

UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Arquitectura

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA PISCINA OLÍMPICA DE LA FDA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOL- TAICA, ANALIZANDO LAS IMPLICA- CIONES ARQUITECTÓNICAS - CONS- TRUCTIVAS

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Arquitecto

Autores:

Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta
C.I: 0105153217
jorgeberrezueta94@gmail.com

Edisson Manuel Valdiviezo Siguenza
C.I: 0106443823
edissonvsr@gmail.com

Director:

Arq. Esteban Felipe Zalamea León, PhD
CI: 0102125952

Cuenca - Ecuador
25 de octubre de 2022



UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Determinación del potencial de autoabastecimiento energético de la piscina olímpica de la FDA a través de la implementación de energía solar térmica y fotovoltaica, analizando las implicaciones arquitectónicas-constructivas

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta
C.I: 0105153217
jorgeberrezueta94@gmail.com

Edisson Manuel Valdiviezo Siguenza
C.I: 0106443823
edissonvsr@gmail.com

Director:

Arq. Esteban Felipe Zalamea León, PhD
CI: 0102125952

Cuenca - Ecuador
25 de octubre de 2022

RESUMEN

El uso a gran escala de fuentes de energía contaminantes con altos niveles de residuos tóxicos ha generado un cambio radical en el medio ambiente, dando lugar al problema global del cambio climático. En América Latina predomina el uso de combustibles fósiles y fuentes de energía consideradas no renovables. Para reducir las emisiones y frenar el cambio climático es imprescindible utilizar energías renovables de bajo impacto ambiental, como las tecnologías fotovoltaicas y solar térmica.

Este estudio analiza el abastecimiento energético de la piscina olímpica del complejo deportivo Bolivariano de la ciudad de Cuenca mediante la implantación de la tecnología fotovoltaica y solar térmica en la cubierta, así como las implicaciones arquitectónicas y constructivas a través de fotomontajes.

El recinto de la piscina olímpica consta de 3 piscinas: la olímpica, la de clavados y la infantil, actualmente calentadas por calderas que consumen combustible búnker. Las piscinas contienen

3.522 m³ de agua y requieren 28.695,70 kW de energía térmica para calentar todo el volumen de agua. El suministro de energía se analiza en dos situaciones: cuando el calentamiento inicial tiene lugar en un día y cuando tiene lugar en tres días. En el primer caso (calentamiento en un día), la tecnología solar térmica suministra hasta un 28%, la temperatura del agua se eleva en aproximadamente 1,68 °C, en el segundo caso (tres días), suministra hasta un 67% lo que equivale a elevar la temperatura en aproximadamente 4 °C. La tecnología fotovoltaica puede suministrar hasta un 32% que equivale a 1,9 °C en el primer caso, y hasta un 76% en el segundo, el agua se puede calentar en 4,5 °C.

El análisis arquitectónico y constructivo muestra que ambas tecnologías pueden superponerse con éxito tras la modulación y reorganización de las entradas de luz de la cubierta existente de la piscina. En base a los resultados, la tecnología fotovoltaica resultó ser la más eficiente y la que ofrece mejores pers-

pectivas de aplicación ya que el excedente de energía puede ser suministrado a la red pública o utilizado en la demanda eléctrica de otras áreas del complejo deportivo Bolivariano.

Palabras clave:
Energía solar. Energía térmica. Energía renovable. Piscina olímpica. Eficiencia energética. Integración arquitectónica.

ABSTRACT

The large-scale use of polluting energy sources with high levels of toxic waste has generated a radical change in the environment, giving rise to the global problem of climate change. In Latin America, the use of fossil fuels and energy sources is considered non-renewable predominates. To reduce emissions and curb climate change, it is essential to use renewable energies with low environmental impact, such as photovoltaic and solar thermal technologies.

This study analyzes the energy supply of the Olympic swimming pool of the Bolivarian sports complex in the city of Cuenca through the implementation of photovoltaic and solar thermal technology on the roof, as well as the architectural and constructive implications through photo-montages.

