendidos mensualmente durante el periodo 2019 (HNNBB, 2020) y que se presume requirieron hidroterapia. Con base en lo anterior se determinó la cantidad de agua caliente para uso diario, así como su forma de obtención que para el caso de estudio se ha considerado el uso de caldera eléctrica para producción de ACS empleado energía de un generador FV, implantación de un sistema combinado (FV y termo solar) y, por último, la implantación de un sistema híbrido (FV y PV-T).

Independientemente del tipo de sistema a implementar para la producción ACS, el cual dependerá de la factibilidad técnica y económica, lo que se busca es maximizar la producción de energía en el espacio útil de techo disponible donde se instalará el equipo para ACS.

Al respecto de lo anterior, en la Figura 9 se identifican las principales edificaciones del HNNBB en cuyas cubiertas se evaluó la instalación de los equipos para producción de ACS.

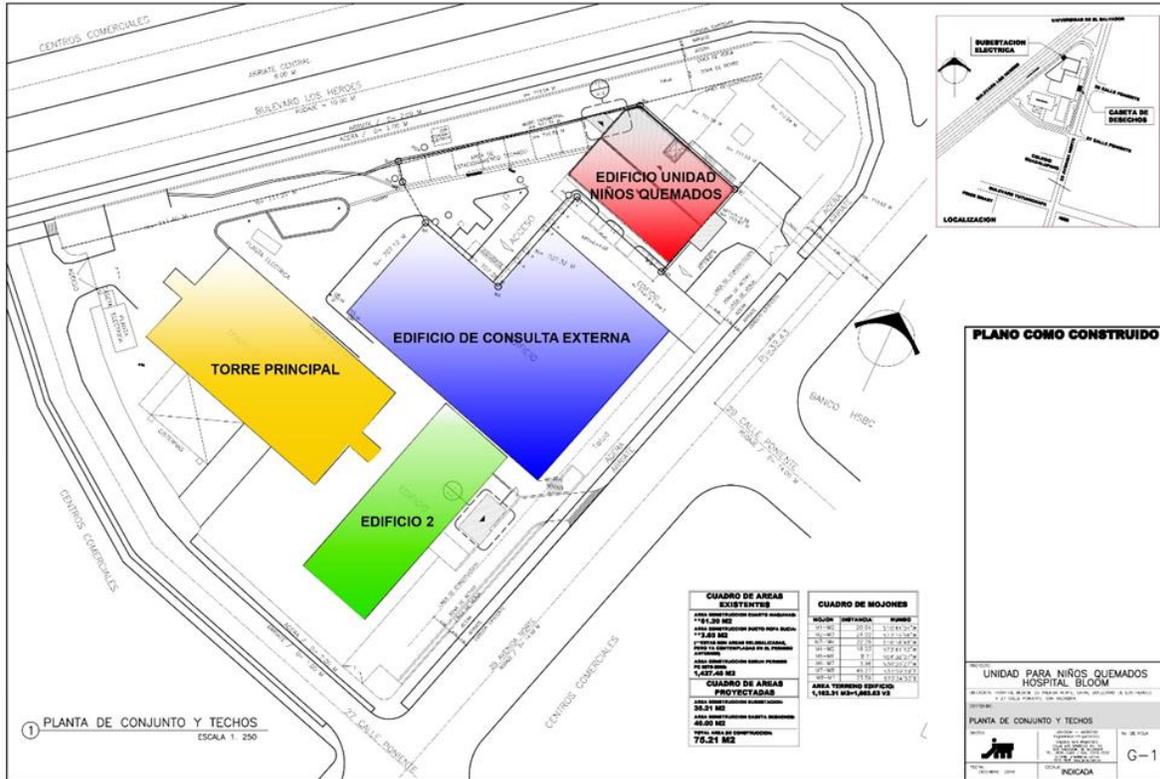


Figura 9 Planta de Conjunto y Techos. Ubicación de la Unidad para niños quemados (Archivos del Hospital Benjamín Bloom)

9.1. Selección de la Cubierta de Techo

Para determinar la ubicación más adecuada para el área de hidroterapia a proponer se realizó una evaluación matricial de los cuatro edificios principales: La torre principal, el edificio de consulta externa, edificio dos y el edificio de la Unidad para Niños Quemados. Para la selección del espacio se considerando aspectos funcionales y espaciales tales como: adecuación del espacio para la instalación del sistema para producción de ACS para hidroterapia, la disponibilidad de área para la instalación de módulo FV y/o captadores solares, Cantidad de irradiancia solar recibida y proyección e sombras, distancia de ductos o conductores desde los posibles puntos de producción de ACS hasta los punto de consumo, accesibilidad del área de instalación para efectos de monitoreo y mantenimiento.

El método de selección es cuantitativo y para ello se le asigna un valor de cero (0) si la evaluación del criterio es mala, uno (1) si es regular y dos (2) si es buena. El resultado obtenido para la cubierta de los cuatro edificios de la Figura 9 reflejó que la ubicación más

adecuada para implementar el sistema de ACS es el edificio para la Unidad de Niños Quemados obteniendo 10 puntos de 10 posibles.

A continuación, se presenta el cuadro de matriz de evaluación y las consideraciones tomadas.

| MATRIZ DE EVALUACION DE EDIFICIOS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN DE HIDROTERAPIA | | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------|-------------------------|---------------|-------|
| SITIO: | HOSPITAL BENJAMIN BLOOM | | | | | |
| DIRECCION: | 25 AVENIDA NORTE, SAN SALVADOR | | | | | |
| PONDERACION: | MALO | 0 | REGULAR | 1 | BUENO | 2 |
| EDIFICIO | ESPACIO ADECUADO | AREA PARA PANELES | SOLEAMIENTO | DISTANCIA DE SUMINISTRO | ACCESIBILIDAD | TOTAL |
| TORRE PRINCIPAL | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 4 |
| EDIFICIO DE QUEMADOS | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| EDIFICIO DE CONSULTA EXT. | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 7 |
| EDIFICIO 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| CONSIDERACIONES: | | | | | | |
| ESPACIO ADECUADO: | EL AREA DE QUEMADOS POSEE UNA RELACION DIRECTA CON EL ÁREA DE HIDROTERAPIA. | | | | | |
| AREA PARA PANELES: | LA TORRE POSEE POCA AREA PARA LA INSTALACION DE PANELES, EL EDIFICIO DE QUEMADOS, EL EDIFICIO DE CONSULTA EXTERNA POSEEN AREA ADECUADA PARA LA INSTALACION DE PANELES | | | | | |
| SOLEAMIENTO: | EL EDIFICIO DE QUEMADOS TIENE MEJOR ASOLEAMIENTO QUE LOS DEMAS PORQUE ESTÁ FUERA DE LA PROYECCIÓN DE LA SOMBRA DE LA TORRE | | | | | |
| DISTANCIA DE SUMINISTRO: | LA DISTANCIA ENTRE LOS PANELES Y EL PUNTO DE SUMINISTRO ES ADECUADA PARA EL EDIFICIO DE QUEMADOS Y EL EDIFICIO DE CONSULTA EXTERNA. | | | | | |
| ACCESIBILIDAD: | EL EDIFICIO DE QUEMADOS Y LA TORRE PRINCIPAL POSEEN CARACTERISTICAS DE ACCESIBILIDAD ADECUADA | | | | | |

Figura 10: Matriz de evaluación de edificios para determinar la ubicación del área de hidroterapia (Elaboración propia)

Actualmente el edificio seleccionado para implementar el proyecto es utilizado para el cuidado de pacientes con COVID-19 razón por la cual no fue posible verificar la información como planos “como construido”, proporcionada por las autoridades del HNNBB. El área de techo realmente aprovechable es 452.34 m², de cuya superficie se utilizará la porción óptima para la distribución del módulo y/o captadores propuestos para generar la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS. Adicionalmente se utilizó una planta arquitectónica del edificio seleccionado para la propuesta de área para hidroterapia con su distribución de equipos.

9.2. Selección de Equipos para Área de Hidroterapia

Para la aplicación de los principios físicos de la hidroterapia es necesario contar con el personal entrenado y equipo adecuado que garantice al paciente una atención de calidad para una pronta recuperación.

A continuación, se describen cada uno de los equipos que se consideran esenciales para formar parte del área de fisioterapia del HNNBB

- **Hidroterapia Tinas de Hubbard**

Las tinas de Hubbard se utilizan desde hace años para permitir que los pacientes que requieran de un cuidado especial disfruten de atención particular por parte del terapeuta y así realizar los ejercicios en un ambiente acuático. El agua proporciona una resistencia suave ayudando al relajamiento del paciente.

Además de lo antes expuesto, estas tinas permiten al paciente iniciar la rehabilitación incluso cuando se encuentra demasiado débil para realizar los ejercicios, al mismo tiempo que admite movimientos corporales sin necesidad que el terapeuta se introduzca al agua. El paciente realiza ejercicios con un espacio adecuado, acostado sobre una base sólida, generalmente de acero inoxidable.

Las Tinas de Hubbard funcionan por medio de corrientes de agua aplicadas por medio de tuberías bajo el agua. Con una adecuada temperatura del agua y gracias a sus efectos termales y mecánicos se consigue una total relajación de músculos y articulaciones.

La temperatura que se maneja generalmente en las terapias es de 36 a 38 °C para los pacientes espásticos, y de 32 a 34 °C para los pacientes flácidos.

- **Tanque de Remolino**

Estos son recipientes equipados con motores-bomba de caudal ajustable, poseen la característica de poder variar la altura de estos y con ello adaptarse a la extremidad a tratar.

Cuentan con mecanismos de seguridad eléctrica entre bomba y motor para protección del paciente y del equipo.

En los tanques de remolino el agua está caliente y en agitación constante, por la inyección de un chorro de agua subacuático, produciendo un micro masaje de carácter mucho más suave que el masaje manual. Se utiliza como medio de preparación del paciente para otras técnicas hidroterápicas. Este tipo de aplicación se basa en la presión hidrostática y en la temperatura del agua (generalmente de 40 a 50°C), produciendo un efecto de masaje sobre la zona a tratar y estimulando el trofismo.

- **Tina para miembros Inferiores**

Se requiere para la estimulación de la circulación y aliviar el dolor, mediante la exploración de la reacción del cuerpo a los estímulos ejercidos por la presión de agua y calor.

- **Tina para Hidroterapia del Cuerpo Entero**

Indicada para tratar diversos problemas del aparato locomotor como: lesiones óseas, fracturas, esguinces, lesiones musculares, lesiones articulares, enfermedades reumáticas, lumbalgias, etc.

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los equipos de rehabilitación con sus características técnicas propuestos para el área de hidroterapia.

Tabla 5 Especificaciones técnicas de equipos propuestos para la implementación del área de hidroterapia (Fisiolab, 2018).

| EQUIPO | DESCRIPCION TECNICA | FIGURA |
|--|---|---|
| <p>TINAS DE HUBBARD</p> | <p>Especificaciones:</p> <p>Capacidad: 1,608.8 litros.</p> <p>Largo: 269.24 cm.</p> <p>Ancho: 195.58 cm.</p> <p>Alto: 55.88 cm.</p> <p>Acero inoxidable.</p> <p>Alimentación Eléctrica: 127 V.</p> |  <p>(Fisiolab, 2018)</p> |
| <p>TANQUE DE REMOLINO</p> | <p>Especificaciones:</p> <p>Dimensiones: 55.88 × 33.02 × 55.88 cm.</p> <p>Capacidad: 10 galones, modelo móvil</p> |  <p>(Fisiolab, 2018)</p> |
| <p>TINA PARA HIDROTERAPIA DE MIEMBROS INFERIORES</p> | <p>Tanque construido en acero inoxidable</p> <p>Especificaciones:</p> <p>Capacidad: 270 litros</p> <p>Dimensiones: 90 x 50 x 70 cm</p> <p>Alimentación eléctrica: 110/220 Vac (monofásico).</p> <p>Consumo máximo: 800 VA.</p> <p>Motor: 1/2 HP</p> <p>Peso líquido: 17 kg.</p> |  <p>(Fisiolab, 2018)</p> |
| <p>TINA PARA HIDROTERAPIA DEL CUERPO ENTERO</p> | <p>Especificaciones:</p> <p>Capacidad: 300 litros.</p> <p>Dimensiones: 150 x 60 x 50 cm.</p> <p>Alimentación eléctrica: 110/220 Vac (monofásico).</p> <p>Frecuencia de operación: 60 Hz</p> <p>Consumo máximo: 800 VA.</p> <p>Motor: 1/2 HP 3450 RPM (permanentemente lubricado).</p> <p>Peso líquido: 17Kg.</p> |  <p>(Fisiolab, 2018)</p> |

9.3. Estimación de la Cantidad de Equipos para área de Hidroterapia

El tipo y cantidad de equipos recomendados a instalar está basado en la cantidad de pacientes y tipo de padecimientos atendidos mensualmente (HNNBB, 2020), misma información que también es útil para el cálculo de la cantidad ACS requerida a la temperatura de consumo (37 °C) para la atención de los pacientes del hospital en el área de atención proyectada. De acuerdo con lo anterior, los equipos considerados son los siguientes: tres tinas para miembros superiores identificado con el código E-15-M; tres equipos para tratamiento con hidroterapia para miembros inferiores identificados con el código E-15-M y cuatro equipos para tratamiento con hidroterapia para miembros inferiores código L-75-M para cuerpo entero. El resumen de los equipos y la estimación de la cantidad de agua son presentados en la Tabla 6.

*Tabla 6 Resumen de las características principales de los equipos para el área de hidroterapia y su consumo de agua
Fuente: Cálculo propio.*

| Código de equipos | Cantidad de equipos | Tratamientos diarios por unidad | Subtotal de tratamientos diarios | Subtotal de tratamientos mensuales | Demanda | |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | | | de agua por unidad (gal) | Demanda de agua (gal/día) |
| E-15-M | 3 | 6 | 18 | 432 | 15 | 270.0 |
| E-15-M | 3 | 6 | 18 | 432 | 15 | 270.0 |
| L-75-M | 4 | 6 | 24 | 576 | 75 | 1,800.0 |
| TOTAL | | | 60 | 1,440.0 | | 2,340.0 |

El total de agua a 37 °C requerida es de 2,374.0 galones (8.85 m³). La cantidad de agua anteriormente calculada es una mezcla entre agua almacenada a una mayor temperatura (aproximadamente a 50 °C) y agua a temperatura de red pública con temperatura promedio de 23 °C. Realizando un balance de masa y energía para las corrientes de flujo a la temperatura indicada, se estima que para producir 8.85 m³ a 37 °C se necesitará, aproximadamente la mezcla de 4.60 m³ de agua a 50 °C con el resto a 23 °C.

De acuerdo con lo anterior, del total de agua que consumirá la instalación, el 52 % (4.60 m³) será la cantidad de agua a calentar hasta una temperatura igual o superior a 50 °C.

9.4. Propuesta de Distribución de Equipos

Como se mencionó en los antecedentes, a pesar de que en las instalaciones del HNNBB existe un área dedicada de fisioterapia para niños quemados, ésta no opera ya que no posee los equipos adecuados, ni cuenta con un área específica de atención, por lo que, como parte del alcance se incluye una propuesta de remodelación de un espacio donde se pueda brindar la rehabilitación de pacientes de forma cómoda y efectiva.

Dicha propuesta pretende además optimizar el trabajo que hará el personal del área de hidroterapia (técnicos, enfermeras y auxiliares) del Departamento de Pediatría, quienes concentran sus esfuerzos en las actividades propias de su puesto de trabajo en la atención de los pacientes, así como también podrán optimizar la entrega de las prescripciones médicas en beneficio de los pacientes que incluirán en el futuro tratamientos de hidroterapia y procesos de higiene específicos en el área de Pediatría, con la seguridad de que se dispone de un área para hidroterapia que cuenta con agua caliente a temperaturas según protocolo y en cantidad suficiente para realizarlas.

A continuación, se presenta la propuesta de la distribución de equipos para el área de hidroterapia en el HNNBB. El espacio considerado es el acotado de la Figura 11 y corresponde a una planta del edificio para atención de niños quemados.

La propuesta incluye un área para recepción de pacientes, área de atención por tipo de padecimiento en cubículos privados, área de desvestideros y para almacenamiento de equipo de primera necesidad. Adicionalmente, deberá incluir el acondicionamiento de un área para la ubicación de calderas eléctricas, tanques de almacenamiento de ACS, sala de bombas, cuadro eléctrico y de control.

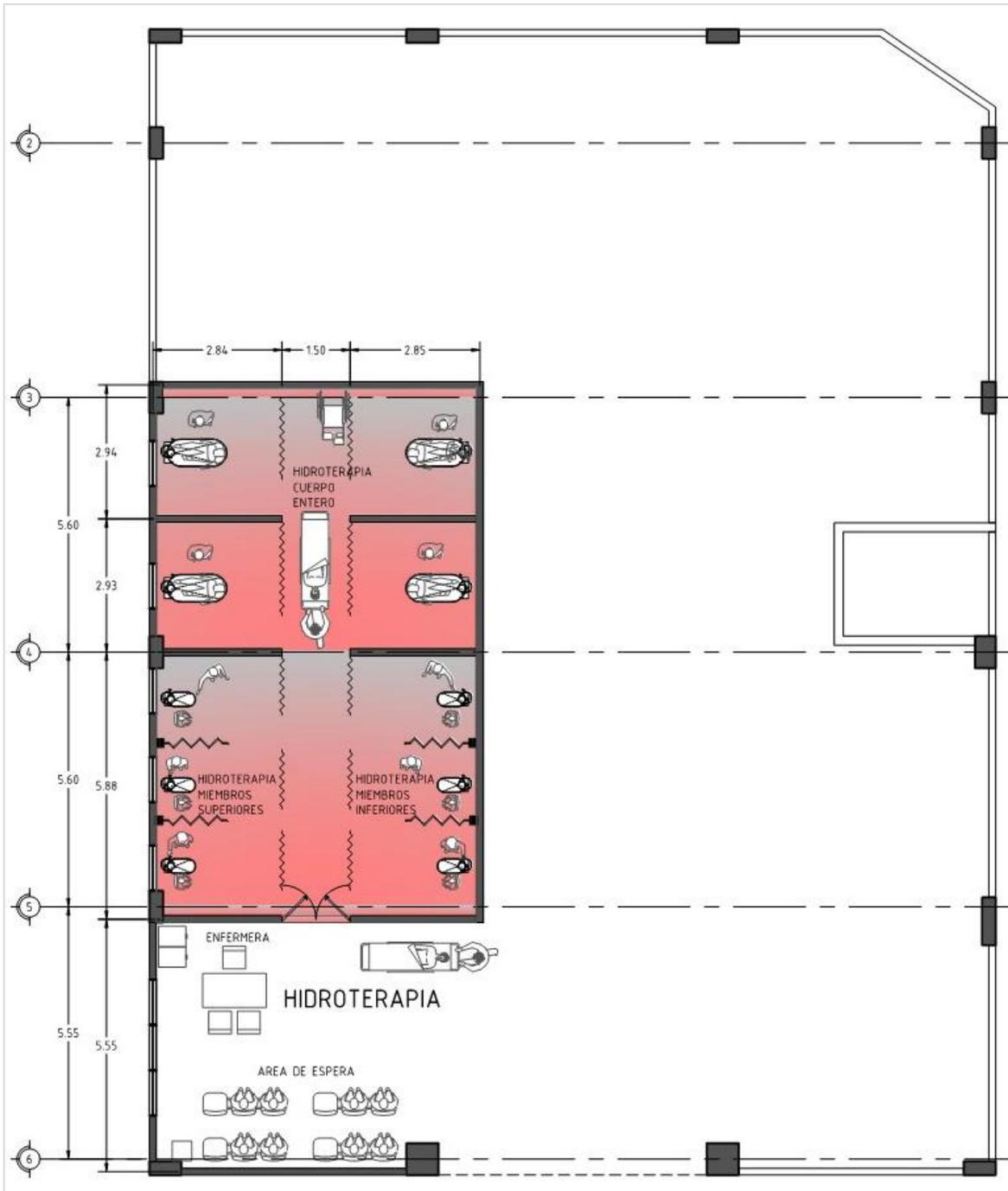


Figura 11 Plano de distribución de equipos y área (128 m²) dedicada a las actividades de fisioterapia (Elaboración propia basada en la sección del edificio para atención de paciente con quemaduras).