The Olympic pool enclosure consists of 3 pools: the Olympic pool, the diving pool, and the children's pool, currently heated by boilers that consume bunker fuel. The pool contains 3,522 m³ of water and requires 28,695.70 kW of

thermal energy to heat the entire volume of water. The energy supply is analyzed in two situations: when the initial heating takes place in one day and when it takes place in three days. In the first case (heating in one day), the solar thermal technology supplies up to 28%, the water temperature is raised by approximately 1.68 °C. In the second case (three days), it supplies up to 67% which is equivalent to raising the temperature by approximately 4 °C. Photovoltaic technology can supply up to 32% equivalent to 1.9 °C in the first case, and up to 76% in the second case, the water can be heated by 4.5 °C.

The architectural and constructive analysis reveals that both technologies may superimpose after modulation and reorganization of the light inlets of the pool cover. Based on the results, the photovoltaic technology turned out to be the most efficient and offers better application prospects, since the energy surplus can be supplied to the public grid or used in the electrical demand of other areas of the Bolivarian sports complex.

Keywords:
Solar energy. Thermal energy. Renewable energy. Olympic swimming pool. Energy efficiency. Architectural integration.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN.....20

1.2 PROBLEMÁTICA22

1.3 HIPÓTESIS24

1.4 OBJETIVOS.....25

CAPÍTULO 2

2.1 PISCINAS OLÍMPICAS Y EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSI-
LES.....28

2.1.1 Piscinas 28

2.1.2 Sistema de calentamiento de piscinas 28

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES.....29

2.2.1 Tipos de energías renovables 29

2.3 ENERGÍA SOLAR.....30

2.3.1 Radiación solar 30

2.4 USO POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR31

2.5 ESTRATEGIAS ACTIVAS Y PASIVAS EN EL DISEÑO ARQUI-
TECTÓNICO.....32

2.5.1 Captación solar pasiva 32

2.5.2 Tecnologías de captación solar activa 32

2.6.1 Tipos de aplicación 36

2.6 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE CST Y PFV36

2.7 CASOS DE ESTUDIO SOLAR TÉRMICO Y FOTOVOLTAICO
EN COMPLEJOS DEPORTIVOS.....38

2.7.1 Georgia Tech Aquatic Center..... 38

2.7.2 Trinity - Harvard Square 39

2.7.3 Piscina, Freibad Ilanz, Switzerland, 1996 40

2.7.4 Piscina de Wallenbach en Lenk (BE), Suiza..... 41

2.7.5 Solar roof Hallenbad-Buchensaal in Speicher-Sui-
za..... 42

2.7.6 Three in one sport center..... 43

CAPÍTULO 3

3.1 ANÁLISIS DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE LA FDA 46

3.1.1 Ubicación 46

3.1.2 Análisis bioclimático 47

3.1.3 Contexto..... 48

3.2 PISCINA OLÍMPICA49

3.3 LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....51

3.4 TIPOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN.....54

3.5 CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA
.....55

3.6 ESTRATEGIAS PASIVAS DE LA CUBIERTA.....56

3.7 EVALUACIÓN DEL ESTADO CONSTRUCTIVO57

3.8 ESTUDIO DE SOMBRA Y RECORRIDO SOLAR.....58

3.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 67

CAPÍTULO 4

4.1 DEMANDA ENERGÉTICA70

4.1.1 Demanda energética basada en CST..... 72

4.1.2 Demanda energética basada en PFV 73

4.2 PROPUESTA DE CST DE TUBO DE VACÍO75

4.2.2 Montaje de CST ETC-20..... 76

4.2.3 Intercambiador de calor..... 77

4.2.4 Bomba 78

4.3 PROPUESTA DE PFV.....80

4.3.1 Tipo de integración arquitectónica..... 80

4.3.2 Sistemas de anclaje 81

4.3.3 Bomba de calor 82

CAPÍTULO 5

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA SIMULACIÓN
.....86

5.1.1 Definiciones de orientación e inclinación de CST
Y PFV 87

5.2 SIMULACIÓN DE RENDIMIENTOS DE CST88

5.2.1 Procedimiento88

5.3 PRODUCCIÓN - PROMEDIO MENSUAL POR AÑO CON
CST92

5.4 MONTAJE Y PROPUESTA DE CST.....99

5.5 DETALLES DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y VISUALIZACIÓN AR-
QUITECTÓNICA DE CST..... 100

5.6 SIMULACIÓN DE RENDIMIENTO CON PFV 102

5.6.1 Procedimiento 102

5.7 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MENSUAL
POR AÑO CON PFV 105

5.8 MONTAJE Y PROPUESTA DE PFV 113

5.9 DETALLES DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y VISUALIZACIÓN AR-
QUITECTÓNICA DE PFV..... 114

CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSIONES..... 118

6.2 RECOMENDACIONES..... 120

BIBLIOGRAFÍA..... 121

ANEXOS 130

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO 2

Imagen 2.01: Parque Eólico Villonaco-Loja-Ecuador.....29

Imagen 2.02: Funcionamiento CST Heat-Pipe de tubos de vacío33

Imagen 2.03: Sistemas conectados a la red.....35

Imagen 2.04: Captadores simplemente colocados.37

Imagen 2.05: Captadores superpuestos.37

Imagen 2.06: Captadores con integración arquitectónica.37

Imagen 2.07: Vista aérea general del Georgia Tech Aquatic Center.38

Imagen 2.08: Vista aérea 1 de los PFV.....38

Imagen 2.09: Vista aérea 2 de los PFV.....38

Imagen 2.10: Vista aérea general de Harvard Square-Trinidad.....39

Imagen 2.11: Vista externa de los PFV.39

Imagen 2.12: Vista interna de los PFV.39

Imagen 2.13: Vista de la cubierta con la instalación solar de CST en Ilanz.....40