9.5. Propuestas para el Aprovechamiento de la Energía Solar

Al analizar las necesidades energéticas del HNNBB, estas se resumen en energía térmica y eléctrica, la primera generada mediante la quema de combustible fósil (HFO) y la eléctrica que es suministrada por la distribuidora de energía eléctrica CAESS. Mediante la implementación del proyecto se pretende instalar un sistema para aprovechamiento de la energía solar tanto para producción de energía eléctrica como térmica, ya sea mediante tecnología FV, termo-solar o híbrida. Por lo anterior se plantean los escenarios siguientes:

1. Sistema FV: Producción de electricidad mediante un generador FV cuya energía eléctrica se utiliza para alimentar las cargas eléctricas como luminarias y otros, así como también la producción de agua caliente mediante una caldera eléctrica.
2. Sistema Combinado: Producción de electricidad mediante un generador FV y energía térmica con captadores termo solares para-ACS para suplir la demanda térmica.
3. Sistema híbrido: Producción de energía eléctrica y térmica empleando tecnología de captador híbrido o PV-T según la demanda térmica a cubrir, completando el área de techo disponible con tecnología FV.

Para todas las propuestas se parte de la misma área de techo disponible, realizando la distribución de los equipos según la propuesta para la implementación del proyecto.

9.5.1. Propuesta de Sistema FV para Producción de ACS

En la presente investigación se analizó la factibilidad de instalar un sistema FV conectado a la red eléctrica interna del edificio del HNNBB para reducir el consumo energético tomando en consideración los aspectos técnicos y económicos inherentes.

Como parte del análisis se analizó la información de consumo de energía teórica vinculada con la torre del hospital, información brindada del estudio de energía realizado por la distribuidora de energía eléctrica que brinda el servicio al hospital. Por medio de la información proporcionada se determinó que la potencia demandada es de 1.4 MWe. según norma UPR, la potencia antes citada es potencia FV máxima que podría ser instalada en el lugar. Con base a lo anterior y tomando en cuenta el área real disponible de techo para la

instalación de módulos FV (ver Figura 2), se estableció que se requiere mucha más área de techo de la que actualmente está disponible en el HNNBB. Lo anterior confirma la idea que la instalación FV a proponer estará limitada por el área disponible de techos con características que favorezcan el aprovechamiento de la radiación solar como, por ejemplo, el techo del edificio para pacientes con quemaduras.

La propuesta planteada como escenario uno, considera la factibilidad técnica y económica de la producción de ACS con calderas eléctricas alimentadas con un sistema solar fotovoltaico e inyección de los excedentes de energía a la red interna para autoconsumo. Entre las ventajas que presentaría un sistema como el propuesto se listan las siguientes:

- Se simplifica el área para producción de ACS ya que el elemento calefactor se instala en los tanques de ACS y éste se conecta al inversor del sistema FV que gestiona la energía aportada al sistema.
- Sistema escalable en función de la demanda de energía térmica.
- El sistema almacena la energía de la radiación solar en energía térmica en los tanques acumuladores.
- Un sistema más sencillo de operar, mantener y seguro ante el sobrecalentamiento de ACS.

A modo de ejemplo, en la Figura 12 se presenta un esquema de una instalación foto-termia con tecnología del fabricante FRONIUS el cual gestiona todos los excedentes mediante un derivador de energía eléctrica denominado FRONIUS OHMPILOT que alimenta una resistencia eléctrica dentro de un termo tanque para producción de ACS, todo a través del generador FV.

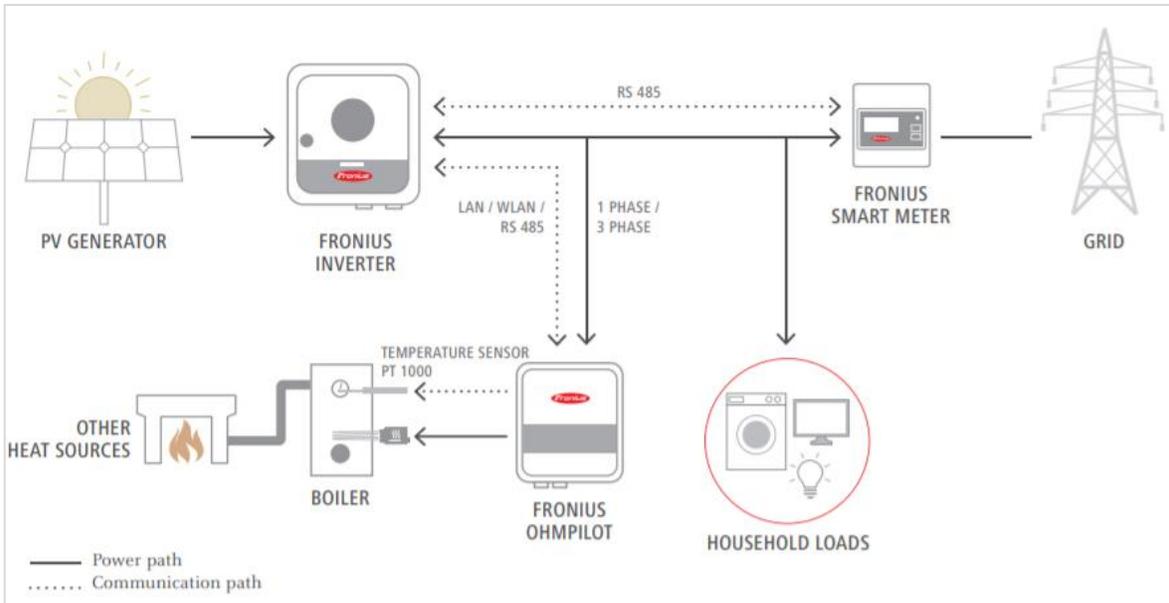


Figura 12 Esquema de una instalación para foto termia (PV-Heating) con tecnología Fronius (FRONIUS, 2021).

9.5.2. Pre-dimensionamiento del Sistema FV

Como primer paso para el dimensionamiento del sistema FV se seleccionó el módulo JINKO SOLAR JKM 440M – 60HL4 de 440 W_p de 2.158 m^2 con excelentes características como calidad, garantía de suministro y potencia respecto a su peso. Considerando un área de cubierta de techo neta de 271.9 m^2 (ver Figura 2) para instalación de módulos FV, la cantidad máxima de módulos a instalar es de 126 módulos, que hacen una potencia total de 55.4 kW_p en condiciones STC.

El dimensionamiento completo del generador FV se presenta a continuación, el cual fue verificado mediante el software HELIOSCOPE (ver Anexo 12), herramienta informática especializada para el diseño de generadores FV. El procedimiento utilizado para el cálculo del generador fotovoltaico se detalla a continuación.

9.5.2.1. Procedimiento de Dimensionamiento del Generador FV

Para el dimensionamiento del sistema FV a instalar en la cubierta del área para quemados del HNNBB se siguió el procedimiento siguiente:

Paso 1: selección del Panel Fotovoltaico

Consultando las tendencias actuales en cuenta al desarrollo de la tecnología de módulos fotovoltaica para el uso en plantas industriales, las características técnicas que se buscaron en el módulo seleccionado son las siguientes:

- Módulos Mono cristalinos tipo PERC (Passivated Emitter Rear Cell) de célula partida (HC) y de múltiples colectores de corriente o “multi-busbar”.
- Potencias entre 400 y 500 Wp.
- Tasa de degradación de potencia en 25 años: < 20%
- Bajo coeficiente de variación de voltaje con la temperatura :< -0.30 %/°C

Se realizó una búsqueda de fabricante de módulo con estas características, encontrando a *JINKO SOLAR*, quien además tiene un respaldo técnico de muchos años de investigación y desarrollo y garantía de suministro en el país.

Por lo anterior, se ha seleccionado el módulo *JINKO SOLAR JKM 440M – 60HL4*, y sus características principales son:

- Potencia Nominal en condiciones STC: 440 Wp
- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mpp}): 33.72 V_{dc}
- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}): 13.05 A
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): 41.02 V
- Corriente de corto circuito (I_{sc}): 13.73 A
- Coeficiente de temperatura de voltaje: -0.28 %/°C
- Tensión máxima del sistema: 600 V_{dc}
- Rango de temperatura de funcionamiento considerado será de 15 a 85 °C

Referente a los estándares de calidad el módulo FV, cumple tanto UL como IEC.

Paso 2: Cálculo de rango de voltaje de trabajo del módulo FV

El voltaje en la célula FV varía en función de la temperatura de la célula, esta es mayor a bajas temperatura y viceversa. Para determinar dicha variación de voltaje primero se determinó el rango de temperatura de operación de la célula el cual varía desde 15 °C hasta una máxima 85 °C.

La variación del voltaje se calculó empleando las ecuaciones siguientes:

Corrección de Voltaje de módulo por temperatura:

$$V_{oc_{Tmin}} = (V_{oc@STC}) + (\alpha) * (V_{oc@STC}) * (\Delta T)$$

$$V_{oc_{15^\circ C}} = (41.02) + (-0.28/100) * (41.02) * (15 - 85)$$

$$V_{oc_{15^\circ C}} = 42.17 V \leftarrow \text{Voltaje máximo de módulo.}$$

$$V_{mpp(Tmáx)} = (V_{mpp@STC}) + (\alpha) * (V_{mpp@STC}) * (\Delta T)$$

$$V_{mpp(85^\circ C)} = 33.72 + (-0.28/100) * (33.72) * (85 - 25)$$

$$V_{mpp(85^\circ C)} = 28.05 V \leftarrow \text{Voltaje mínimo de módulo}$$

Paso 3: Definición de la cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar

Con base a una distribución preliminar de módulos sobre el techo, teniendo en cuenta el pasillo para mantenimiento, canaletas para cables y posible proyección de sombras, la cantidad de módulos JKM 440M a instalar en el techo es 126. Por lo tanto, la potencia pico a instalar queda de la manera siguiente:

$$P_{Total} (W_p) = \#MFV * Pot \text{ de módulo } (W_p)$$

$$P_{Total} (W_p) = 126 * 440 W_p$$

$$P_{Total} (W_p) = 55.44 kW_p$$

La producción anual puede ser estimada si se sabe que, en el lugar, según (PVWATT, 2021), una instalación de 1 kWp instalado rendirá 1,613.16 kWh/kWp. Por lo tanto, 55.44 kWp generarán 89.37 MWh/año, dato que será verificado empleando un software especializado para dimensionamiento FV.

Paso 4: Selección del inversor

Para la selección del inversor se ha considerado el uso de un equipo con las características siguientes:

- Trifásico de onda sinusoidal completa y 60 Hz.
- Nivel superior de voltaje de corriente directa (DC) igual o superior a 600 V_{dc}
- Nivel de voltaje de arranque mínimo de 150 V_{dc}
- Relación de DC a AC mínima de 1.2
- Con al menos dos entradas MPPT.
- Eficiencia igual o superior a 98%.
- Rango de voltaje de AC 244 y 305 V_{ac}.

Por lo antes expuesto, se emplea un tipo de inversor SUNNY TRIPOWER 24000TL- US.

Los principales datos son los siguientes:

DATOS DE ENTRADA:

- Potencia máxima por arreglo: 30,000 W
- Voltaje máximo de entrada: 1000 V_{dc}*
- Rango de voltaje MPPT: 150 ~ 1000 V_{dc}
- Min. voltaje de arranque: 150 V_{dc}/188 V_{dc}
- Número de seguidores MPPT: 2
- Máxima corriente de entrada por MPPT: 66 Amp /33 Amp
- Corriente de corto circuito por MPPT/por entrada MPPT: 53 Amp/ 53 Amp.

DATOS DE SALIDA:

- Potencia eléctrica nominal AC de salida: 24000 W
- Máxima potencia aparente: 24,000 VA
- Voltaje por fase: 150 ~ 1000 V_{ac}
- Voltaje nominal: 480 V/277 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Máxima corriente de salida: 29 Amp.

Paso 5: Cálculo del Número de String

Un “string” o cadena es la cantidad de módulos fotovoltaicos que tiene conectados en serie cuya suma de voltaje generado por la cadena deberá ser mayor al voltaje mínimo de arranque del inversor y menor que el voltaje máximo de DC de éste.

Para el cálculo de módulo por “string” que se necesita se presenta el procedimiento siguiente.

Datos utilizados para el cálculo de string por MPPT

- Voltaje de DC para arranque del inversor: 150 Vdc, se emplea 180 Vdc.
- Voltaje de DC máximo del inversor: 1000 Vdc, se emplea 900 Vdc.

$$\#m\acute{a}x \text{ MFV en serie} = V_{DC-max \text{ inv.}} / V_{oc} @ T_{min} = 900/42.16 = 21.345 \Rightarrow 21$$

$$\#m\acute{i}n \text{ de MFV para arranque} = V_{DC-min \text{ inv.}} / V_{mpp} @ T_{m\acute{a}x} = 180/28.5 = 6.31 \Rightarrow 6$$

De acuerdo con el resultado, cada serie podrá constar de un mínimo de 6 y un máximo de 21 módulos conectados en serie.

Determinación del número de “string”

Con la potencia pico de 126 módulos JKM 440M correspondiente a 55.4 kWp, se necesitará un total de 2 inversores como el citado anteriormente de 24 kW de potencia nominal. La cantidad de String se definió en primer lugar haciendo una distribución equitativa de módulos por inversor y String. Por la cantidad de módulo por inversor queda de la siguiente manera:

- Módulo por inversor = n módulos / n inversores = 126/2= 63 módulos/inversor.
- Número de módulos por String de inversor = (n módulos/n inversor) / (n MPPT/n inversor).
- Número de módulos por String = (63) / (2) = 31.5 módulos por MPPT.

De acuerdo con el dato anterior, se emplean 32 módulos por entrada MPPT, conectando dos series de 16 módulos a cada MPPT.

La potencia de un String de 16 módulos de 440 Wp conectados en serie es 7.04 kWp. por lo que la potencia de dos String de 16 módulos cada una hace un total de 14.08 kWp por MPPT.

El resultado anterior deberá de compararse con la potencia máxima de DC a la entrada de cada MPPT (36 kWp, repartido en 18 kWp por MPPT), con lo cual se establece que el cálculo de potencia está por debajo de dicho valor límite de cada MPPT.

Según el resultado anterior, se emplearán dos inversores de 24 kW y en cada uno de sus dos MPPT se conectarán dos String de 16 módulos de 440 Wp, lo que hace un total de 128 módulos y una potencia nominal de 56.3 kWp, 1.6 % mayor que la potencia calculada previamente.

Adicionalmente al cálculo anterior también se verificó la corriente máxima por cada String a la entrada MPPT, el cálculo como sigue:

$$I_{string} = I_{sc} MFV * \# String$$

$$I_{string} = 13.73 A * 2 string$$

$$I_{string} = 27.44 A.$$

$$I_{string} \leq I_{input} INV \text{ de } 53 \text{ Amperios (ok).}$$

La corriente del String es menor que la corriente de entrada al inversor.

Conclusión, se propone construir un arreglo de dos String por entrada de MPPT, compuesto por 20 módulos fotovoltaicos por String; lo anterior se considera para que el inversor no se encuentre justo a su potencia máxima, evitando con esto no causar sobrecarga eléctrica a dicho elemento.

Paso 6: Cálculo del número de Inversores

Número de Inversores = Potencia requerida / (Número de String * Potencia de String).

$$\text{Número de Inversores} = 56.30 \text{ kWp} / [2*(2*16*440 \text{ Wp})] = 1.99$$

Número de Inversores = 2

Por lo que se instalarán dos inversores, con un arreglo de dos String de 16 módulos por cada entrada MPPT.

En el Anexo 6, se presenta el respectivo diagrama unifilar de la instalación, el cual incluye las protecciones eléctricas para DC y AC.

9.5.3. Propuesta de Diseño del Sistema Termo solar

9.5.3.1. Conversión de la Radiación Solar a Energía Térmica

La energía de la radiación solar global horizontal es convertida en energía térmica a través de un captador solar, el cual es un dispositivo que maximiza la absorción de radiación solar en el espectro visible e infrarrojo cercano, convirtiéndola en energía térmica que luego es transferida a un fluido de trabajo con las mínimas pérdidas térmicas. La energía térmica es transferida a un fluido de trabajo que circula en un circuito hidráulico cerrado que conecta el subsistema de captación de radiación con el de almacenamiento en donde se acumula la energía térmica.

La conversión de energía del sistema Sol a colector y de este al fluido, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\underline{E}_{cap-fluido} = \underline{H}_{\gamma\beta} \cdot \eta \cdot C_o \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\eta = \eta_o \cdot \left[1 - 0.1 \cdot \left(\frac{1}{\cos(\theta)} - 1 \right) \right] - c_1 \cdot \frac{[T_{acum} - T_{amb}]}{G_{\gamma\beta}} - C_2 \cdot \frac{[T_{acum} - T_{amb}]^2}{G_{\gamma\beta}} \quad (\text{Ec. 1a})$$

Dónde:

- $\underline{E}_{cap-fluido}$: es la densidad de energía térmica promedio mensual transferida al fluido de trabajo (kWh/m²-mes).
- $\underline{H}_{\gamma\beta}$: Irradiación promedio mensual en la superficie de captación [el techo tiene un acimut ($\gamma = 181^\circ$ o *sur*) e inclinada respecto a la horizontal ($\beta = 10^\circ$)].
- η : Eficiencia de conversión de energía de la radiación solar a térmica, específica para cada capador.

- C_o : Factor de ajuste de los datos meteorológicos (0.85).
- η_o : eficiencia máxima de conversión.
- θ : ángulo de incidencia promedio mensual del vector solar respecto a la superficie de captación.
- c_1 : Coeficiente de pérdidas térmicas lineales del captador.
- c_2 : Coeficiente de pérdidas térmicas cuadráticas del captador.
- $G_{\gamma\beta}$: Irradiancia promedio mensual sobre la superficie de captación (W/m^2).

9.5.3.2. Cálculo de Factor de Cobertura Solar

Este factor, calculado empleando el método f-Chart, es un número entre 0 y 1 el cual, como su nombre lo indica, permite cuantificar qué porcentaje de la carga térmica que será cubierta con el aporte de energía del sistema termo-solar.

Considerando la ecuación de (Kalogirou, 2009) la fracción solar del mes i es dada por la proporción siguiente:

$$f_i = \frac{L_i - L_{AUX,i}}{L_i} = \frac{Q_{s,i}}{L_i} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde

- f_i : Factor de cobertura solar del mes (valor entre 0 y 1).
- L_i : Demanda total de energías térmicas para el mes i cuantificadas según demanda.
- $L_{AUX,i}$: Energía para el mes i aportada por sistema auxiliar (caldera a base de gas propano, electricidad, biomasa, etc.).
- $Q_{s,i}$: Energía aportada por el sistema termo-solar para el mes i .

El factor de cobertura de la Ec. 2, de acuerdo con (Duffie & Beckman, 2013), también puede ser expresado mediante un polinomio de la ecuación Ec.3, el cual fue determinado de forma experimental analizando el comportamiento de múltiples instalaciones solares; ésta ecuación es función de los parámetros X y Y , el primero (X) relaciona las pérdidas térmicas del subsistema de captación respecto a la demanda de energía térmica (L) durante un periodo de tiempo (Δt), mientras que el parámetro Y representa la proporción entre la

energía de la radiación solar total absorbida respecto de la demanda total de energía (L), en el mismo periodo de tiempo. Las ecuaciones para líquidos que definen ambos parámetros se muestran a continuación.

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (\text{Ec.3})$$

$$X = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{ref} - T_{amb}) \cdot \Delta t \frac{A_c}{L} \quad (\text{Ec.3.1})$$

$$Y = F_R (\tau\alpha) \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot (H_t) \cdot N \cdot \frac{A_c}{L} \quad (\text{Ec.3.2})$$

Dónde

- A_c : Área de captación (m^2).
- $F_R U_L$ o C_1 : Factor de pérdidas lineales de temperatura del captador, para el colector HC-40, $F_R U_L = 18.52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.
- $\frac{F'_R}{F_R}$ Factor de corrección por pérdida de temperatura entre el colector y el almacenamiento.
- T_{ref} Temperatura del agua de la piscina ($34 \text{ }^\circ C$).
- T_{amb} Temperatura ambiente promedio mensual ($^\circ C$).
- Δt Número total de Segundo en un mes.
- L : Demanda de energía térmica mensual de la piscina (MJ/mes).
- $F_R (\tau\alpha)$ o n_o : Factor de eficiencia máxima del captador, para el colector HC-40, $F_R (\tau\alpha) = 0.828$
- $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ Factor de corrección por ángulo de incidencia de la irradiación solar, se sumirá 0.96.
- H_t : Irradiación solar promedio diaria en superficie de los captadores ($MJ/m^2/d$).
- N : número de día del mes i .

Consideraciones adicionales deberán ser tomadas con la ecuación 3.1 según gráfica 20.3.3 en página 666 de (Duffie & Beckman, 2013), si la razón de captación y volumen de agua almacenada supera el valor de $75 \text{ L}/m^2$.

Como se muestra en la Ec. 3, los parámetros X y Y definen la fracción solar promedio mensual (f_i). El aporte mensual de energía es el producto de la fracción solar (f_i) por la demanda de energía (L_i) para el mismo mes. La fracción anual de cobertura solar (F) es el cociente entre la suma del aporte solar mensual y la demanda anual. Lo anterior se expresa con la Ec.4 cómo sigue.

$$f = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (\text{Ec.4})$$

9.5.3.3. Cálculo de Superficie de Captación Solar

La superficie mínima necesaria para cubrir la demanda de energía térmica se calcula haciendo el cociente entre la demanda térmica anual calculada, todo en MJ/año y la energía solar disponible captada en MJ/m²/año.

$$A_{cap} = \frac{\sum f_i L_i}{\sum Q_{s,i}} \quad (\text{Ec.5})$$

El área calculada con la Ec.5 deberá ser considerada como la mínima necesaria, y esta podrá ser incrementada según el factor de cobertura solar requerido.

9.5.3.4. Cálculo de la Demanda de Energía Térmica

La demanda de energía térmica está relacionada con la cantidad de agua caliente requerida por cada terapia realizada y al mismo tiempo con la cantidad de pacientes por año. De acuerdo con el estudio de demanda realizado anteriormente, la cantidad de ACS a almacenar a 50 °C es de 4590 l/día; por lo tanto, la energía térmica mínima necesaria para calentar 4590 l/día [4.59 m³/día] desde 23 a 50 °C se calcula empleando la ecuación siguiente:

$$L = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (T_{alm} - T_{red}) \quad (\text{Ec 6})$$

Dónde:

- L : demanda de energía térmica (J/día).
- ρ : densidad del agua a la temperatura de almacenamiento (997 kg/m³).
- V : consumo de agua a calentar hasta la temperatura. de consumo (l/día).

- C_p : Calor específico para el agua (4180 J/kg-°C).
- T_{alm} : Temperatura de almacenamiento (50 °C).
- T_{red} : Temperatura de agua de red (23 °C).

Al introducir los datos en la Ec. 6, la demanda de energía térmica (L) por día para la producción de 4590 l/día de agua caliente a 50 °C, es 5.16×10^8 J/día, dato que será empleado junto con la oferta de irradiancia solar media mensual para estimar la cantidad de captadores mínimos necesaria para suplir la demanda de energía térmica.

9.5.3.5. Cálculo del Número de Captadores Termo-solares para Sistema Combinado

Para el dimensionamiento del área de captación se empleó el método F-Chart, el cual es un método estático basado en correlaciones hechas a partir de la realización de modelos matemáticos empíricos basado en la observación del comportamiento del sistema solar térmico reales (Duffie & Beckman, 2013).

Como información de entrada se utilizan datos promedios mensuales de consumo o demanda de energía y datos meteorológicos e información del rendimiento del captador solar. Como información de salida se obtiene factor de rendimiento o de cobertura solar promedio anual de las instalaciones para ACS.

9.5.3.6. Selección del Captador Solar

En el mercado se encuentra una gran variedad de captadores solares para ACS y la selección del más adecuado queda condicionada, principalmente, por los coeficientes de eficiencia de conversión de energía, peso y costo de la unidad. En la Tabla 7 se presenta una comparación de los parámetros antes citados, según detalle.

Tabla 7 Resumen de los principales parámetros técnicos de un captador solar (Elaboración propia).

| Fabricante | SOLARBAYER | SOLARBAYER | ALPIN | CHOMAGEN | ISOFOTON |
|---|----------------|------------------|----------|--------------|---------------|
| Modelo | SilverSun 2.02 | PremiumPlus 2,86 | RKAQ2500 | QR - F | Isotherm Plus |
| η_0 [-] | 0.764 | 0.792 | 0.802 | 0.693 | 0.78 |
| C1 [W/(m ² K)] | 3.953 | 3.159 | 3.241 | 4.39 | 3.243 |
| C2 [W/(m ² K ²)] | 0.008 | 0.014 | 0.013 | 0.008 | 0.012 |
| A _{aper} [m ²] | 1.83 | 2.69 | 2.39 | 2.58 | 2.21 |
| A _{bruta} [m ²] | 2.02 | 2.86 | 2.51 | 2.79 | 2.4 |
| A _{abs.} [m ²] | | 2.68 | 2.33 | 2.54 | 2.205 |
| Máx. arreglo | 6 | | 6 | | |
| Sup. selec. | TiNOx | TiNOx | | Cromo selec. | TiNOx |
| Mat. abs | Cobre | Aluminio | | Cobre | Cobre |
| Peso vacío (kg/m ²) | 13.37 | 13.81 | 14.34 | 14.70 | 17.92 |
| Precio lista (\$/m ²) | 220.97 | 301.58 | 304.39 | | |

De las opciones presentadas se seleccionó el captador *PremiumPlus 2.86* distribuido por el fabricante alemán (Solarbayer, s.f.). Ya que este presenta, para una temperatura de operación entre 50 y 60 °C, la mejor eficiencia de conversión de energía de radiación solar a calor útil, costo específico y mayor área de captación.

9.5.3.7. Estimación de la Irradiación Media Mensual

Para la información de irradiación solar media mensual se empleó la información de la aplicación web PVWATT de NREL (PVWATT, 2021), en donde se obtuvieron 12 datos de irradiación promedio mensual para la ubicación, inclinación y acimut de la cubierta de techo del proyecto.

9.5.3.8. Cálculo de Factor de Cobertura Solar

Con la información antes recopilada y mediante el método F-Chart el cual emplea, entre otros, las ecuaciones presentadas anteriormente, en la Tabla 8, se presenta la estimación del área mínima requerida por mes y la total, así como el factor de cobertura solar, todo según el detalle siguiente.

Tabla 8 Resultado del área mínima requerida por mes, área total empleada y factor de cobertura solar Captadores solares para ACS (Elaboración propia)

| mes,i | días/mes | H _{γβ,i} | T _{amb} | T _{alm} | T _{red} | L _i | E _{γβ,i} | η _{th} | Q _{sol,i} | A _{cap,i} | A _{ins,i} | X | Y | f | Q _{u,i} |
|--------|----------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------|------|--------|------------------|
| | [día] | [kWh/m ² /d] | [°C] | [°C] | [°C] | [kJ/mes] | [MJ/m ² /mes] | [p.u.] | [kJ/m ² /mes] | [m ²] | [m ²] | [-] | [-] | [p.u.] | [kJ/mes] |
| 1 | 31 | 7.09 | 25.4 | 50 | 23.4 | 1.60E+07 | 791.24 | 0.71 | 4.52E+05 | 24.8 | 43 | 3.11 | 1.52 | 0.89 | 1.42E+07 |
| 2 | 28 | 7.34 | 26 | 50 | 24 | 1.44E+07 | 739.87 | 0.72 | 4.27E+05 | 23.7 | 43 | 3.09 | 1.57 | 0.91 | 1.32E+07 |
| 3 | 31 | 7.09 | 26.3 | 50 | 24.3 | 1.60E+07 | 791.24 | 0.72 | 4.55E+05 | 24.6 | 43 | 3.08 | 1.52 | 0.89 | 1.42E+07 |
| 4 | 30 | 6.4 | 26.8 | 50 | 24.8 | 1.55E+07 | 691.20 | 0.70 | 3.88E+05 | 27.9 | 43 | 3.05 | 1.37 | 0.82 | 1.27E+07 |
| 5 | 31 | 5.53 | 26.1 | 50 | 24.1 | 1.60E+07 | 617.15 | 0.67 | 3.29E+05 | 34.1 | 43 | 3.08 | 1.18 | 0.73 | 1.16E+07 |
| 6 | 30 | 5.17 | 25.6 | 50 | 23.6 | 1.55E+07 | 558.36 | 0.64 | 2.88E+05 | 37.7 | 43 | 3.10 | 1.11 | 0.68 | 1.06E+07 |
| 7 | 31 | 5.88 | 26 | 50 | 24 | 1.60E+07 | 656.21 | 0.67 | 3.53E+05 | 31.7 | 43 | 3.09 | 1.26 | 0.77 | 1.22E+07 |
| 8 | 31 | 5.73 | 25.9 | 50 | 23.9 | 1.60E+07 | 639.47 | 0.68 | 3.46E+05 | 32.4 | 43 | 3.09 | 1.22 | 0.75 | 1.20E+07 |
| 9 | 30 | 5.57 | 25.2 | 50 | 23.2 | 1.55E+07 | 601.56 | 0.67 | 3.24E+05 | 33.5 | 43 | 3.12 | 1.19 | 0.73 | 1.13E+07 |
| 10 | 31 | 5.94 | 25.2 | 50 | 23.2 | 1.60E+07 | 662.90 | 0.69 | 3.65E+05 | 30.7 | 43 | 3.12 | 1.27 | 0.77 | 1.23E+07 |
| 11 | 30 | 6.66 | 25.5 | 50 | 23.5 | 1.55E+07 | 719.28 | 0.71 | 4.07E+05 | 26.7 | 43 | 3.11 | 1.42 | 0.85 | 1.31E+07 |
| 12 | 31 | 7.12 | 25.4 | 50 | 23.4 | 1.60E+07 | 794.59 | 0.71 | 4.54E+05 | 24.7 | 43 | 3.11 | 1.52 | 0.89 | 1.42E+07 |
| Total: | | | | | | 1.88E+08 | | | 4.59E+06 | | | | | | 1.52E+08 |

Según el resultado de la Tabla 8, se puede concluir lo siguiente:

- El área de captación oscila entre 24.7 y 33.5 m².
- El factor de cobertura solar mínimo es de 0.73 y el máximo de 0.89 (ver Anexo 5).
- La eficiencia de conversión mínima del captador es de 0.64
- La energía térmica total aportada por el sistema de captación asciende a 1.52x10⁸ kJ/año o 42126 kWh_{th}/año.

Para esta aplicación se impuso un factor mínimo de cobertura solar de 0.75 que equivale al reemplazo de igual cantidad de otro combustible. Para alcanzar dicho valor se realizaron diferentes cálculos variando el área de captación hasta conseguir que el factor de cobertura sea igual o superior al valor impuesto. Como resultado, con un total de 14 captadores se cubre el porcentaje de cobertura solar mínimo exigido para el proyecto, a la cual se agregaron dos captadores para así poder hacer dos bancadas con ocho captadores lo cual hace un total de 16 captadores y 43 m² de área de cobertura.

De acuerdo con el resultado de la Tabla 8 el factor promedio de cobertura queda de la manera siguiente:

$$f = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} = \frac{\sum Q_{u,i}}{\sum L_i} = \frac{1.52 \times 10^8}{1.88 \times 10^8} = 0.81$$

9.5.4. Cálculo del Número de Módulos Híbridos (PV-T)

Al igual que el caso anterior, referente a los captadores termo solares convencionales, la selección de un captador híbrido o PV-T, se inicia por hacer un análisis comparativo en el cual se pueda apreciar las prestaciones para la producción de potencia térmica y eléctrica.

Tabla 9 Características técnicas de captadores solares (Elaboración propia).

| Fabricante | ENDEF | DUAL SUN | ABORA |
|---|---------|------------|---------|
| Modelo | Ecomesh | SPRING 375 | aH72 SK |
| η_0 [-] | 0.51 | 0.62 | 0.7 |
| C1 [W/(m ² K)] | 4.93 | 7.4 | 5.98 |
| C2 [W/(m ² K ²)] | 0.021 | 0 | 0 |
| A _{aper} [m ²] | 1.55 | | 1.88 |
| A _{bruta} [m ²] | 1.6 | 1.876 | 1.96 |
| Eff. módulo | 0.159 | 0.2 | 0.187 |
| N° Celdas | 60 | | 72 |
| Pot. Pico [We] | 260 | 375 | 350 |
| Peso vacío (kg/m ²) | 28.63 | 14.45 | 25.51 |
| Precio lista (\$/m ²) | | | 302.93 |

De acuerdo con los datos de la Tabla 9, el captador aH72 SK, del fabricante ABORA, es el que tiene las mejores características técnicas tanto térmicas como fotovoltaicas.

Con el captador seleccionado, se procedió a la realización del cálculo de área de captación para un factor de cobertura solar igual o mayor a 70%. El resultado se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10 Resultados obtenidos para el área de captación para un factor de cobertura solar igual o mayor a 70% (Elaboración propia).

| mes,i | días/mes | H _{γβ,i} | T _{amb} | T _{alm} | T _{red} | L _i | E _{γβ,i} | η_{th} | Q _{sol,i} | A _{cap,i} | A _{ins,i} | X | Y | f | Q _{u,i} |
|--------|----------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------|------|--------|------------------|
| | [día] | [kWh/m ² /d] | [°C] | [°C] | [°C] | [kJ/mes] | [MJ/m ² /mes] | [p.u.] | [kJ/m ² /mes] | [m ²] | [m ²] | [-] | [-] | [p.u.] | [kJ/mes] |
| 1 | 31 | 7.09 | 25.4 | 50 | 23.4 | 1.60E+07 | 791.24 | 0.51 | 4.52E+05 | 34.4 | 60 | 8.27 | 1.88 | 0.80 | 1.28E+07 |
| 2 | 28 | 7.34 | 26 | 50 | 24 | 1.44E+07 | 739.87 | 0.52 | 4.27E+05 | 32.6 | 60 | 8.20 | 1.95 | 0.82 | 1.19E+07 |
| 3 | 31 | 7.09 | 26.3 | 50 | 24.3 | 1.60E+07 | 791.24 | 0.52 | 4.55E+05 | 34.3 | 60 | 8.17 | 1.88 | 0.80 | 1.28E+07 |
| 4 | 30 | 6.4 | 26.8 | 50 | 24.8 | 1.55E+07 | 691.20 | 0.49 | 3.88E+05 | 40.0 | 60 | 8.11 | 1.70 | 0.74 | 1.14E+07 |
| 5 | 31 | 5.53 | 26.1 | 50 | 24.1 | 1.60E+07 | 617.15 | 0.43 | 3.29E+05 | 52.4 | 60 | 8.19 | 1.47 | 0.64 | 1.02E+07 |
| 6 | 30 | 5.17 | 25.6 | 50 | 23.6 | 1.55E+07 | 558.36 | 0.40 | 2.88E+05 | 60.8 | 60 | 8.24 | 1.37 | 0.59 | 9.16E+06 |
| 7 | 31 | 5.88 | 26 | 50 | 24 | 1.60E+07 | 656.21 | 0.45 | 3.53E+05 | 47.8 | 60 | 8.20 | 1.56 | 0.68 | 1.08E+07 |
| 8 | 31 | 5.73 | 25.9 | 50 | 23.9 | 1.60E+07 | 639.47 | 0.45 | 3.46E+05 | 48.9 | 60 | 8.21 | 1.52 | 0.66 | 1.06E+07 |
| 9 | 30 | 5.57 | 25.2 | 50 | 23.2 | 1.55E+07 | 601.56 | 0.44 | 3.24E+05 | 51.1 | 60 | 8.29 | 1.48 | 0.64 | 9.90E+06 |
| 10 | 31 | 5.94 | 25.2 | 50 | 23.2 | 1.60E+07 | 662.90 | 0.47 | 3.65E+05 | 45.2 | 60 | 8.29 | 1.57 | 0.68 | 1.09E+07 |
| 11 | 30 | 6.66 | 25.5 | 50 | 23.5 | 1.55E+07 | 719.28 | 0.50 | 4.07E+05 | 37.6 | 60 | 8.26 | 1.77 | 0.76 | 1.17E+07 |
| 12 | 31 | 7.12 | 25.4 | 50 | 23.4 | 1.60E+07 | 794.59 | 0.52 | 4.54E+05 | 34.1 | 60 | 8.27 | 1.89 | 0.80 | 1.28E+07 |
| Total: | | | | | | 1.88E+08 | | | 4.59E+06 | | | | | | 1.35E+08 |

Los principales resultados son los que se detallan a continuación:

- El área de captación oscila entre 32.6 y 60.8 m².
- El factor de cobertura solar mínimo es de 0.59 y el máximo de 0.82.
- La eficiencia de conversión mínima del captador es de 0.4
- La energía térmica total aportada por el sistema de captación asciende a 1.35x10⁸ kJ/año o 36631 kWh_{th}/año.

Se modificó la cantidad de área de captación hasta lograr que el factor de cobertura solar fuese igual o superior al 70%. Lo anterior se logró con la instalación de 32 módulos aH72 SK que hacen un total de 60 m² de área de captación con lo cual se obtuvo un factor de cobertura de 72%.

9.5.4.1. Producción de Electricidad con Módulos PV-T

Cada módulo aH72 SK tiene una potencia FV asociada de 350 Wp, por lo tanto, la potencia eléctrica pico de un generador con 32 módulos equivale a 11.2 kWp. De acuerdo con el resultado de la simulación para un generador FV elaborada con el software HELIOSCOPE (ver Anexo 12), la tasa de rendimiento de una instalación FV es de 1613.16 kWh/kWp-año, por lo tanto, 11.2 kWp, producirá una energía anual de 18067.4 kWh/año.

9.5.5. Ahorro por Producción de ACS

El ahorro por la sustitución de una determinada fuente de energía convencional empleada en la producción de ACS dependerá del tipo y precio del combustible empleado en la caldera de apoyo, así como su eficiencia de conversión. Por ejemplo, en El Salvador los tipos de calderas ocupan energía primaria como el gas propano o secundaria como la eléctrica, principalmente. En función del tipo de energía, la ecuación para el ahorro por el combustible sustituido es:

$$\text{Ahorro combustible fósil [US\$]} = \frac{Q_u \cdot C_m}{PCI \cdot \eta} \quad (\text{Ec.7})$$

Dónde:

- Q_u :Energía útil [kJ o kcal]
- PCI :Poder Calorífico Inferior [kJ/kg, kJ/L, kJ/m³]

- η : Rendimiento del equipo de apoyo [%]
- C_m : Costo medio del combustible sustituido [\$/kg, \$/L o \$/m³]

En el caso que el equipo de apoyo sea eléctrico, el ahorro económico se calculará del siguiente modo:

$$\text{Ahorro en electricidad [US\$]} = \frac{Q_u \cdot C_m}{\eta} \quad (\text{Ec.8})$$

Dónde:

- Q_u : Energía útil [kJ o kcal]
- η : Rendimiento del equipo de apoyo [%]
- C_m : Costo medio de la electricidad [\$/kg, \$/L o \$/m³]

En la Tabla 11 y Tabla 12 se presenta el ahorro económico por la energía sustituida considerando su producción con caldera a gas propano y eléctrica, el detalle como sigue:

Tabla 11 Ahorro por energía sustituida con captadores térmicos convencionales.

| Parámetro de la caldera | Caldera a gas propano | Caldera eléctrica |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Energía térmica sustituida | 151652.0 MJ/año | 41126 kWh_th/año |
| PCI [kJ/kg] | 46296.0 kJ/kg | |
| Eficiencia de la caldera [%] | 0.85 | 0.75 |
| Costo del recurso energético | 1.22 US\$/kg | 0.17 \$/kWh_e |
| Ahorro (US\$/año) | 4689.7 | 9548.5 |

Tabla 12 Cálculo del ahorro por energía sustituida, sistema PV-T.

| Parámetro de la caldera | Caldera a gas propano | Caldera eléctrica |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Energía térmica sustituida | 134942.36 MJ/año | 37484 kWh_th/año |
| PCI [kJ/kg] | 46296.0 kJ/kg | |
| Eficiencia de la caldera [%] | 0.85 | 0.75 |
| Costo del recurso energético | 1.22 US\$/kg | 0.17 \$/kWh_e |
| Ahorro (US\$/año) | 4172.86 | 8496.37 |

La diferencia en la energía térmica sustituida entre la propuesta empleando módulos convencionales e híbridos para ACS, se debe al factor de cobertura solar, 81% y 72%, respectivamente, alcanzado en cada propuesta lo cual tiene relación directa con la eficiencia de conversión de energía solar a térmica de los captadores empleados.

Haciendo un análisis preliminar entre un sistema a base de gas propano y eléctrica, se observa que una a base de gas propano reduce casi en un 51 % el costo por la producción de ACS. Un análisis comparativo con más detalle se presentará en el apartado del análisis económico y financiero del proyecto.

9.5.6. Resumen de Potencia por cada Sistema Propuesto

A continuación, en la Tabla 13 se resume la potencia eléctrica y térmica instalada por cada sistema propuesto

Tabla 13 Resumen de producción de potencia por sistema (Elaboración propia).

| Potencia instalada | (1) Sist. fotovoltaico | (2) Sist. combinado | (3) Sist. híbrido |
|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------|
| Eléctrica (kWp) | 55.44 | 31.68 | 40.24 |
| Térmica (kW_th) | | 33.96 | 42.1 |

Hasta aquí, se puede confirmar que técnicamente las tres propuestas son viables, por lo que se procederá a realizar un análisis económico que, al combinarse con el análisis anterior, definirá la propuesta a ser seleccionada.