Imagen 2.14: Vista de la piscina exterior que es temperada con CST en Lenk.41

Imagen 2.15: Vista aérea de PFV en solar roof- Speicher.42

Imagen 2.16: Vista aérea de PFV en Three in One Sport Center.....43

CAPÍTULO 3

Imagen 3.01: Contexto del lugar de estudio vista 01.....48

Imagen 3.02: Contexto del lugar de estudio vista 02.....48

Imagen 3.03: Contexto_Rio Tomebamba vista 03.....48

Imagen 3.04: Vista externa de la estructura.49

Imagen 3.05: Piscina de niños.50

Imagen 3.06: Piscina olímpica.....50

Imagen 3.07: Piscina de clavados.....50

Imagen 3.08: Vista externa del techo de la piscina olímpica.54

Imagen 3.09: Cuarto de maquinas.54

Imagen 3.10: Vista interna de la cubierta.55

Imagen 3.11: Vista interna de la cubierta_cuarto de maquinas.55

Imagen 3.12: Estructura de la cubierta actual - vista interna central.56

Imagen 3.13: Modelado en 3D ArchiCad.58

Imagen 3.14: Software Ecotect Analysis 2011.58

Imagen 3.15: Importación de modelo 3D.59

Imagen 3.16: Parámetros a importar.....59

Imagen 3.17: Diagrama Solar.....60

CAPÍTULO 4

Imagen 4.01: Detalle Colector ETC-20.75

Imagen 4.02: Sistema de montaje CST.....76

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 4.03: CST ETC-20.....76

Imagen 4.04: Intercambiador de calor.....77

Imagen 4.05: Sistema de circulación.78

Imagen 4.06: Bomba Silen S150.79

Imagen 4.07: Panel monocristalino TSM-DE09.08 Vertex S de Trina Solar.....80

Imagen 4.08: Sistema de anclaje.81

Imagen 4.09: Bomba de calor Ultratemp Pentair.....82

CAPÍTULO 5

Imagen 5.01: Selección de modelo tecnológico y financiero.....86

Imagen 5.02: Forma de visualización de resultados.....86

Imagen 5.03: Localización del fichero climático PFVGIS.88

Imagen 5.04: Localización del fichero climático.....88

Imagen 5.05: Localización del fichero climático en el Disco local C.....89

Imagen 5.06: Localización del fichero climático desde el SAM.89

Imagen 5.07: Editación sección “Hot Water Draw”.90

Imagen 5.08: Localización del CST.90

Imagen 5.09: Resultados de energía producida en kWh.91

Imagen 5.10: Vista aérea de los CST.99

Imagen 5.11: Perspectiva sur-oeste de los CST.100

Imagen 5.12: Selección del fichero climático de Cuenca.102

Imagen 5.13: Información PFV de 120 celdas.....102

Imagen 5.14: Asignación de datos del inversor.....103

Imagen 5.15: Asignación de azimut e inclinación de PFV.103

Imagen 5.16: Resultados de simulación con PFV.104

Imagen 5.17: Vista aérea de los PFV.113

Imagen 5.18: Perspectiva de propuesta PFV.....114

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.01: Esquema del consumo de combustibles fósiles a nivel Mundial.22

Figura 1.02: Países que presentan un mayor consumo de combustibles fósiles.22

Figura 1.03: Consumo de energía en América Latina y el Caribe por tipo de fuente23

Figura 1.04: Impulsores de emisiones de CO2 de la combustión de combustible, índice, Ecuador.....23

CAPÍTULO 2

Figura 2.01: Radiación solar sobre el territorio ecuatoriano.31

Figura 2.02: Tipos de instalación fotovoltaica.34

Figura 2.03: Tipos de aplicaciones en la arquitectura. ..37

CAPÍTULO 3

Figura 3.01: Ubicación del lugar de estudio.....46

Figura 3.02: Análisis bioclimático.....47

Figura 3.03: Emplazamiento General.51

Figura 3.04: Planta arquitectónica.51

Figura 3.05: Elevación Lateral Derecha.52

Figura 3.06: Elevación Lateral Izquierda.....52

Figura 3.07: Elevación posterior.53

Figura 3.08: Corte S-1.....53

Figura 3.09: Elevación Frontal.....53

Figura 3.10: Zonificación.....55

Figura 3.11: Detalle de ventilación natural de la cubierta.56

Figura 3.12: Detalle constructivo cubierta.....57

Figura 3.13: Diagrama Solar.....61

Figura 3.14: Menor incidencia solar sobre la cubierta. ...62

Figura 3.15: Menor incidencia solar sobre la cubierta 8:00 a.m. y 17:00 p.m. (21 de junio).....62

Figura 3.16: Incidencia solar promedio sobre la cubierta.63

Figura 3.17: Incidencia solar promedio sobre la cubierta 9:00 a.m. y 16:00 p.m. (21 de junio).....63

Figura 3.18: Mayor incidencia solar sobre la cubierta. 64

Figura 3.19: Mayor incidencia solar sobre la cubierta 10:00 a.m. y 14:00 p.m. (21 de junio).64

Figura 3.20: Menor incidencia solar sobre la cubierta.65

Figura 3.21: Menor incidencia solar sobre el techo. 8:00 a.m. y 17:00 p.m. (21 de diciembre).65

Figura 3.22: Mayor incidencia solar sobre la cubierta.66

Figura 3.23: Mayor incidencia solar sobre la cubierta 10:00 a.m. y 14:00 p.m. (21 de diciembre).66

CAPÍTULO 5

Figura 5.01: Ángulo de orientación o Azimut.87

Figura 5.02: Ángulo de inclinación de un plano.....87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.03: Inclinaciones de CST.....93	tres días.112
Figura 5.04: Energía mensual azimuth 90° e inclinación 37°.94	
Figura 5.05: Energía mensual azimuth 270° e inclinación 37°.94	
Figura 5.06: Comparación Demanda - Producción en un día con CST.97	
Figura 5.07: Comparación Demanda - Producción en tres días con CST.98	
Figura 5.08: Inclinaciones de PFV.106	
Figura 5.09: Energía mensual azimuth 90° e inclinación 16°.107	
Figura 5.10: Energía mensual azimuth 270° e inclinación 16°.107	
Figura 5.11: Energía mensual azimuth 90° e inclinación 38°.107	
Figura 5.12: Energía mensual azimuth 270° e inclinación 38°.107	
Figura 5.13: Energía mensual azimuth 90° e inclinación 61°.107	
Figura 5.14: Energía mensual azimuth 270° e inclinación 61 °.107	
Figura 5.15: Comparación Demanda - Producción PFV en un día.111	
Figura 5.16: Comparación Demanda - Producción PFV en	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.01: Rendimientos de células fotovoltaicas de diferentes tipos de paneles.....35

CAPÍTULO 4

Tabla 4.01: Demanda de energía térmica necesaria en kWh para el calentamiento inicial de cada una de las piscinas.71

Tabla 4.02: Demanda de energía térmica diaria en kWh basada en pérdidas de cada una de las piscinas según la Guía Solar Térmica.72

Tabla 4.03: Pérdidas de energía térmica basadas en el departamento de mantenimiento de las piscinas en kWh.72

Tabla 4.04: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en CST.....73

Tabla 4.05: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en PFV.....74

Tabla 4.06: Especificaciones técnicas CST ETC-20.....75

Tabla 4.07: Especificaciones técnicas Bomba Silen S150.79

Tabla 4.08: Especificaciones técnicas bomba de calor UltraTemp Pentair 140.....83

Tabla 4.09: Condiciones de funcionamiento de bomba de calor UltraTemp Pentair.83

CAPÍTULO 5

Tabla 5.01: Número de CST por inclinación y azimut.92

Tabla 5.02: Producción mensual con CST, azimut 90° y 270°.95

Tabla 5.03: Demanda - Producción en un día con CST. .96

Tabla 5.04: Demanda - Producción en tres días con CST.96

Tabla 5.05: Área de los PFV por su inclinación. 105


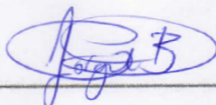
Tabla 5.06: Resultados obtenidos por inclinación y azimut de PFV.....108


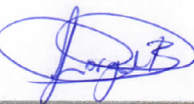
Tabla 5.07: Demanda - producción en un día con PFV. 109

Tabla 5.08: Demanda - producción en tres días con PFV. 110

ABREVIATURAS

ACS	Agua caliente sanitaria
SAM	Sistem Model Advisor
PFV	Paneles Fotovoltáicos
CST	Coletores Solares Térmicos
CO2	Dióxido de Carbono
BIPV	Building Integrated Photovoltaic
FDA	Federación Deportiva del Azuay
GW	Gigavatio
MW	Megavatio
kW	kilovatio
kWh	kilovatio hora
OMM	Organización Meteorológica Mundial
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
IEA	International Energy Agency
IIGE	Instituto de Investigación Geológico y Energético
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
NREL	National Renewable Energy Laboratory
BIM	Building Information Modeling

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional	Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional
<p>Yo, Edison Manuel Valdiviezo Sigüenza en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA PISCINA OLÍMPICA DE LA FDA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA, ANALIZANDO LAS IMPLICACIONES ARQUITECTÓNICAS - CONSTRUCTIVAS”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.</p> <p>Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.</p> <p>Cuenca, 24 de octubre del 2022</p> <div> Edison Manuel Valdiviezo Sigüenza C.I: 0106443823</div>	<p>Yo, Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA PISCINA OLÍMPICA DE LA FDA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA, ANALIZANDO LAS IMPLICACIONES ARQUITECTÓNICAS - CONSTRUCTIVAS”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.</p> <p>Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.</p> <p>Cuenca, 24 de octubre del 2022</p> <div> Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta C.I: 0105153217</div>