El esquema de la conexión hidráulica de ambos sistemas (termo solar y PV-T) se presenta en los anexos 3 y 4, respectivamente.

9.6. Análisis estructural del techo del edificio seleccionado para la implementación del sistema de ACS

Como se indicó anteriormente, para este trabajo no fue posible verificar los detalles del tipo de apoyo y las secciones de los elementos estructurales del techo, condición por la cual dichos elementos fueron determinados, tomando como referencia el plano estructural de techos y de la información obtenida en visita de campo puntual y restringida. Por lo que es necesario validar las premisas asumidas en el presente estudio al momento de la ejecución e implementación de la propuesta técnica-económica del proyecto.

De acuerdo con el plano estructural de techos proporcionado por las autoridades del hospital (ver Anexo 7) y de la información obtenida en la visita de campo, la estructura del techo está constituida por los siguientes elementos:

- Una estructura principal de cinco vigas tipo tijera de acero (VM-1), separadas a cada 5.60 m, con una luz de 17.90 m, apoyadas en sus extremos sobre columnas de concreto reforzado.
- Las cuerdas de las tijeras son de ángulo doble de 2 ½"x ¼" y la celosía de ángulo doble de 1 ½"x ¼" con altura mínima de 0.40 m y máxima de 1.74 m.
- La estructura secundaria está compuesta por polines tipo C de 6" separados a cada 85 cm, soldados en las cuerdas superiores de las vigas tipo tijeras.
- La cubierta del techo es de lámina Duralum calibre 24, fijada a los polines por medio de tornillos.
- La cubierta del techo está dispuesta en dos aguas orientadas hacia el norte y hacia el sur respectivamente con una pendiente del 15%.
- El techo drena a dos canales internos localizados en el extremo norte y extremo sur.
- El techo está confinado perimetralmente por un parapeto de bloque de concreto de altura variable mínima de 0.15 m y máxima de 1.50 m.
- En el costado norte se ubica un cubo de servicio de 2.60 x 3.55 m que sobresale de la cubierta del techo aproximadamente 1.50 m.
- Además, se proyecta aprovechar el cubo de servicio para ubicar las redes eléctricas e hidráulicas requeridas en la implementación del proyecto.

9.6.1. Análisis estructural de polines

El análisis estructural de polines determinó que el incremento de la carga que proporcionarán los módulos solares sobre los polines existentes no provocaría que éstos presenten un estado de falla, lo cual significa que los polines soportan el incremento de carga en forma satisfactoria, por lo que en las actuales condiciones la estructura de los polines no requiere reforzamiento alguno. A continuación, se muestran los resultados del análisis:

- Momento resistente de polín= **285.92 kg-m** > Momento actuante sobre el polín =**182.25 kg-m**

Por lo consiguiente, al momento de la implementación de esta propuesta, se deberán de tomar en consideración los siguientes aspectos:

- La consideración de carga de las instalaciones puede ser revaluada, ya que para este cálculo se ha considerado que la carga incluye el peso de ductos de aire acondicionado, luminarias y peso de cielo falso, de los cuales no se dispone dato al respecto. Si la carga se valuara en 20 kg/m², la condición obtenida para los polines sería inversa a la conclusión antes determinada.
- Las revisiones se han efectuado utilizando cálculos manuales mostrados en el presente documento, como cálculos realizados en el Programa de Cálculo Estructural SAP2000 versión 21, con el cual realizó el análisis de la estructura primaria de la cubierta de techos. La especificación técnica para el acero A36 utilizado es el AISC ASD -1989, el cual es el código de diseño y construcción de la estructura.

9.6.2. Análisis estructural de vigas

Para la estructura del techo en análisis, no fue posible tener información sobre las condiciones de apoyo de la estructura primaria, por lo que se considerará una articulación en ambos apoyos extremos sobre las columnas.

- La carga actuante actual sobre la cuerda más solicitada es igual a **13,108.34 kg < 20,426.85 kg**, por lo que se determina que las cuerdas tienen capacidad de carga del sistema de ACS.
- La carga actuante con los paneles solares sobre la celosía más solicitada es igual a **4,637.96 kg < 5,844.88 kg**, lo cual significa que la celosía será capaz de resistir el incremento de cargas por los paneles solares.
- La carga actuante con los paneles solares sobre la celosía más esbelta es la siguiente: **1,425.94 kg < 2,204.28 kg**. La celosía más esbelta tiene capacidad de soportar el incremento de carga aportada por los paneles solares.

Del análisis anterior se realizó la siguiente valoración: El incremento de carga de los paneles solares sobre la estructura primaria de la cubierta de techos no afecta a las cuerdas y celosías de la estructura, las cuales tienen capacidad de carga suficiente para resistir el incremento de carga por los paneles solares.

10. Análisis Económico de las Propuestas de Solución

Para el análisis económico se emplearon indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo Simple de Recuperación de la Inversión (PRI) como herramientas para determinar cuál de las tres propuestas técnicas es la mejor inversión.

Es oportuno aclarar que, independientemente si el proyecto es para un hospital sin fines de lucro y que probablemente los fondos para la implementación de la propuesta técnica sea proveniente del Fondo General de la Nación (Presupuesto Gubernamental) y/o alguna donación de la empresa privada o Fundaciones de Ayuda, el análisis que a continuación se presenta es una de las formas que permiten justificar cuantitativamente la toma de decisión, pero además proporciona una idea del grado de optimización de recursos hechos para cada propuesta, dado que para realizar dicha evaluación, primero se formuló en detalle el contenido (presupuesto) de cada propuesta de solución.

Adicionalmente se realizó un análisis comparativo entre las propuestas, y solo se tomando en cuenta los equipos relacionados con la generación de energía eléctrica o térmica para ACS. Lo anterior se justifica dado que para las tres propuestas será común el costo asociado de la obra civil para la readecuación de espacios, la compra de equipo para terapia, su instalación y puesta en operación.

10.1. Presupuesto por Sistema Propuesto

En las tablas siguientes se presenta un resumen del presupuesto para cada alternativa, su detalle puede ser revisado en Anexos 1.1, 1.2 y 1.3.

- **Sistema fotovoltaico puro**

Tabla 14 Resumen de presupuesto para sistema fotovoltaico (elaboración propia)

| Item | Descripción | Monto (US\$) |
|------|--|--------------|
| 1 | Sistema de 126 módulos Jinko Tiger Pro-60 HC de 440 Wp (55.44 kWp) conectado al tablero principal de distribución para suministro de energía eléctrica a las instalaciones del HNNBB y sobre todo al equipo para producción de ACS de la nueva área para hidroterapia. | \$52,668.0 |

| Item | Descripción | Monto (US\$) |
|------|---|--------------|
| 2 | Suministro y montaje de cuatro calderas termo-instantáneas Estiebel Eltron DHE 24 kWe (12.7 l/min). Incluye instalación eléctrica e hidráulica. | \$5,250.0 |

- **Sistema combinado (fotovoltaico combinado con captadores termo solares)**

Tabla 15 Resumen de presupuesto para sistema combinado (elaboración propia)

| Item | Descripción | Monto (US\$) |
|------|--|--------------|
| 1 | Sistema de 72 módulos Jinko Tiger Pro-60 HC de 440 Wp (31.68 kWp) conectado al tablero principal de distribución para suministro de energía eléctrica a las instalaciones del HNNBB y sobre todo al equipo para producción de ACS de la nueva área para hidroterapia. | \$30,096.0 |
| 2 | Suministro y montaje de una instalación termo solar para ACS con 16 captadores planos PremiumPlus 2.86 por circulación forzada con tanque de almacenamiento vitrificado de 2000 L y sistema de cuatro calderas termo instantáneas Estiebel Eltron DHE 24 kWe (12.7 l/min). Incluye instalación eléctrica e hidráulica. | \$41,675.0 |

- **Sistema híbrido (fotovoltaico combinado con captadores híbridos)**

Tabla 16 Resumen de presupuesto para sistema híbrido (elaboración propia)

| Ítem | Descripción | Monto (US\$) |
|------|--|--------------|
| 1 | Sistema de 66 módulos Jinko Tiger Pro-60 HC de 440 Wp (29.04 kWp) conectado al tablero principal de distribución para suministro de energía eléctrica a las instalaciones del HNNBB y sobre todo al equipo para producción de ACS de la nueva área para hidroterapia. | \$27,588.0 |
| 2 | Suministro, montaje mecánico y eléctrico de dos inversores (10 kW) para un sistema FV 32 captadores planos híbridos aH-72 de 350 Wp (11.20 kWp) para conectar al tablero principal de distribución para suministro de energía eléctrica a las instalaciones del HNNBB. | \$4,480.0 |
| 3 | Suministro y montaje de una instalación termo solar para ACS con 32 captadores planos <i>PremiumPlus</i> 2.86 por circulación forzada con tanque de almacenamiento | \$45,675.0 |

| Ítem | Descripción | Monto (US\$) |
|------|--|--------------|
| | vitricado de 2000 L y sistema de cuatro calderas termo instantáneas Estiebel Eltron DHE 24 kWe (12.7 l/min). Incluye instalación eléctrica e hidráulica. | |

De acuerdo con la información planteada en las tablas 15, 16 y 17, la inversión por sistema queda de la manera siguiente:

Tabla 17 Resumen de monto por propuesta de sistema par ACS (Elaboración propia)

| Ítem | Sistema propuesto | Monto (US\$) |
|------|-------------------|--------------|
| (1) | Fotovoltaico puro | \$57,918.0 |
| (2) | Combinado | \$71,741.0 |
| (3) | Híbrido | \$77,743.0 |

10.2. Estimación de la Energía Eléctrica Equivalente

Debido a que las propuestas contemplan la producción de ACS mediante calderas eléctricas, a continuación, se presenta en la Tabla 18 el resultado de la energía eléctrica anual equivalente para cada sistema planteado; para el cálculo se utilizó la eficiencia de conversión de energía eléctrica a térmica en la caldera, la cual se ha estimado en 75%. Por tanto, el total de energía equivalente (a ser sustituida de la empresa distribuidora) es la que se presenta a continuación.

Tabla 18 Tabla resumen con la estimación de la energía eléctrica anual equivalente sustituida (Elaboración propia)

| Ítem | Sistema | Potencia [kW] | Energía [MWh/año] | Eff Caldera | Energía [MWhe/año] | Energía eq. [MWhe/año] | *Potencia o energía térmica. |
|-------|----------------------|---------------|-------------------|-------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
| (1) | Fotovoltaico | 55.44 | 89.37 | | 89.37 | 89.37 | |
| (2) | Combinado | | | | | 105.93 | |
| (2.1) | Fotovoltaico | 31.68 | 51.10 | | 51.10 | | |
| (2.2) | Térmico | 33.96* | 41.13* | 75 % | 54.83 | | |
| (3) | Híbrido | | | | | 115.38 | |
| (3.1) | Fotovoltaico | 29.04 | 46.85 | | 46.85 | | |
| (3.2) | Fotovoltaico híbrido | 11.20 | 18.07 | | 18.07 | | |
| (3.3) | Térmico híbrido | 42.1* | 37.48* | 75 % | 50.46 | | |

10.3. Estimación del Ahorro Económico

Con el resultado de la información presentada en la Tabla 18 ya se cuenta con la cantidad de energía eléctrica anual equivalente que teóricamente se dejaría de consumir por parte del hospital o se evitaría comprar a la distribuidora de energía eléctrica para producción de ACS. Para determinar el ahorro por dicho proceso se asumió un precio por venta de energía al consumidor final de 0.15 \$/kWh_e. Lo anterior tiene como base el pliego tarifario del tercer trimestre de 2021 (SIGET, 2021) entre otros gastos relacionados.

Con la información del precio de la energía y los datos de la Tabla 19, el ahorro por autoproducción de energía y sistema es el que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19 Ahorro en energía anual sustituida o evitada (elaboración propia).

| Ítem | Sistema | Energía anual [MWh/año] | Precio de energía [\$/MWh] | Ahorro anual [\$/año] |
|------|---------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| (1) | Fotovoltaico | 89.37 | 150 | 13,405.0 |
| (2) | Combinado | 105.93 | 150 | 15,889.5 |
| (3) | Híbrido | 115.38 | 150 | 17,307.0 |

Según el resultado, el sistema híbrido es el que presenta un mayor ahorro por energía sustituida para ACS.

10.4. Cálculo de Indicadores Económicos por Sistema

Como ya se mencionó anteriormente, se hará uso de los indicadores VAN, TIR y PRI para poder justificar la selección del sistema más factible que cumpla con los objetivos planteados.

Entre los supuestos considerados para el cálculo están los siguientes:

- Periodo del análisis: 20 años.
- Aportación de capital propio: 100 %
- Depreciación: lineal por 10 años
- Costo de la energía eléctrica en horario resto (\$/kWh): 0.15
- Factibilidad de conexión según norma UPR.

- Exención de impuestos para importación de equipos.
- Tasa de inflación: 2.5 %
- Mantenimiento anual: \$2000 para FV y \$2500 para el combinado e híbrido.

Con la información proporcionada, en la Tabla 20 se muestra el resumen del resultado para cada propuesta.

Tabla 20 Resumen con el resultado de los indicadores económicos para evaluación de las alternativas (elaboración propia).

| Ítem | Sistema | Inversión [US\$] | VAN [US\$] | TIR [%] | PRI [años] |
|------|---------------------|---------------------|---------------|------------|---------------|
| (1) | Fotovoltaico | \$57,918.0 | \$57,114.85 | 21.54% | 4.6 |
| (2) | Combinado | \$71,741.0 | \$63,301.95 | 20.42% | 4.9 |
| (3) | Híbrido | \$77,743.0 | \$71,596.47 | 20.84% | 4.8 |

El resultado de la Tabla 20 muestra que la propuesta con un sistema híbrido tiene un mayor VAN, pero, al mismo tiempo, una mayor inversión inicial, aspecto muy importante por ser tomado en cuenta por parte del promotor del proyecto.

Gráficamente el flujo de caja de la propuesta híbrida se muestra en la Figura 13, en ésta se muestra indirectamente el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) que corresponde a la intercepción de los flujos de caja con el eje horizontal.

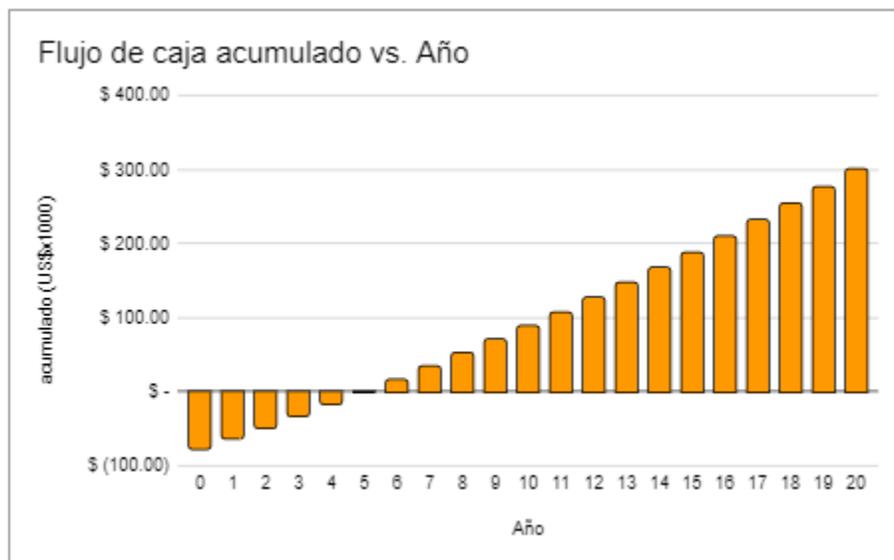


Figura 13 Gráfico del flujo de caja para el periodo de evaluación del proyecto, sistema híbrido (elaboración propia).

La información obtenida fue corroborada mediante el uso del software *ABORA HYBRID* de *ABORA SOLAR* (ABORA, s.f.), siendo el resultado muy parecido al obtenido previamente.

11. Conclusiones

Con base al análisis de los resultados obtenidos en este documento, a continuación, se presentan las conclusiones siguientes:

1. Desde el punto de vista de inversión inicial, operación y mantenimiento, la opción que resulta más favorable es la producción de ACS mediante tecnología FV. Lo anterior se sustenta dado que, de las tres propuestas, ésta es la que requiere menor cantidad de equipos (solo calderas eléctricas y red hidráulica de distribución hasta los puntos de consumo de ACS) por lo que también se reducen las actividades de operación y mantenimiento.
2. El uso de un sistema FV y calderas eléctricas sin tanques de almacenamiento térmico minimizará el riesgo de generar sobrecalentamiento de ACS, al mismo tiempo que será un sistema más versátil, empleando la energía eléctrica tanto para ACS u otros usos según demanda.
3. De acuerdo con los resultados se pudo comprobar que la cogeneración con tecnología híbrida para producción de electricidad y calor, todo en un mismo dispositivo, incrementa la eficiencia de aprovechamiento de la radiación solar y al mismo tiempo se optimiza espacio en la cubierta de techo. No obstante, los costos de los captadores solares híbridos son por mucho superiores que los módulos fotovoltaicos lo cual requerirá una mayor inversión.
4. El uso de tecnología fotovoltaica para producción de ACS mediante calderas eléctricas de flujo instantáneo demostró ser una opción técnica y económicamente viable y entre las razones está el bajo costo actual de la tecnología FV, así como también la simplificación de la cantidad de equipos requeridos para la producción de ACS ya que, por ejemplo, no requeriría el uso de tanque de almacenamiento térmico, equipo indispensable si se opta por la propuesta de un sistema de captadores solares plano (propuesta número dos).
5. La cantidad de captadores con tecnología híbrida estará limitada por la demanda de energía térmica de la aplicación, pues al instalar más de lo requerido provocaría sobrecalentamiento del sistema hidráulico y un sobre costo de la instalación.

6. El costo relativo para la misma potencia entre un captador híbrido y un módulo FV es de entre 2.2 a 2.5 veces mayor. Por lo que el uso de la tecnología híbrida se justificará si existe una apreciable demanda térmica.
7. Si el proyecto del sistema híbrido fuese propuesto para ser implementado por una entidad privada donde se tenga que recurrir a un préstamo bancario, por ejemplo, apalancamiento de la inversión de 50 % a una tasa anual de 6.5 %, su nueva VAN sería de \$79,410.0 y TIR de 30.72%. Lo anterior refleja la importancia de contar con un crédito para inversión en proyectos relacionados con las energías renovables.
8. Comparando la tecnología convencional de captadores solares para ACS y la híbrida, la cantidad de área requerida para el sistema híbrido es de aproximadamente el doble lo cual incrementa los costos del subsistema de captación. Lo anterior se debe a la menor eficiencia de conversión de los captadores híbridos respecto a los convencionales. No obstante, la tecnología híbrida tiene la ventaja de la producción simultánea de energía térmica y eléctrica, todo en un mismo dispositivo.
9. Adicionalmente al ahorro económico que se conseguirá con la implementación de cualquiera de las tres propuestas, también se tendrá el beneficio ambiental relacionado con la reducción de GEI (CO₂), generados por el uso de energía de fuentes de energía renovable no convencional como la energía solar.
10. Respecto al análisis estructural de techos de la Unidad para Niños Quemados, el incremento de carga de los paneles solares sobre la estructura primaria de la cubierta de techos no afecta a las cuerdas de la estructura, las cuales tienen capacidad de carga suficiente para resistir el incremento de carga por los paneles solares. Sin embargo, en el caso de utilizar paneles híbridos es necesario reforzar las estructuras de techo, debido a que la carga tributaria se duplica en relación a los paneles fotovoltaicos.
11. Como bien se muestra en la tabla 12, el uso de calderas a base de gas propano para producción de ACS es más económico que una eléctrica. No obstante, la operación de este tipo de calderas requiere del suministro, almacenamiento y distribución de gas propano o natural (si aplica), lo cual incrementará su costo de instalación y operación.

12. Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones, se tienen las siguientes:

1. Se recomienda a las autoridades del HNNBB la implantación de un sistema FV de al menos 55.44 kWp para alimentar cargas eléctricas y entre estas las calderas eléctricas para producción de ACS, todo según propuesta uno de este documento.
2. Se recomienda hacer un levantamiento de información estructural de la cubierta de techos y corroborar de esta forma la información proporcionada en los planos existentes.
3. De las tres propuestas de solución, el sistema híbrido es el que tiene mayor peso por área instalada, aproximadamente 25.51 kg/m², es decir, 2.27 veces mayor que el módulo FV (11.21 kg/m²). Lo anterior supondrá, para la propuesta híbrida, un mayor peso muerto sobre la cubierta de techo y carga accidental durante un sismo. Por lo tanto, se recomienda hacer una evaluación detallada de la estructura de techos existente del área para atención de niños quemados para evaluar su capacidad de carga adicional admisible.
4. La remodelación de 128 m² de área útil del edificio de niños quemados para habilitar el área de hidroterapia implica condicionar un espacio total por lo que se recomienda tener en cuenta lo siguiente: desmontar divisiones existentes, redistribuir luminarias, modificar ventanas y puertas, modificar circuitos de tomacorrientes, modificar drenajes y redes de agua potable, hacer divisiones de tablayeso, enchapes de cerámica en divisiones y paredes, cortinas y divisiones flexibles además de la instalación del mobiliario y equipo nuevo de hidroterapia. El objetivo es proyectar un espacio óptimo, simple y funcional para el desarrollo de las terapias.

13. Trabajos citados

ABORA. (s.f.). Obtenido de <http://abora-solar.com>

Castillo Sánchez, J. O. (2021). *Reporte de Revisión Estructural del techo del edificio de la unidad de quemados*. San Salvador.

CODE, N. E. (2018). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. SAN SALVADOR: CECSA.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (Fourth Edition ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de [https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie,%20William%20A.%20Beckman\(auth.\)-Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Fourth%20Edition%20\(2013\).pdf](https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie,%20William%20A.%20Beckman(auth.)-Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Fourth%20Edition%20(2013).pdf)

EUROCLIMA. (s.f.). Obtenido de Ref <https://euroclimaplus.org/3/monitoreo-de-la-implementacion-de-las-ndc-de-el-salvador>

Fisiolab. (2018). Obtenido de <https://fisiolab.mx/fisiolab/wp-content/uploads/2018/04/TINA-FICHA.pdf>

Flamenco, A. (20 de Noviembre de 2021). *Google.com*. Obtenido de https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Bp7-sL6vvll_NJdotHYfWF3Ak-x5e7aBZYCiHKwPy2U/edit?usp=sharing

FRONIUS. (2021). Obtenido de <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/solutions/fronius-solution-for-heat-generation/fronius-ohmpilot/fronius-ohmpilot>

HNNBB. (2020). *Informe de Evaluación, Plan Anual Operativo Institucional 2020*. San Salvador. Obtenido de <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-bloom/documents/memorias-de-labores>

PVWATT. (2021). Obtenido de <https://pvwatts.nrel.gov>

SIGET. (24 de Octubre de 2021). Obtenido de Pliego tarifario de electricidad:
<https://www.siget.gob.sv/gerencias/electricidad/tarifas-de-electricidad/tarifas-de-electricidad-ano-2021/>

Solar, E. (22 de 09 de 2021). Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/ubicacion-de-los-paneles-solares>

Solarbayer. (s.f.). *Solarbayer*. Obtenido de <https://www.solarbayer.com/>

Solar-System. (s.f.). Obtenido de <https://www.bing.com/search?q=diagrama+de+un+sistema+solar+termico&qsn&form=QBRE&sp=-1&pq=diagrama+de+un+sistema+solar+termico&sc=0-36&sk=&cvid=793832EA94B8453E9852B64D43395768>

Visual-paragim. (22 de 09 de 2021). *Visual Paradigm*. Obtenido de <https://www.visual-paradigm.com/>

WHITEHALL. (31 de Oct. de 2021). *Whithall rehabilitation products*. Obtenido de <https://whitehallrehabilitation.com/>

14. ANEXOS

Anexo 1 PRESUPUESTO SEGÚN PROPUESTA TÉCNICA

Anexo 1.1 Presupuesto Detallado de Sistema FV

| Potencia para instalar sobre cubierta | | | 55.4 kWp |
|--|--|------------|--------------------|
| 1 | Suministro e instalación de módulos fotovoltaicos | \$0.34 | \$18,960.48 |
| 2 | Suministro e instalación de inversores solares | \$0.14 | \$7,900.20 |
| 3 | Suministro e instalación de estructura de soporte | \$0.06 | \$3,160.08 |
| 4 | Suministro e instalación de malla a tierra de SFV | \$0.04 | \$2,106.72 |
| 5 | Suministro de alimentadores desde cadenas de módulos hasta inversores | \$0.08 | \$4,213.44 |
| 6 | Suministro de tableros eléctricos | \$0.04 | \$2,106.72 |
| 7 | Suministro de descargadores y protecciones | \$0.05 | \$2,633.40 |
| 8 | Suministro de Comunicación y monitoreo | \$0.03 | \$1,580.04 |
| 9 | Suministro y configuración de medidores de energía | \$0.04 | \$2,106.72 |
| 10 | Servicio de Instalación de alimentadores, tableros, protecciones, monitoreo, medida y auxiliares | \$0.14 | \$7,900.20 |
| | SubTotal, (sin IVA) | 0.95 \$/Wp | \$52,668.00 |
| | Suministro e instalación de calderas eléctricas | | 5,250.00 |
| | SubTotal, (sin IVA) | | \$57,918.00 |

Anexo 1.2 Presupuesto detallado de Sistema Combinado.

| Ítem | Descripción por subsistema | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Subtotal (\$) |
|------|---|--------|----------|---------------------|---------------|
| 1 | Subsistemas de Captación | | | | |
| | Captador PremiumPlus 2,86 | Unidad | 16 | \$850.00 | \$13,600.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$700.00 | \$700.00 |
| | Estructura de soporte en techo galvanizada en caliente y pasarelas. | Unidad | 1 | \$2,500.00 | \$2,500.00 |
| 2 | Subsistemas de Recirculación | | | | |
| | Bomba Grundfos (0.75 kWe) | Unidad | 2 | \$850.00 | \$1,700.00 |
| | Cuadro eléctrico y de control | Unidad | 1 | \$1,300.00 | \$1,300.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 32 mm) | Unidad | 1 | \$4,000.00 | \$4,000.00 |
| 3 | Subsistemas de Almacenamiento | | | | |
| | Depósito acumulador (IDROGAS AX 2000) | Unidad | 1 | \$8,125.00 | \$8,125.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$500.00 | \$500.00 |
| 4 | Subsistemas de apoyo y distribución | | | | |

| Ítem | Descripción por subsistema | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Subtotal (\$) |
|------|--|-------------|----------|---------------------|--------------------|
| | de ACS | | | | |
| | Caldera Termo instantáneo DHE NEW 18/21/24 kW | Unidad | 4 | \$687.50 | \$2,750.00 |
| | Tub. y Acc. para Conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$2,500.00 | \$2,500.00 |
| 5 | Mano de Obra | | | | |
| | Costo por mano de obra para el montaje de las 16 captadores solares y sistemas hidráulicos con conexión a equipos para hidroterapia. | Suma global | 1 | \$4,000.00 | \$4,000.00 |
| | | | | SubTotal (US\$): | \$41,675.00 |
| | | | | Costo SFV | \$30,066.00 |
| | | | | Total | \$71,741.00 |

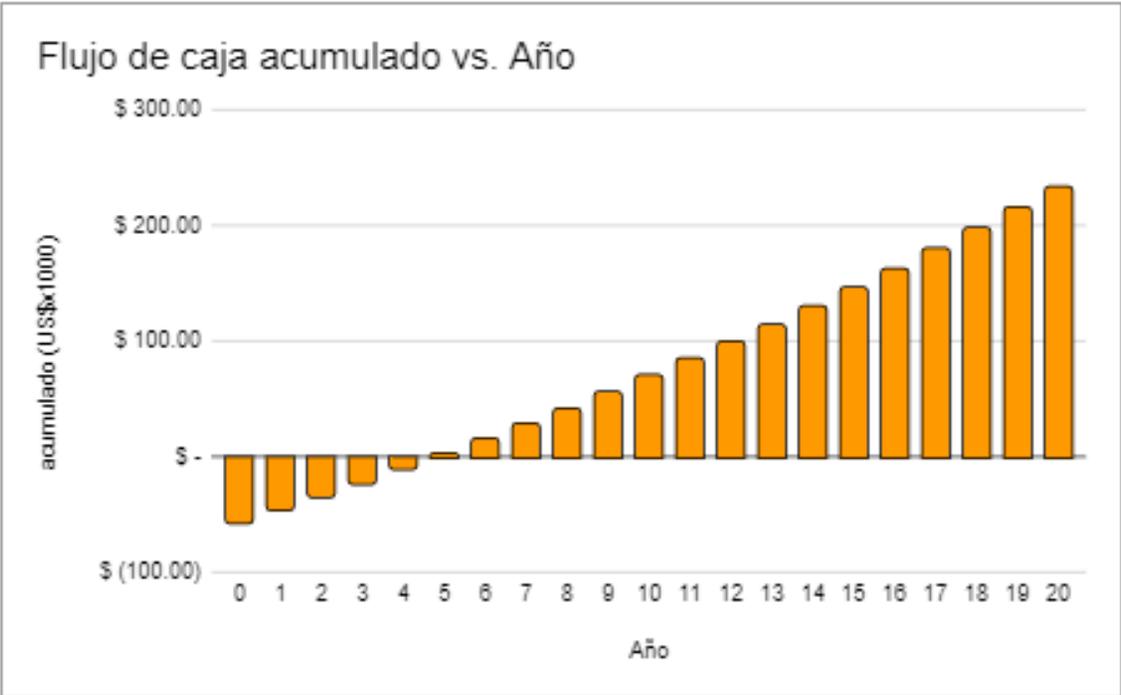
Anexo 1.3 Presupuesto detallado de Sistema Híbrido

| Ítem | Descripción por subsistema | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Subtotal (\$) |
|------|--|-------------|----------|---------------------|--------------------|
| 1 | Subsistemas de Captación | | | | |
| | Captador híbrido aH72 SK (ABORA) | Unidad | 32 | \$550.00 | \$17,600.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$700.00 | \$700.00 |
| | Estructura de soporte en techo galvanizada en caliente y pasarelas. | Unidad | 1 | \$2,500.00 | \$2,500.00 |
| 2 | Subsistemas de Recirculación | | | | |
| | Bomba Grundfos (0.75 kWe) | Unidad | 2 | \$850.00 | \$1,700.00 |
| | Cuadro eléctrico y de control | Unidad | 1 | \$1,300.00 | \$1,300.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 32 mm) | Unidad | 1 | \$4,000.00 | \$4,000.00 |
| 3 | Subsistemas de Almacenamiento | | | | |
| | Depósito acumulador (IDROGAS AX 2000) | Unidad | 1 | \$8,125.00 | \$8,125.00 |
| | Tub. y Acc. para conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$500.00 | \$500.00 |
| 4 | Subsistemas de Apoyo y Distribución de ACS | | | | |
| | Caldera Termo instantáneo DHE NEW 18/21/24 kW | Unidad | 4 | \$687.50 | \$2,750.00 |
| | Tub y Acc para Conexión (cobre L 22 mm) | Unidad | 1 | \$2,500.00 | \$2,500.00 |
| 5 | Mano de obra | | | | |
| | Costo por mano de obra para el montaje de las 16 captadores solares y sistemas hidráulicos con conexión a equipos para hidroterapia. | Suma global | 1 | \$4,000.00 | \$4,000.00 |
| | | | | SubTotal (US\$): | \$45,675.00 |
| | | | | Costo de SFV | \$32,068.00 |
| | | | | Total | \$77,743.00 |

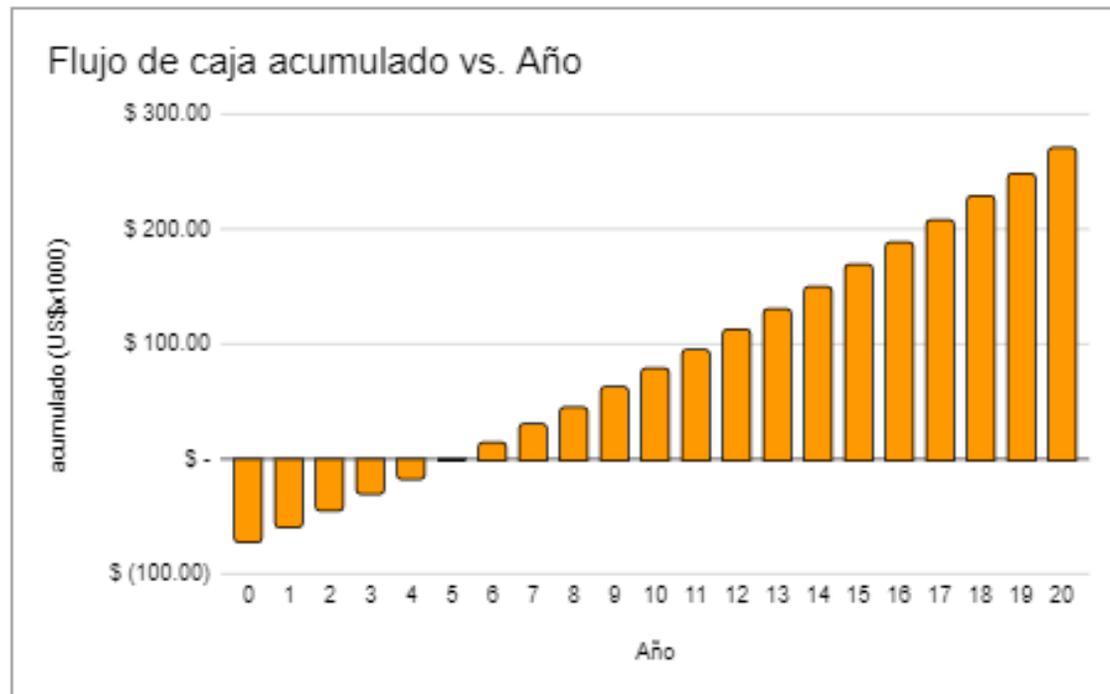
Anexo 1.4 Presupuesto detallado de Área para Hidroterapia

| Ítem | Descripción por subsistema | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Subtotal (\$) |
|----------------------|-----------------------------------|----------------|----------|---------------------|---------------------|
| 1 | Demoliciones y desmontajes | | | | |
| | Demoliciones de paredes | SG | 1 | \$ 1,450.00 | \$ 1,450.00 |
| | Desmontajes de puertas y equipos | SG | 1 | \$ 725.00 | \$ 725.00 |
| 2 | Paredes y divisiones | | | | |
| | Divisiones de tabla yeso | m ² | 250 | \$ 65.00 | \$ 16,250.00 |
| | División de acordeón | m ² | 30 | \$ 43.50 | \$ 1,305.00 |
| | Cortinas corridas | m ² | 48 | \$ 21.75 | \$ 1,044.00 |
| 3 | Enchapes | | | | |
| | Enchape con azulejo h=1.20 | m ² | 96 | \$ 21.75 | \$ 2,088.00 |
| | Curva sanitaria | ml | 80 | \$ 20.30 | \$ 1,624.00 |
| | Zócalo externo de vinil | ml | 39 | \$ 8.70 | \$ 339.30 |
| 5 | Pintura | | | | |
| | Pintura de paredes | m ² | 216 | \$ 7.25 | \$ 1,566.00 |
| 6 | Ventanas | | | | |
| | Ventanas proyectables | Un | 5 | \$ 362.50 | \$ 1,812.50 |
| 6 | Puertas | | | | |
| | Puerta de vidrio doble hoja | Un | 1 | \$ 725.00 | \$ 725.00 |
| 7 | Instalaciones eléctricas | | | | |
| | Instalaciones eléctricas | SG | 1 | \$ 5,800.00 | \$ 5,800.00 |
| 8 | Instalaciones hidráulicas | | | | |
| | Instalaciones hidráulicas | SG | 1 | \$ 3,625.00 | \$ 3,625.00 |
| 9 | Mobiliario y equipo | | | | |
| | Sillas de espera de 3 módulos | Un | 4 | \$ 870.00 | \$ 3,480.00 |
| | Escritorio | Un | 1 | \$ 362.50 | \$ 362.50 |
| | Sillas metálicas | Un | 13 | \$ 72.50 | \$ 942.50 |
| | Archivero metálico | Un | 2 | \$ 290.00 | \$ 580.00 |
| | Tina para miembros superiores | Un | 3 | \$ 3,915.00 | \$ 11,745.00 |
| | Tina para miembros inferiores | Un | 3 | \$ 3,915.00 | \$ 11,745.00 |
| | Tina para cuerpo completo | Un | 4 | \$ 4,640.00 | \$ 18,560.00 |
| Total (US\$): | | | | | \$ 85,768.80 |

Anexo 2.1.1: Gráfico de Flujo de caja para la propuesta de solución de sistema fotovoltaico



Anexo 2.2.1: Gráfico de Flujo de Caja Propuesta de Solución de Sistema Combinado (FV más termo solar)



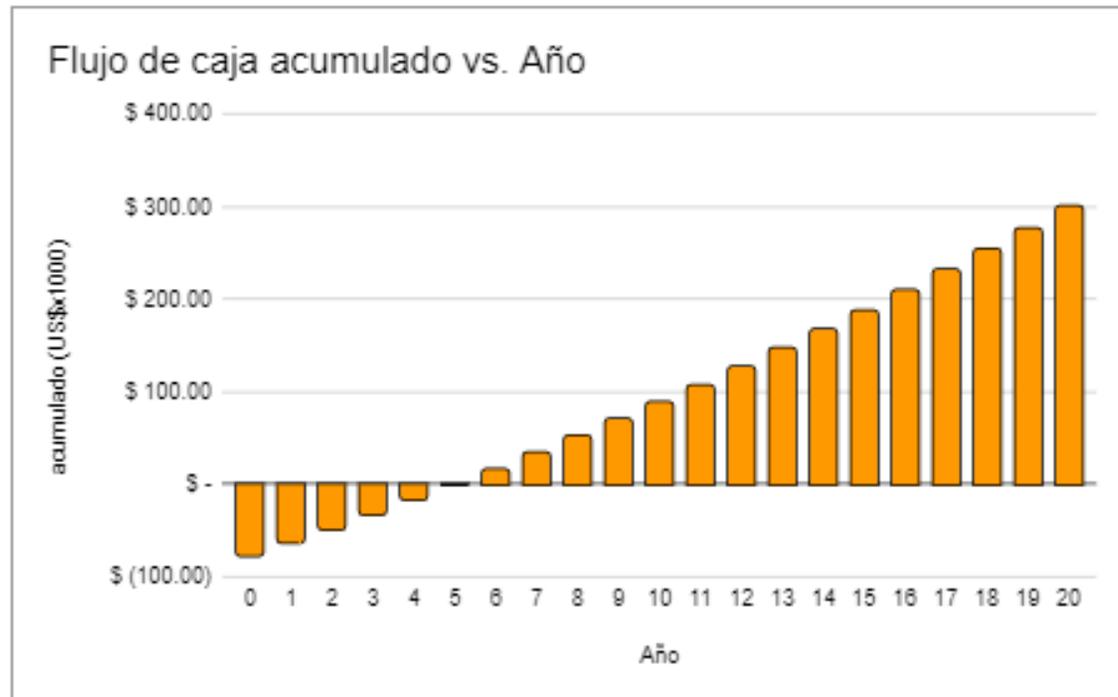
Anexo 2.3: Flujo de caja para la Propuesta de Solución de Sistema Híbrido.

| FLUJO DE CAJA, PROPUESTA (3) | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|--|-----------------------------|--|------------|--|--|--|
| Inversión Inicial | \$77,743.00 | | | Tasa de interés | | 6.0% | | | |
| Aportación | 100% | \$77,743.00 | | Tasa de inflación | | 2.5% | | | |
| Financiación | \$0.00 | | | Tasa de descuento (TMAR) | | 10% | | | |
| Periodo de amortización | 20 años | | | Depreciación [años] | | 10 | | | |
| Producción anual | 116,380.00 | kWh/año | | Impuestos | | 0% | | | |
| Precio de venta kWh | \$0.15 | \$/kWh | | O&M [US\$] | | \$2,500.00 | | | |
| Amortization por año | \$0.00 | | | Depreciación por año [US\$] | | \$7,774.30 | | | |