Cláusula de Propiedad Intelectual	Cláusula de Propiedad Intelectual
<p>Yo, Edison Manuel Valdiviezo Sigüenza, autor del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA PISCINA OLÍMPICA DE LA FDA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA, ANALIZANDO LAS IMPLICACIONES ARQUITECTÓNICAS - CONSTRUCTIVAS”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.</p> <p>Cuenca, 24 de octubre del 2022</p> <div> Edison Manuel Valdiviezo Sigüenza C.I: 0106443823</div>	<p>Yo, Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta, autor del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA PISCINA OLÍMPICA DE LA FDA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA, ANALIZANDO LAS IMPLICACIONES ARQUITECTÓNICAS - CONSTRUCTIVAS”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.</p> <p>Cuenca, 24 de octubre del 2022</p> <div> Jorge Geovanny Berrezueta Berrezueta C.I: 0105153217</div>

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la vida, salud y hacer posible el cumplimiento de mis metas.

A mis padres Jorge y Rosa, quienes, con su amor, paciencia, por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida, con sus consejos me han guiado en mi crecimiento personal y profesional, que nunca han dudado de mí, han estado en todo este trayecto de mucho esfuerzo y desvelo, y que siempre serán mi pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Carolina y Ronny, mis mejores amigos y cómplices que han estado en las buenas y malas, quienes me han apoyado en todo momento con todo su amor y ánimos a no rendirme jamás. Los amo en todo momento y se que contare siempre con ustedes Y finalmente a Edison y Angie, por ser grandes amigos, compañeros, por su apoyo incondicional en esta etapa académica Gracias infinitas y muchos éxitos.

Jorge Berrezueta

“Cada minuto es un atisbo de la eternidad”

El presente trabajo lo dedico a mis padres Ruperto y Ligia que con su amor, esfuerzo y sabiduría me guiaron por el buen camino. A mis hermanos Hernán, José, Iván y Pedro quienes no dudaron en apoyarme en distintos momentos de mi vida, en especial dedico este logro a mi hermano Iván por todo el apoyo, voluntad y perseverancia durante toda la etapa universitaria, por acogerme como un hijo y brindarme toda ayuda posible para cumplir mis metas. A mis amigos y personas que han estado cerca y han sido parte de mi formación. A mi amiga, compañera, confidente y novia Angie, que ha formado parte de mi vida durante la mayor parte de esta etapa. Finalmente, a Jorge, por su buena actitud y positivismo al realizar este trabajo.

Edisson Valdiviezo

AGRADECIMIENTO

A nuestro director de tesis el Arq. Esteban Zalamea , por su interés y guía durante el proceso de la ejecución de nuestro proyecto de titulación.

A nuestros docentes y amigos que de alguna u otra manera han sido un apoyo fundamental en el recorrido de la carrera para llegar hasta este momento.

A la arquitectura, porque nos ha permitido ver el mundo con sus ojos.

CAPÍTULO

1

INTRODUCCIÓN

CONTENIDO

- 1.1 Introducción
- 1.2 Problemática
- 1.3 Hipótesis
- 1.4 Objetivos

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha demostrado la necesidad de implementar fuentes de energía limpias y renovables, debido al notorio cambio climático como consecuencia del uso excesivo de fuentes de energía limitadas y contaminantes (combustibles fósiles, carbón, entre otros), la mayoría de procesos, producto de la actividad humana, hacen uso de estas fuentes de energía. Según Enerdata (2021), en el mundo, los recursos más utilizados son los combustibles fósiles como: el petróleo que representa un 30%, el gas un 24% y carbón el 26% del consumo global.

En la actualidad, una de las fuentes de energía prácticamente inagotables a escala humana y con huella de carbono casi nula es el sol. La cantidad de potencia estimada que llega a la atmósfera superior de la Tierra es de 1,360 W/m² (Trenberth et al., 2009). A pesar de que esta cantidad disminuye considerablemente al ingresar a la atmósfera terrestre, se estima que la energía que recibe toda la superficie del planeta es

cuantiosa. Con tan solo dos días de radiación equivaldría a todas las reservas de petróleo, gas y carbón descubiertas en el mundo (Arancibia & Best, 2010).

Por otro lado, los avances tecnológicos han permitido aprovechar la energía solar para la generación de energía eléctrica y energía térmica. Alrededor del mundo, varios países han implementado sistemas de captación solar para satisfacer la demanda energética en diversos campos. Este es el caso de India, en donde un proyecto fotovoltaico de 750 MW duplicó la capacidad energética en el estado de Madhya Prades (Banco Mundial, 2017). En los últimos años, se ha visto un aumento exponencial en el uso de la energía solar, llegando a tener una capacidad solar mundial instalada que rodea los 700 GW (Our World in Data, 2021).

En el caso de Ecuador, actualmente el 92% de la energía producida se obtiene a partir de centrales hidráulicas, el 7% proviene de fuentes térmicas, y tan solo el 1% proviene de fuentes consideradas no convencionales como

la eólica, fotovoltaica, biomasa, biogas, geotérmica, entre otras (MERNNR, 2020). Por tal razón, se debe proponer el empleo de energías que causen el menor impacto ambiental posible.

El país, al estar situado en la línea ecuatorial, posee una ubicación geográfica privilegiada, debido a la excelente y estable irradiación que presenta, teniendo un potencial significativo para el aprovechamiento de la energía solar; los valores diarios que presenta están alrededor de 3.35 kWh/m² (CONELEC, 2013). De este modo, el presente trabajo se enfoca en la elaboración de un análisis de implementación de energía fotovoltaica y solar térmica para el calentamiento de la piscina olímpica de la Federación Deportiva del Azuay (FDA) en la ciudad de Cuenca - Ecuador. Para tal efecto, como primer paso se recopiló la información respecto a los sistemas de captación solar activa. En el siguiente paso se procedió al levantamiento de información para un posterior análisis de la envolvente con el fin de proyectar la

implementación de un sistema colector y/o fotovoltaico.

Por último, se identifica la demanda energética a través de colectores solares térmicos (CST) y paneles fotovoltaicos (PFV) para desarrollar un análisis de dichos sistemas con el uso del software SAM (Sistem Model Advisor), que permite ejecutar una simulación de producción energética mensual y anual. Estos datos se comparan con la demanda y se obtiene un porcentaje de abastecimiento solar fotovoltaico y térmico para la piscina olímpica.

1.2 PROBLEMÁTICA

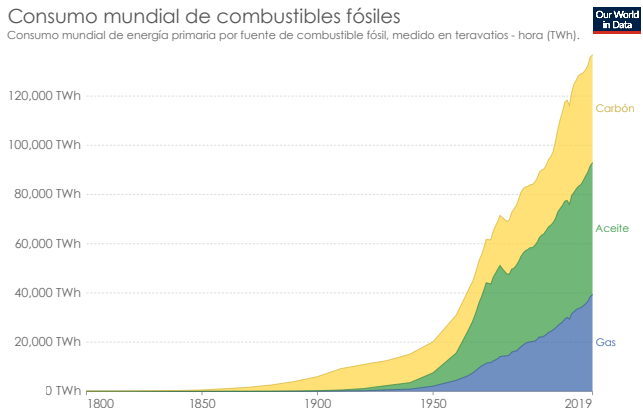


Figura 1.01: Esquema del consumo de combustibles fósiles a nivel Mundial.
Fuente: Our World in Data, 2019

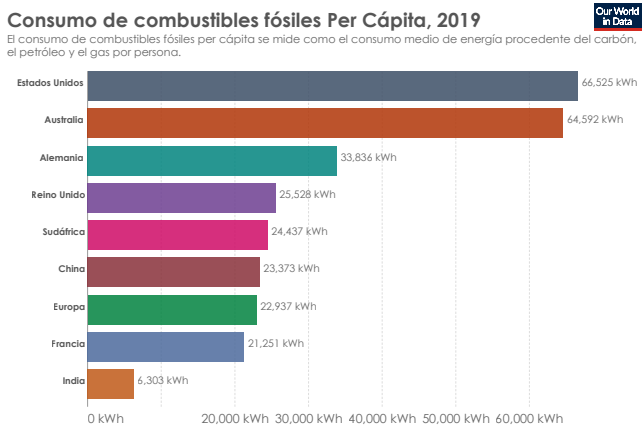


Figura 1.02: Países que presentan un mayor consumo de combustibles fósiles.
Fuente: Our World in Data, 2020