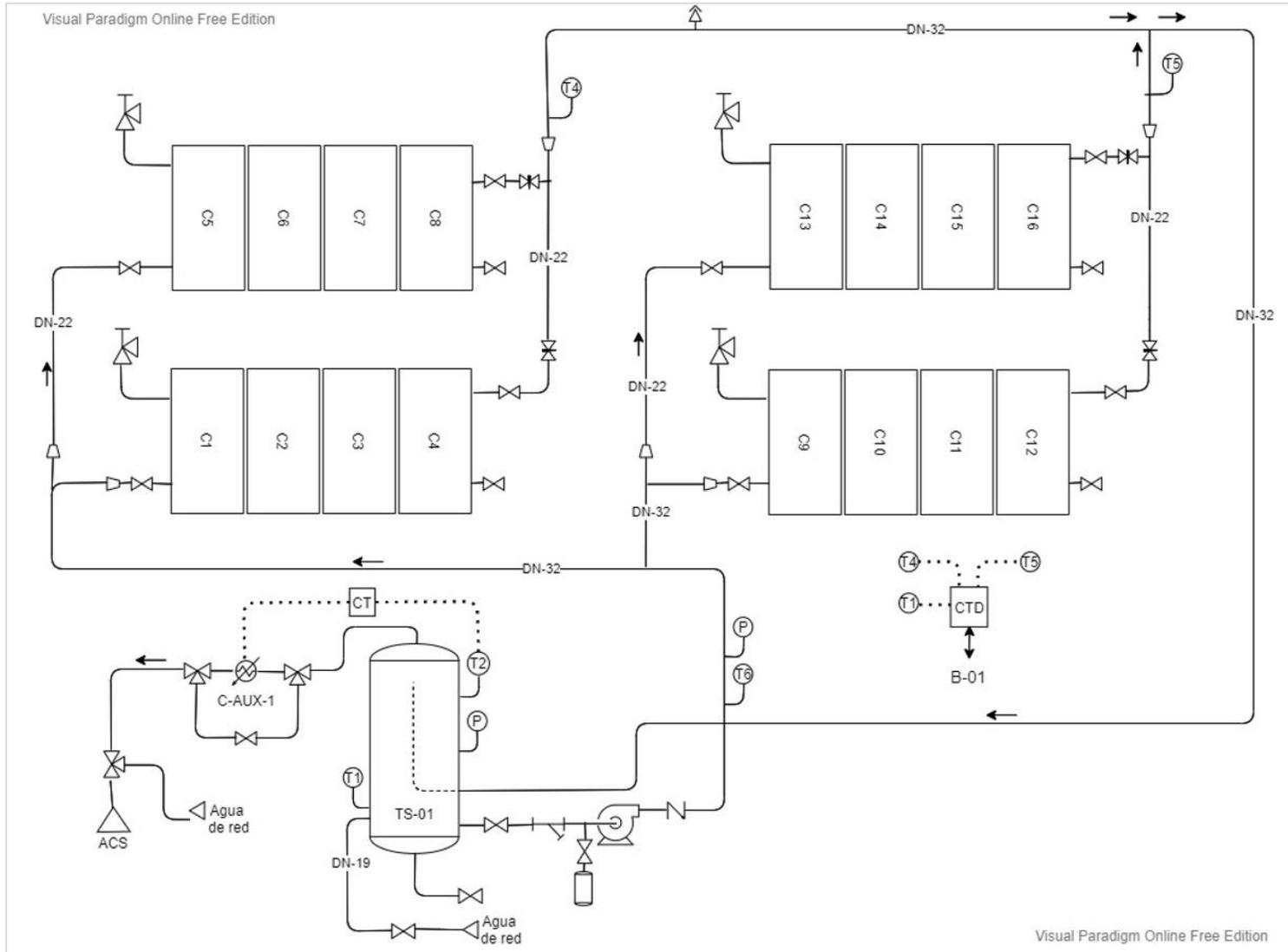
| VAN | TIR | PRI |
|-------------|--------|-----|
| \$71,596.47 | 20.84% | 4.8 |

| Año | Financiación | | | | | | Beneficio Bruto (AI) | Impuestos | Beneficio neto (DI) | Flujo de caja | Flujo caja acumulado |
|-----|--------------|------------|----------------|---------|--------------|--------------|----------------------|-----------|---------------------|---------------|----------------------|
| | Ingresos | O&M | Cap. Pendiente | Interés | Amortización | Depreciación | | | | | |
| 0 | -\$77,743.00 | | \$0.00 | | | | | | -\$77,743.00 | -\$77,743.00 | |
| 1 | \$17,307.00 | \$2,500.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$7,032.70 | \$0.00 | \$14,807.00 | \$14,807.00 | -\$62,936.00 |
| 2 | \$17,739.68 | \$2,562.50 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$7,402.88 | \$0.00 | \$15,177.18 | \$15,177.18 | -\$47,758.83 |
| 3 | \$18,183.17 | \$2,626.56 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$7,782.30 | \$0.00 | \$15,556.60 | \$15,556.60 | -\$32,202.22 |
| 4 | \$18,637.75 | \$2,692.23 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$8,171.22 | \$0.00 | \$15,945.52 | \$15,945.52 | -\$16,256.70 |
| 5 | \$19,103.69 | \$2,759.53 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$8,569.86 | \$0.00 | \$16,344.16 | \$16,344.16 | -\$87.46 |
| 6 | \$19,581.28 | \$2,828.52 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$8,978.46 | \$0.00 | \$16,752.76 | \$16,752.76 | \$16,840.22 |
| 7 | \$20,070.81 | \$2,899.23 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$9,397.28 | \$0.00 | \$17,171.58 | \$17,171.58 | \$34,011.80 |
| 8 | \$20,572.58 | \$2,971.71 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$9,826.57 | \$0.00 | \$17,600.87 | \$17,600.87 | \$51,612.67 |
| 9 | \$21,086.90 | \$3,046.01 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$10,266.59 | \$0.00 | \$18,040.89 | \$18,040.89 | \$69,653.56 |
| 10 | \$21,614.07 | \$3,122.16 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$7,774.30 | \$10,717.61 | \$0.00 | \$18,491.91 | \$18,491.91 | \$88,145.47 |
| 11 | \$22,154.42 | \$3,200.21 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$18,954.21 | \$0.00 | \$18,954.21 | \$18,954.21 | \$107,099.69 |
| 12 | \$22,708.28 | \$3,280.22 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$19,428.07 | \$0.00 | \$19,428.07 | \$19,428.07 | \$126,527.75 |
| 13 | \$23,275.99 | \$3,362.22 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$19,913.77 | \$0.00 | \$19,913.77 | \$19,913.77 | \$146,441.52 |
| 14 | \$23,857.89 | \$3,446.28 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$20,411.61 | \$0.00 | \$20,411.61 | \$20,411.61 | \$166,853.13 |
| 15 | \$24,454.34 | \$3,532.43 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$20,921.90 | \$0.00 | \$20,921.90 | \$20,921.90 | \$187,775.04 |
| 16 | \$25,065.70 | \$3,620.75 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$21,444.95 | \$0.00 | \$21,444.95 | \$21,444.95 | \$209,219.99 |
| 17 | \$25,692.34 | \$3,711.26 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$21,981.07 | \$0.00 | \$21,981.07 | \$21,981.07 | \$231,201.06 |
| 18 | \$26,334.65 | \$3,804.05 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$22,530.60 | \$0.00 | \$22,530.60 | \$22,530.60 | \$253,731.67 |
| 19 | \$26,993.01 | \$3,899.15 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$23,093.87 | \$0.00 | \$23,093.87 | \$23,093.87 | \$276,825.53 |
| 20 | \$27,667.84 | \$3,996.63 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$0.00 | \$23,671.21 | \$0.00 | \$23,671.21 | \$23,671.21 | \$300,496.75 |
| 21 | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | |

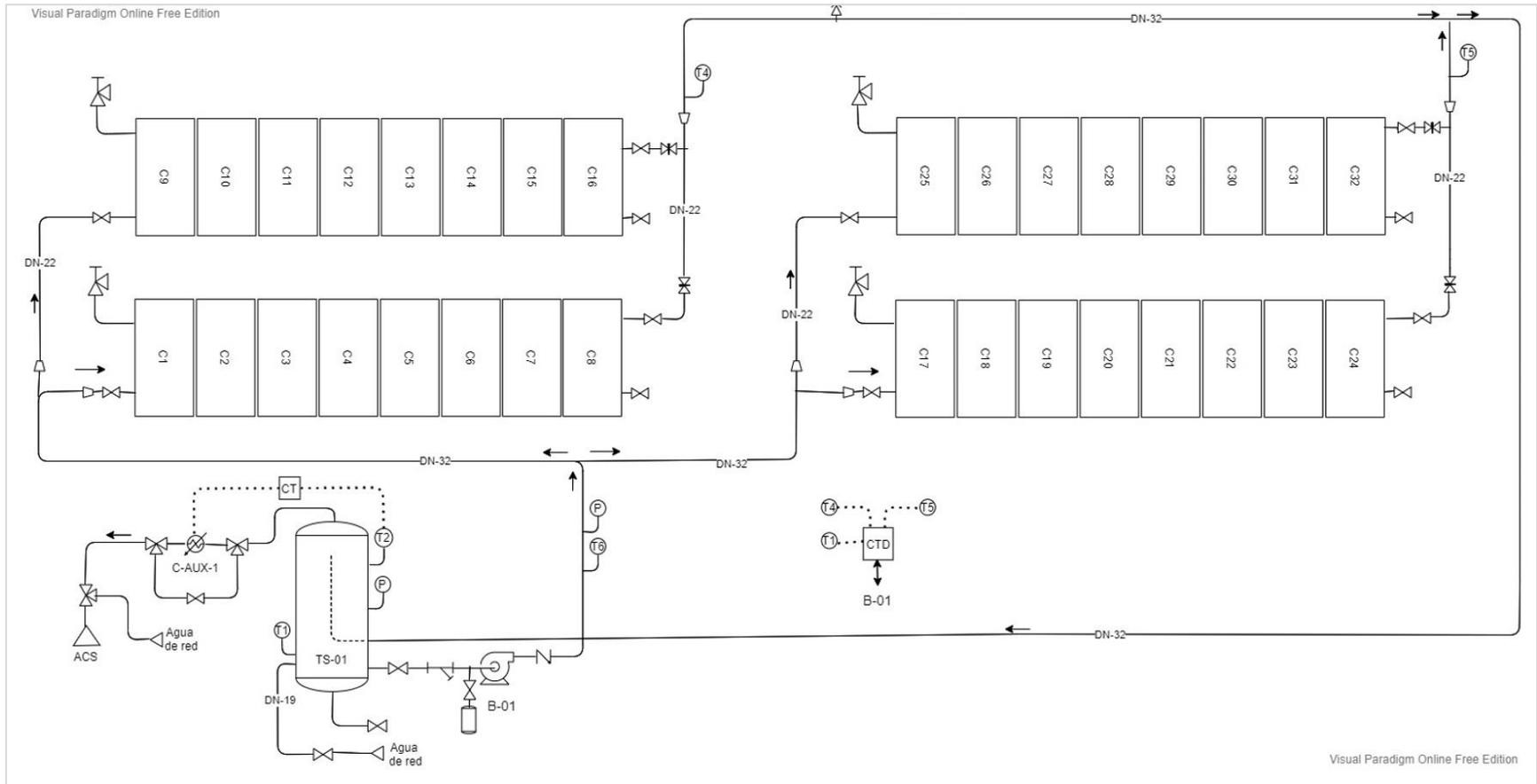
Anexo 2.3.1: Gráfico de Flujo de caja para la Propuesta de Solución de Sistema Híbrido (FV más Híbrido)



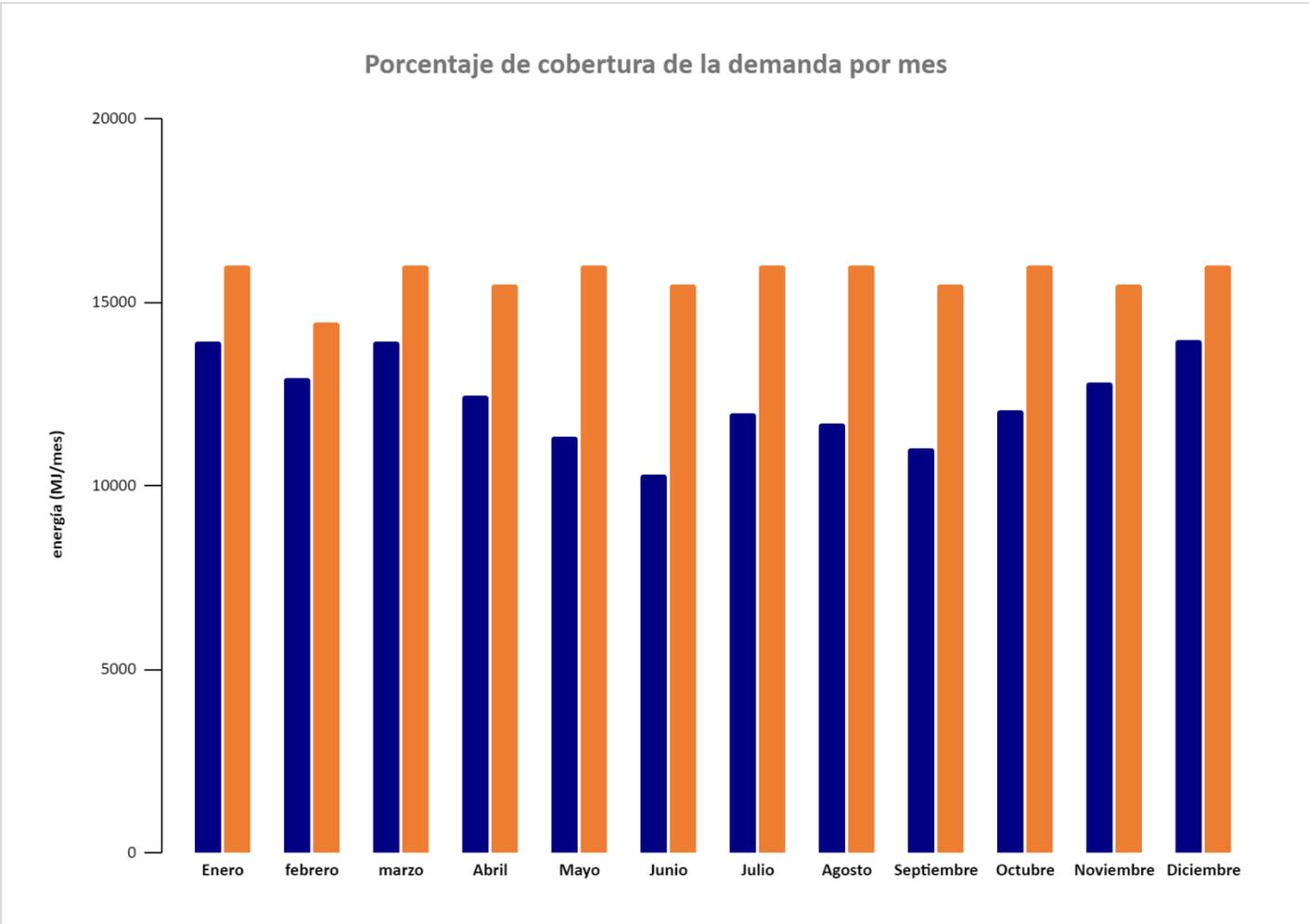
Anexo 3: Circuito Hidráulico para ACS con Captadores Planos (PremiumPlus 2.86, SOLARBAYER).



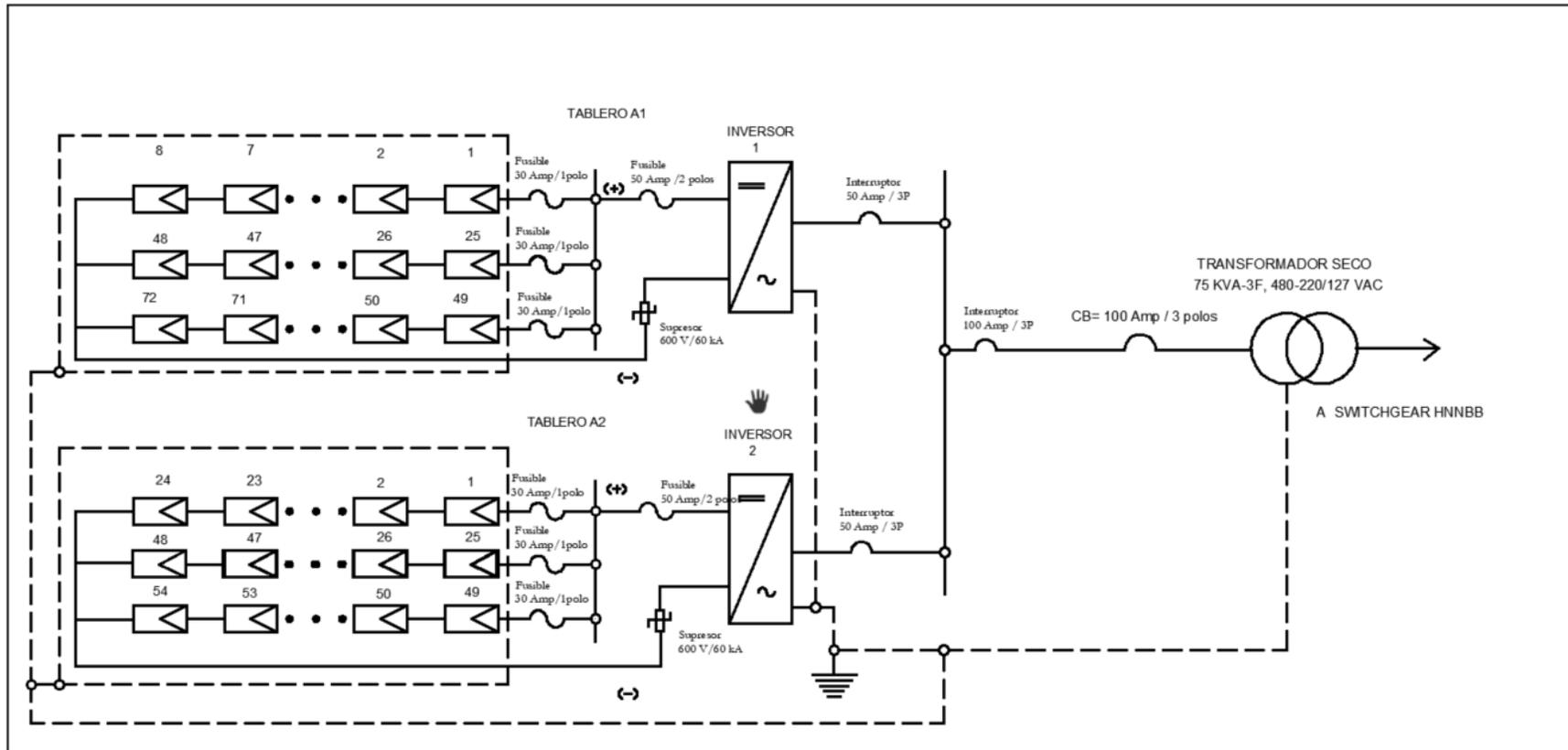
Anexo 4, Circuito Hidráulico de Sistema para ACS con Captadores Solares Híbridos (ABORA, aH72 SK).



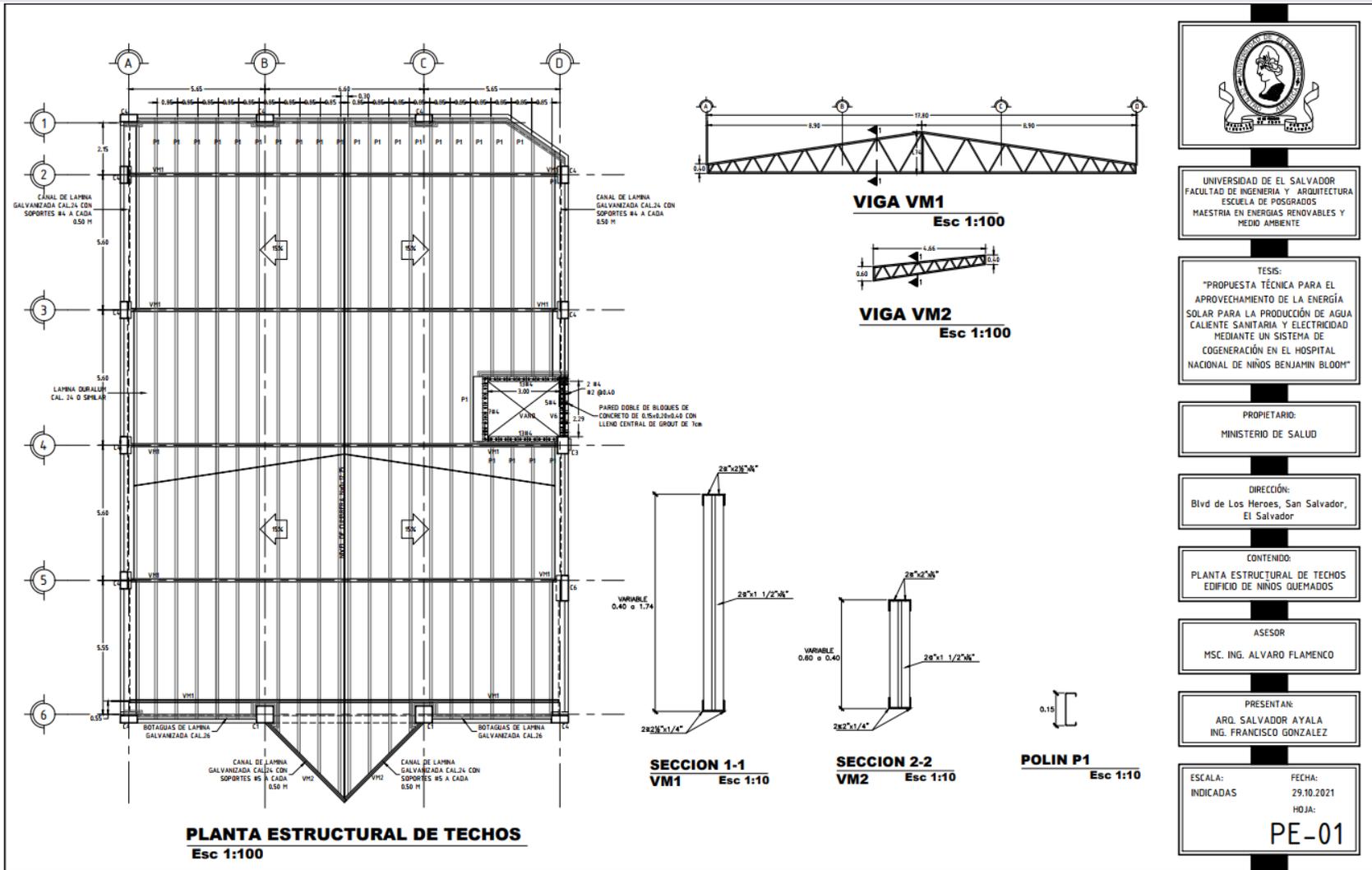
Anexo 5, Gráfico de Demanda de Energía y Porcentaje de Cobertura Solar por Mes para Sistema Híbrido.



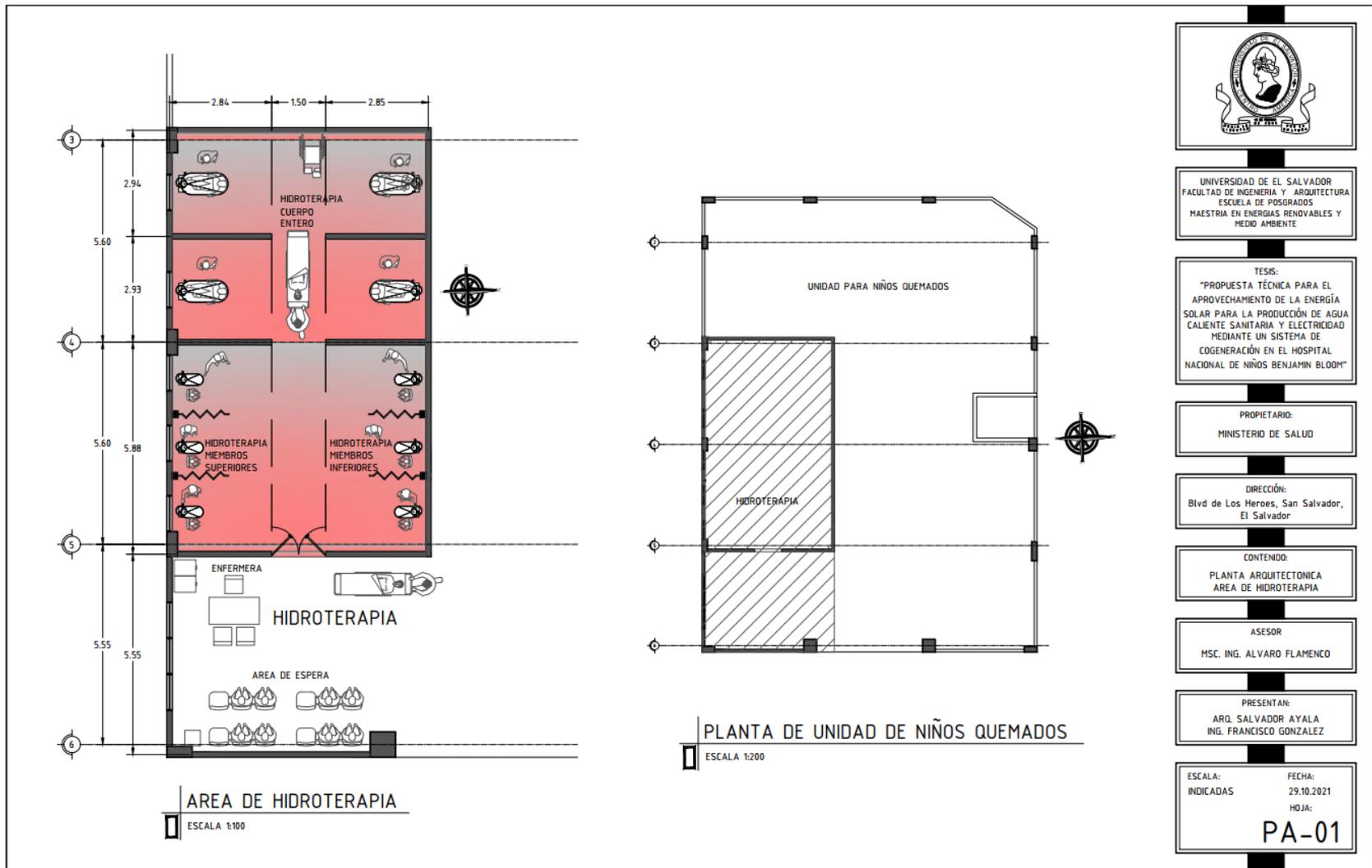
Anexo 6: Diagrama Unifilar de sistema Fotovoltaico Propuesto (55.44 kWp).



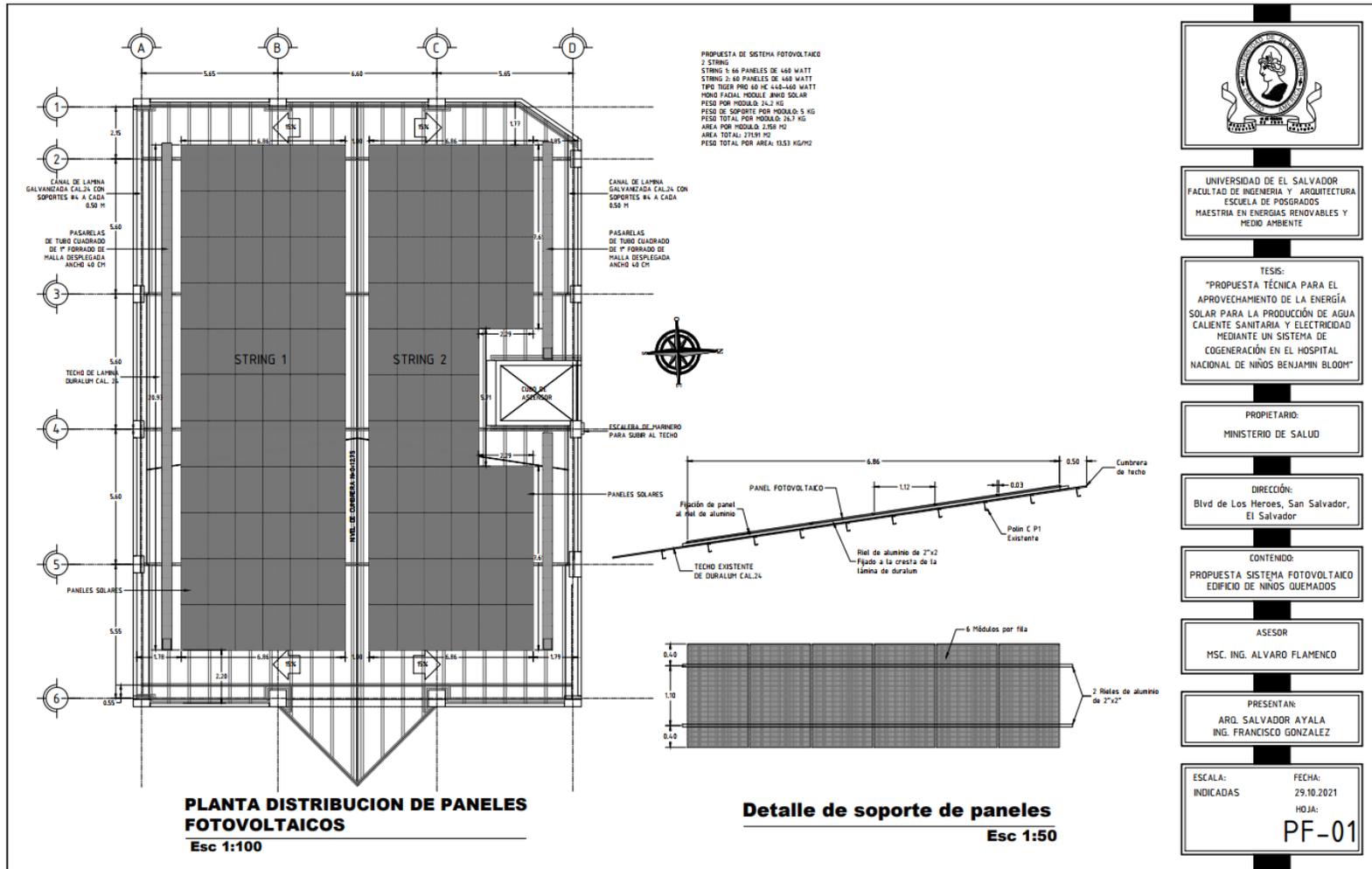
Anexo 7: Planta Estructural de Techo, Edificio de Unidad para Niños Quemados.



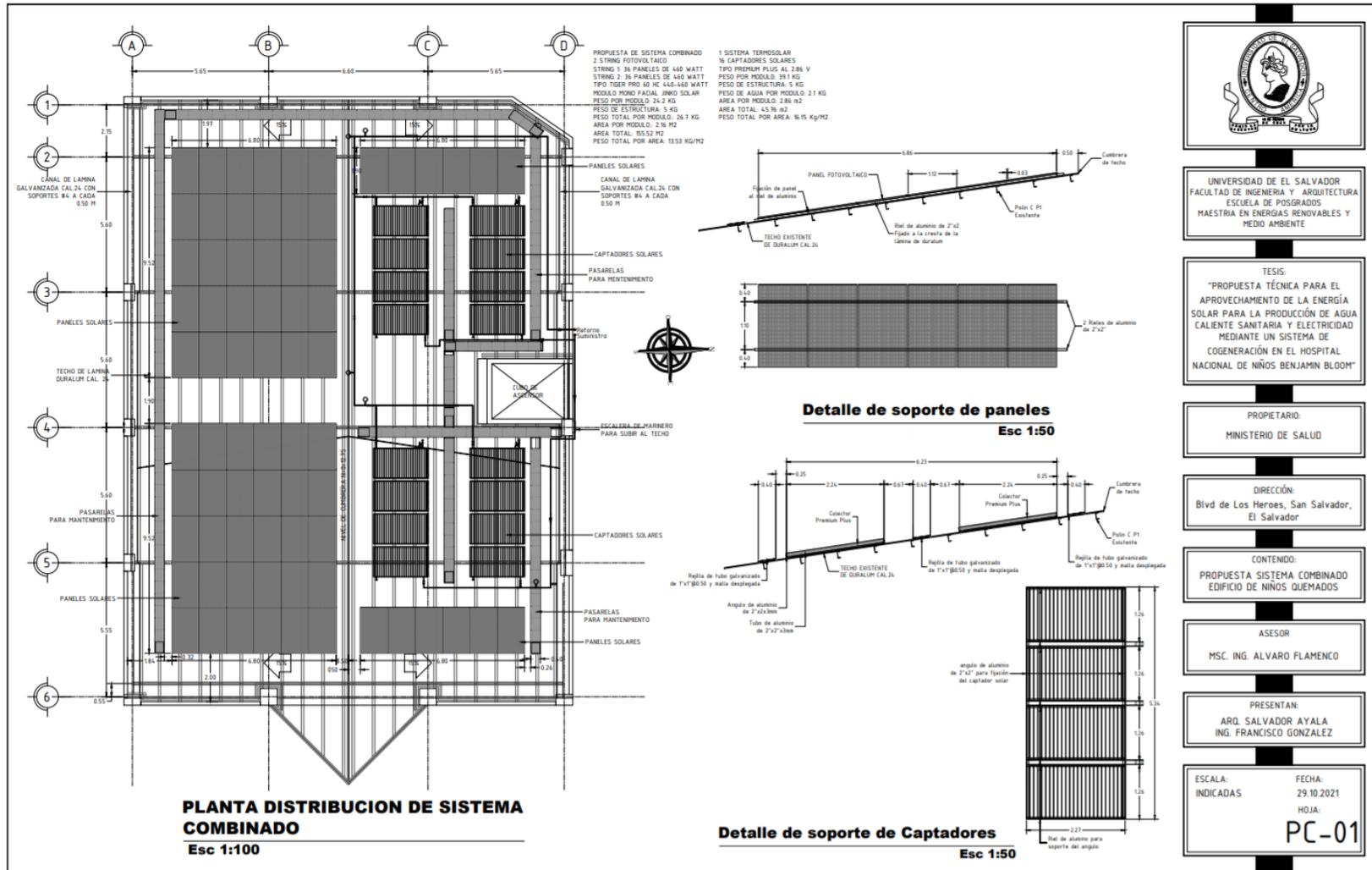
Anexo 8: Distribución de Espacios para Área de Hidroterapia (128 m²).



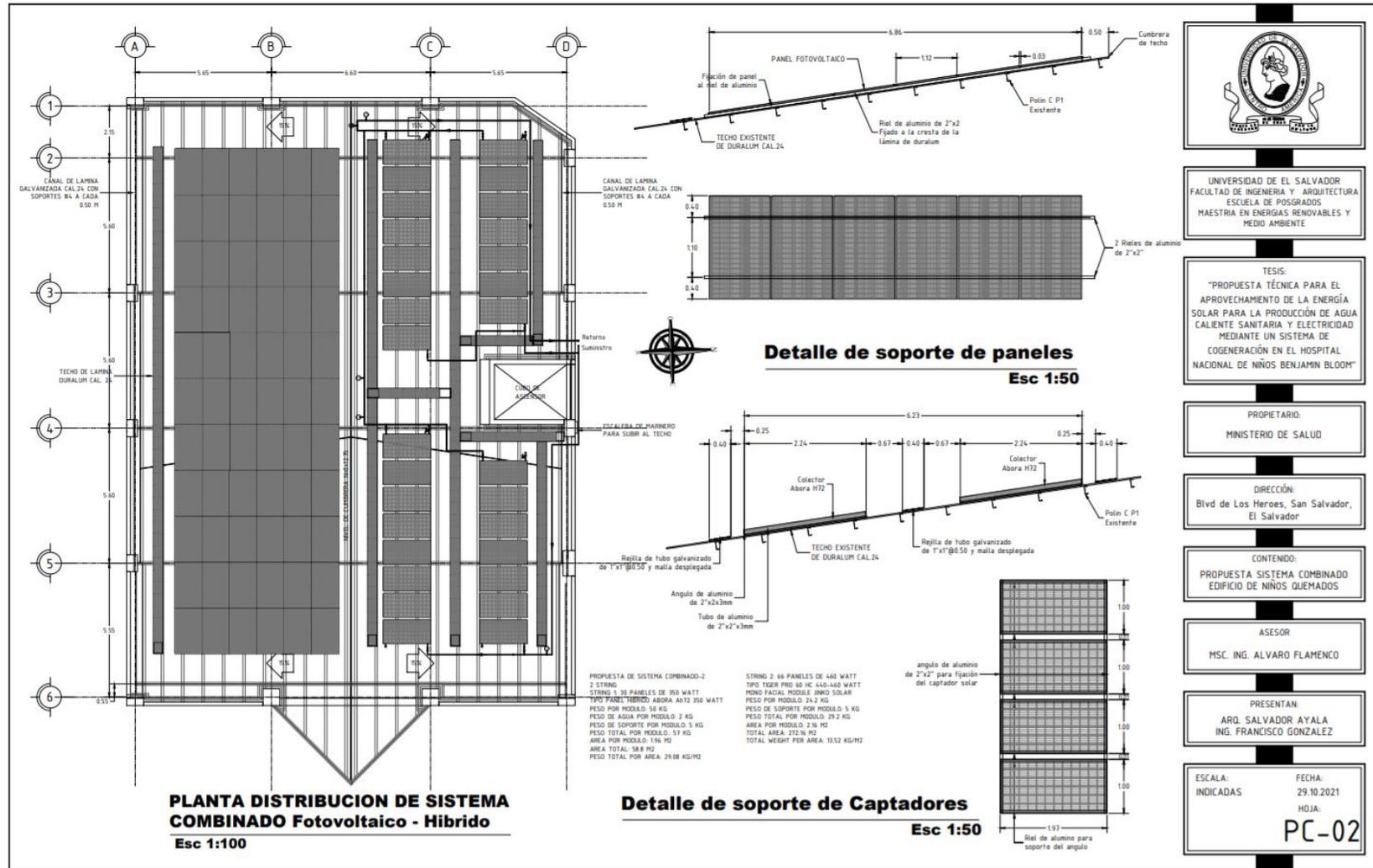
Anexo 9. Propuesta de Distribución de Módulos FV (55.44 kWp) Sobre Cubierta de Techo de Unidad para Niños Quemados.



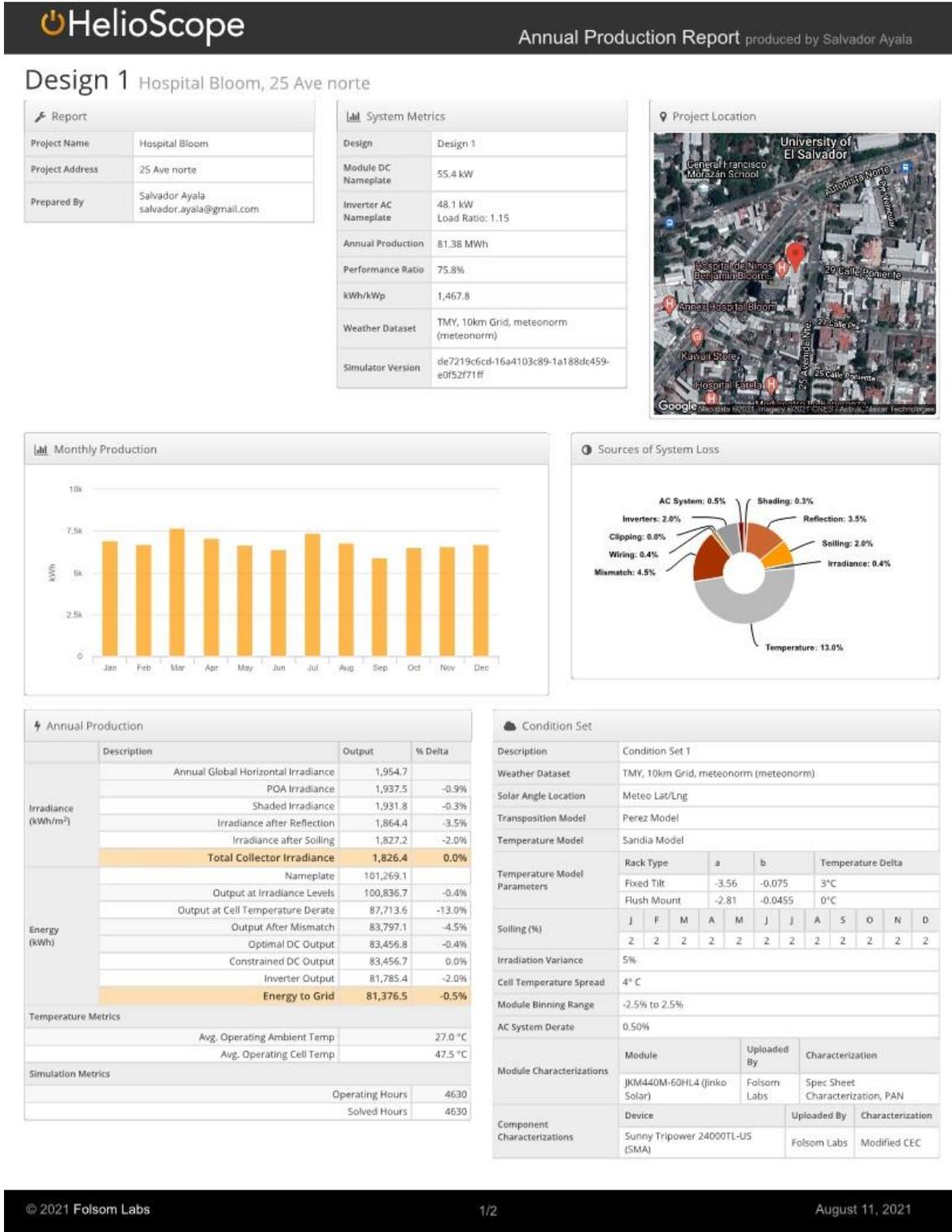
Anexo 10: Propuesta de Distribución de Módulos FV (30.8 kWp) y Captadores Planos para ACS.



Anexo 11: Propuesta de Distribución de Módulos FV (29.04 kWp) y Captadores Planos para ACS.



Anexo 12: Resultado de la simulación del generador FV realizar mediante HELIOSCOPE.



| Components | | |
|------------|-----------------------------------|---------------|
| Component | Name | Count |
| Inverters | Sunny Tripower 24000TL-US (SMA) | 2 (48.1 kW) |
| Strings | 10 AWG (Copper) | 6 (145.3 m) |
| Module | Jinko Solar, JKM440M-60HL4 (440W) | 126 (55.4 kW) |

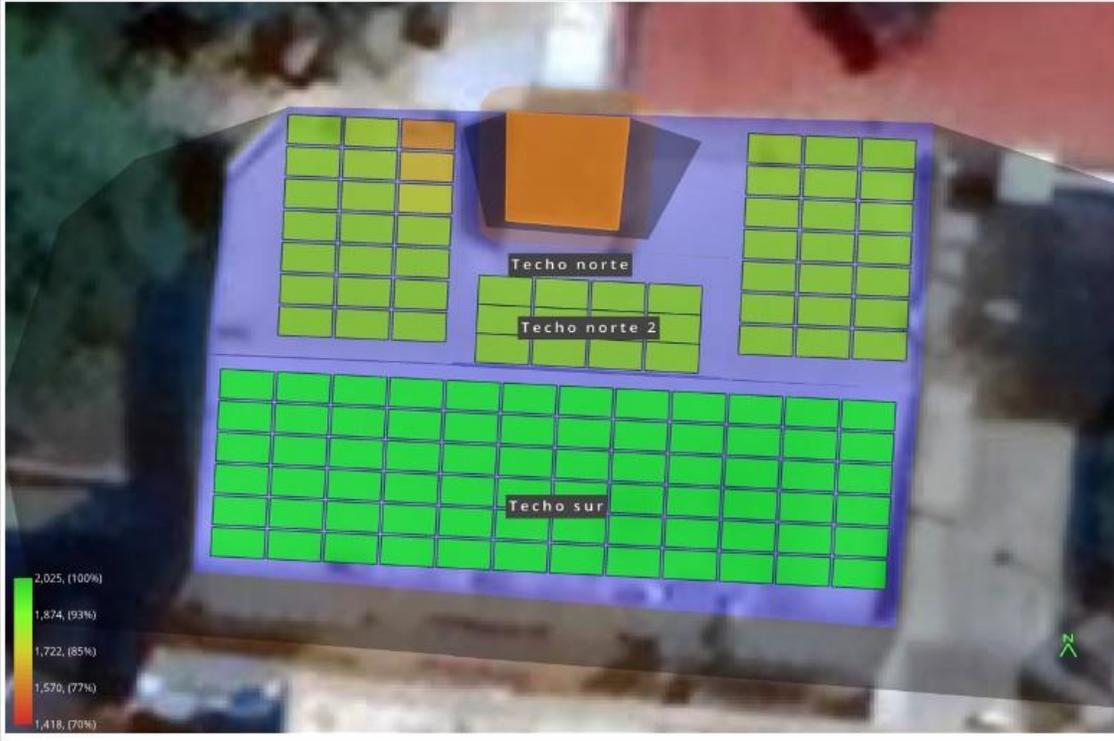
| Wiring Zones | | | |
|--------------|----------------|-------------|--------------------|
| Description | Combiner Poles | String Size | Stringing Strategy |
| Wiring Zone | - | 5-23 | Along Racking |

| Field Segments | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|------------------------|------|---------|------------------|------------|--------|---------|---------|
| Description | Racking | Orientation | Tilt | Azimuth | Intrarow Spacing | Frame Size | Frames | Modules | Power |
| Techo norte | Flush Mount | Landscape (Horizontal) | 15° | 2.5° | 1.0 m | 7x1 | 6 | 42 | 18.5 kW |
| Techo sur | Flush Mount | Landscape (Horizontal) | 15° | 183° | 0.0 m | 6x1 | 12 | 72 | 31.7 kW |
| Techo norte 2 | Flush Mount | Landscape (Horizontal) | 15° | 3° | 0.0 m | 1x1 | 12 | 12 | 5.28 kW |



Design 1 Hospital Bloom, 25 Ave norte

Shading Heatmap



Shading by Field Segment

| Description | Tilt | Azimuth | Modules | Nameplate | Shaded Irradiance | AC Energy | TOF ² | Solar Access | Avg TSRF ² |
|--------------------------------|-------|---------|------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|--------------|-----------------------|
| Techo norte | 15.0° | 2.5° | 42 | 18.5 kWp | 1,814.5kWh/m ² | 25.7 MWh ¹ | 90.4% | 99.1% | 89.6% |
| Techo sur | 15.0° | 183.0° | 72 | 31.7 kWp | 2,017.0kWh/m ² | 48.3 MWh ¹ | 99.6% | 100.0% | 99.6% |
| Techo norte 2 | 15.0° | 3.0° | 12 | 5.28 kWp | 1,831.4kWh/m ² | 7.40 MWh ¹ | 90.4% | 100.0% | 90.4% |
| Totals, weighted by kWp | | | 126 | 55.4 kWp | 1,931.8kWh/m² | 81.4 MWh | 95.7% | 99.7% | 95.4% |

¹ approximate, varies based on inverter performance
² based on location Optimal POA Irradiance of 2,025.4kWh/m² at 21.9° tilt and 175.0° azimuth

Solar Access by Month

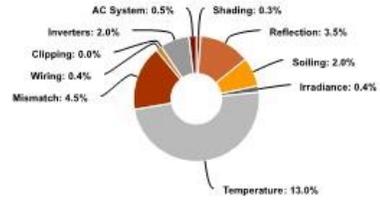
| Description | jan | feb | mar | apr | may | jun | jul | aug | sep | oct | nov | dec |
|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Techo norte | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% | 99% |
| Techo sur | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Techo norte 2 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Solar Access, weighted by kWp | 99.8% | 99.8% | 99.7% | 99.7% | 99.7% | 99.6% | 99.6% | 99.6% | 99.7% | 99.7% | 99.8% | 99.8% |
| AC Power (kWh) | 6,933.1 | 6,690.9 | 7,691.4 | 7,078.1 | 6,656.7 | 6,396.8 | 7,362.7 | 6,813.7 | 5,932.4 | 6,545.3 | 6,560.2 | 6,715.2 |

Monthly Production

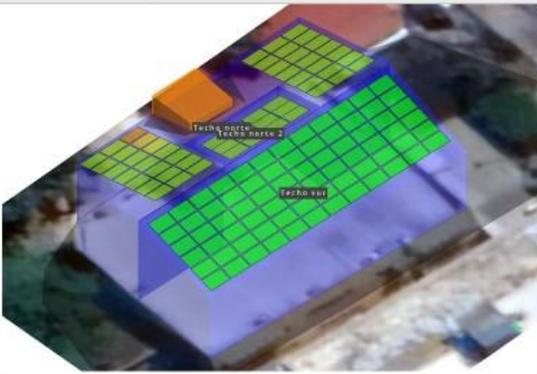


| Month | GHI (kWh/m ²) | POA (kWh/m ²) | Shaded (kWh/m ²) | Nameplate (kWh) | Grid (kWh) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|------------|
| January | 164.3 | 165.6 | 165.3 | 8,634.6 | 6,933.1 |
| February | 160.4 | 160.2 | 159.8 | 8,386.7 | 6,690.9 |
| March | 185.0 | 183.3 | 182.8 | 9,603.2 | 7,691.4 |
| April | 171.9 | 168.7 | 168.1 | 8,842.4 | 7,078.1 |
| May | 159.9 | 156.9 | 156.4 | 8,201.8 | 6,656.7 |
| June | 155.5 | 152.0 | 151.4 | 7,950.0 | 6,396.8 |
| July | 179.3 | 175.4 | 174.7 | 9,172.7 | 7,362.7 |
| August | 166.0 | 162.7 | 162.1 | 8,508.0 | 6,813.7 |
| September | 140.5 | 138.9 | 138.5 | 7,256.3 | 5,932.4 |
| October | 155.3 | 154.7 | 154.3 | 8,083.2 | 6,545.3 |
| November | 156.1 | 157.0 | 156.7 | 8,188.4 | 6,560.2 |
| December | 160.5 | 162.1 | 161.8 | 8,441.8 | 6,715.2 |

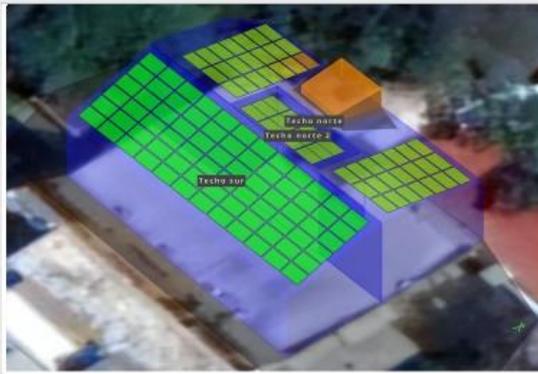
Sources of System Loss



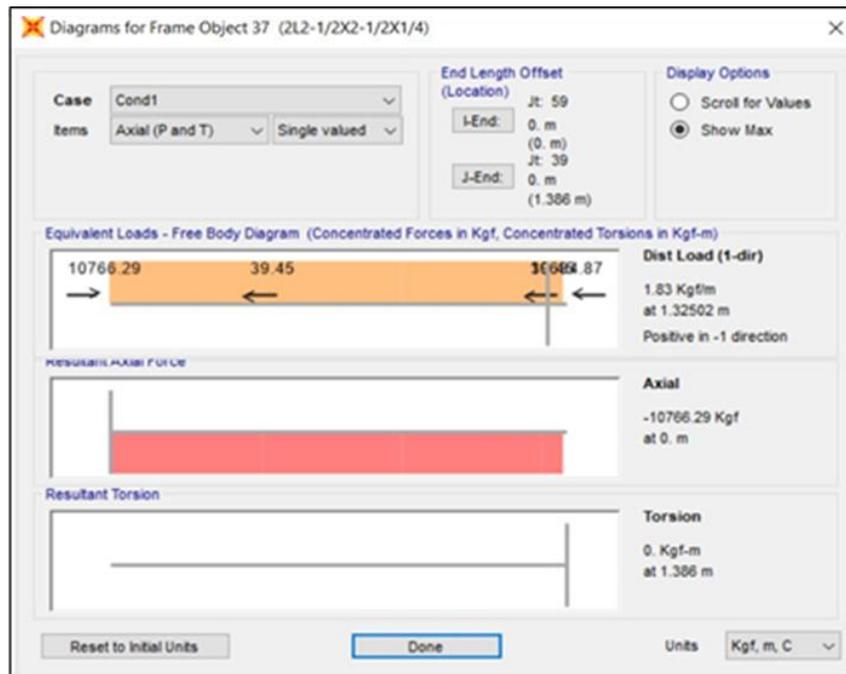
Southwestern Angle



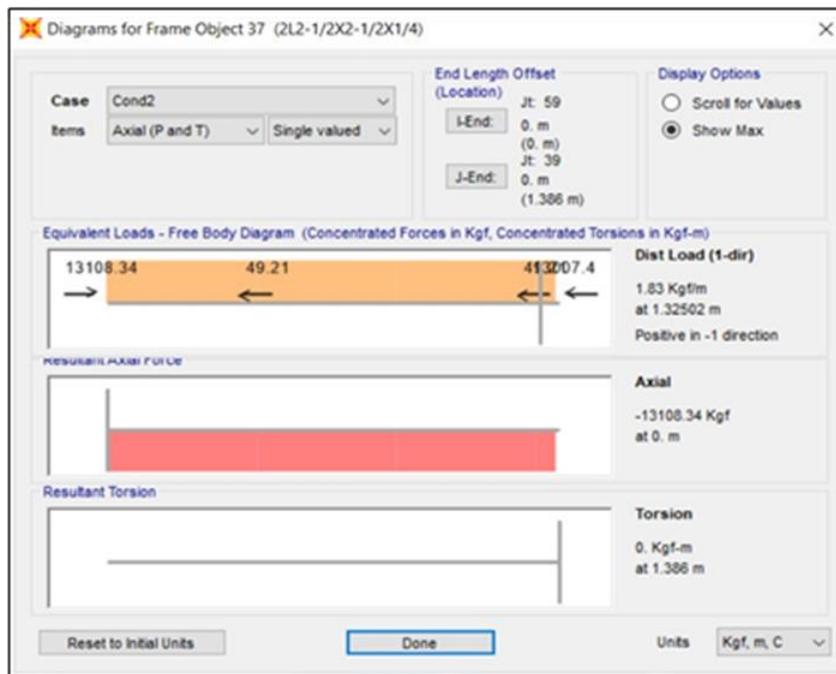
Southeastern Angle



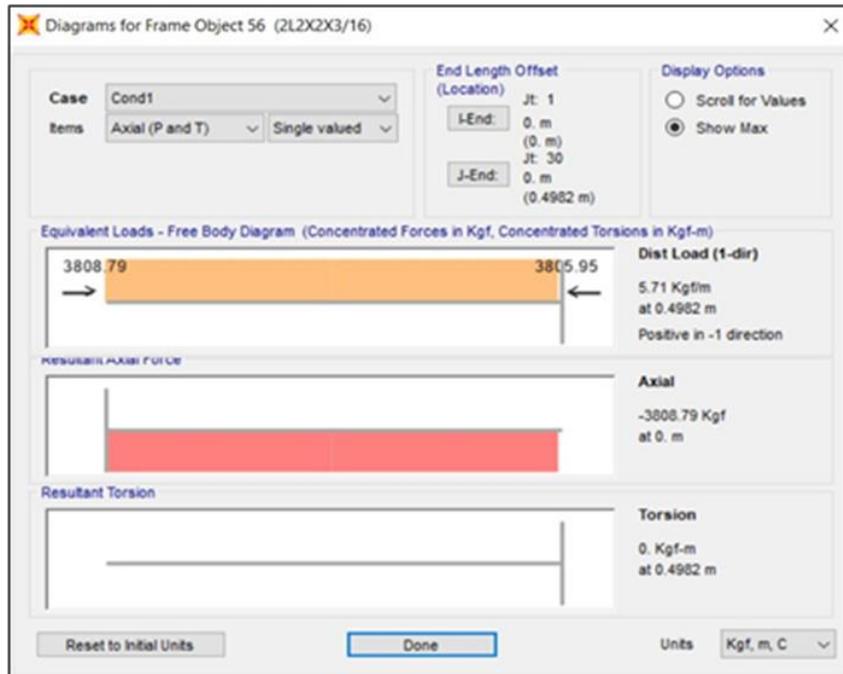
Anexo 13: Revisión estructural con SAP 2000.



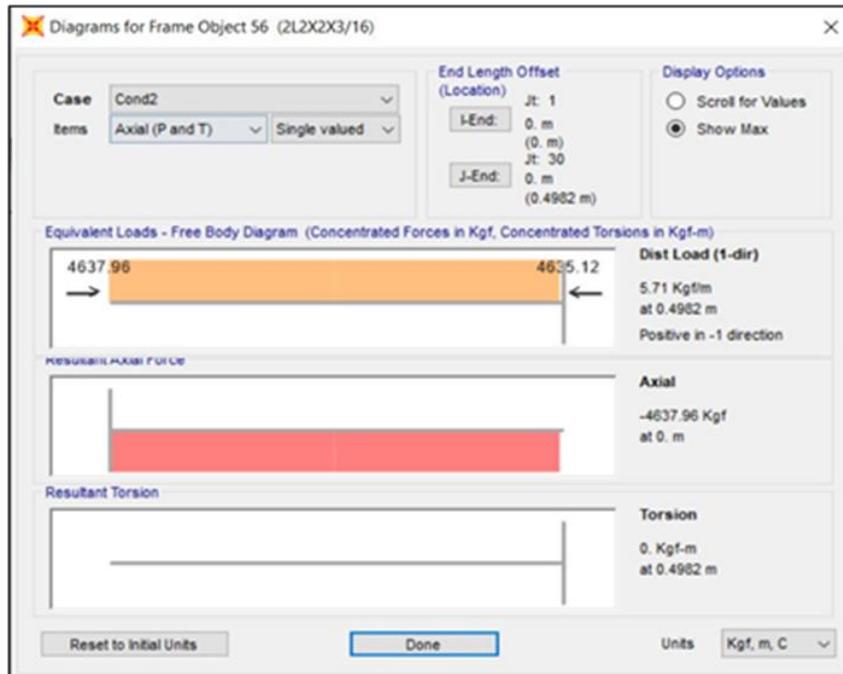
Anexo 13.1 La carga actuante actual sobre las cuerdas más solicitada



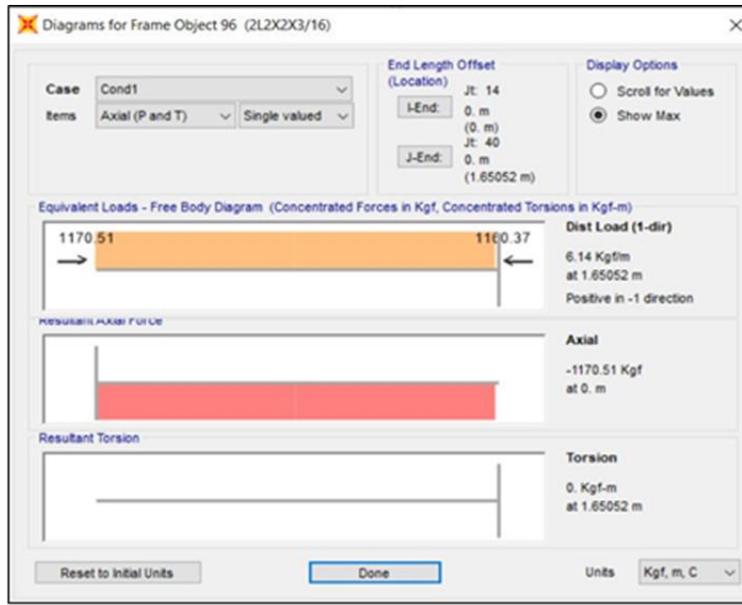
Anexo 13.2 La carga actuante con los paneles solares sobre la cuerda más solicitada



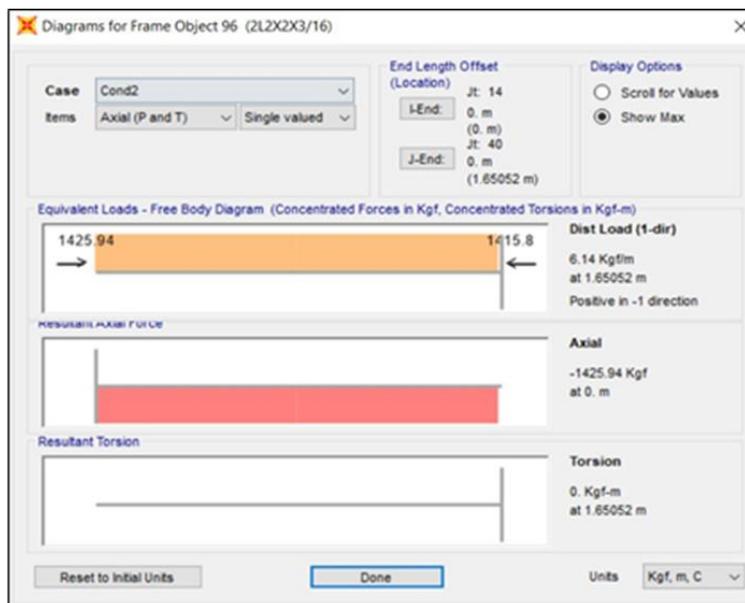
Anexo 13.3 La carga actuante actual sobre la celosía más solicitada



Anexo 13.4 La carga actuante con los paneles solares sobre la celosía más solicitada



Anexo 13.5 La carga actuante actual sobre la celosía más esbelta



Anexo 13.6 La carga actuante con los paneles solares sobre la celosía más esbelta

Las revisiones se han efectuado utilizando cálculos manuales, así como cálculos realizados en el Programa de Cálculo Estructural SAP2000 versión 21, con el cual se analizó la estructura primaria de la cubierta de techos.