El consumo de combustibles fósiles representa el 80% de la demanda energética en todo el mundo según la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2017), ha ido en aumento desde los años 1950 hasta la actualidad (ver Figura 1.01). Los principales países que más consumen son los Estados Unidos y Australia (Our World in Data, 2020). El consumo excesivo inicia con la revolución industrial, el cual produjo un aumento acelerado de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera nunca antes visto en los últimos 650 mil años (Manos Unidas, 2021).

Entre los años de 1970 - 2010 los procesos industriales y el consumo de combustibles fósiles ha contribuido hasta en un 78% al aumento de gases de efecto invernadero (IPCC, 2015). Todavía, en la actualidad muchas personas que no tienen acceso a la energía eléctrica, utilizan la leña o biomasa para la cocción de los alimentos o para temperar la vivienda. Estos gases, además de afectar el medio ambiente, generan problemas de salud a las personas (Banco Mundial,

2018).

Por causa del uso masivo de combustibles fósiles (ver Figura 1.02), algunos países de Europa han tomado medidas en estos últimos años para disminuir el consumo de combustibles fósiles por medio de la implementación de energías renovables, pasando de un 9% a un 17% en su uso. A pesar del extendido empleo de la energía limpia los esfuerzos no han sido suficientes ya que Europa aún sigue teniendo como fuente principal la energía no renovable (EEA, 2021).

Con el objetivo de mitigar las emisiones de efecto invernadero, la ONU adopta el Acuerdo de París en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) en el año 2015 y entra en vigencia el 2016, con la finalidad de reducir las emisiones y detener el aumento de temperatura limitando el incremento a 2 °C e incluso se plantea reducir hasta 1.5 °C (ONU, 2015). En un contexto más cercano se tiene que los hidrocarburos componen la matriz energética de Latinoaméri-

ca y el Caribe, registrando un consumo de energía de 618,000,000 toneladas equivalentes en petróleo, como se puede ver en la Figura 1.03, el petróleo y sus derivados son las fuentes de energías predominantes (OLADE, 2020).

La situación en el Ecuador no es diferente al resto del mundo, es conocido como un país petrolero que depende en gran parte del uso de combustibles fósiles, produce un alto grado de emisiones al medio ambiente como se puede ver en la Figura 1.04. Las emisiones han aumentado en los últimos años, es así que los requerimientos energéticos del país, basados en combustibles fósiles entre el 2009 - 2019, han alcanzado un 81% según el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE, 2019), razón por la cual, se ha implementado una política de utilización de fuentes de energía limpia y renovable para disminuir el impacto ambiental, fomentando el desarrollo e implementación de equipos que usen la energía eléctrica propia del país (Moreno et al., 2019). No obstante el subsidio

de combustibles fósiles representa una barrera importante para el fomento de energías limpias, por lo que es necesario conducir estos recursos hacia las tecnologías solares que ya son más económicas en zonas de alta irradiación.

Además, el Ecuador al estar localizado en la línea ecuatorial, posee un gran potencial para la utilización de la energía solar debido a la poca variación de este recurso a lo largo del año. No obstante, a pesar de que se conoce este potencial energético acerca de la radiación solar no se hace el debido uso del mismo, representando tan solo un 0,15% de la energía total consumida en el país (Vaca & Ordóñez, 2019).

Según Moreno et al., (2019), el calentamiento convencional de agua de una piscina semiolímpica en un clima promedio de 14 °C representa un alto consumo energético, ya que una caldera de diésel tiene un rendimiento estimado del 58.9% con un consumo de 3,2 gal/h aproximadamente, para alcanzar una temperatura de 28 °C.

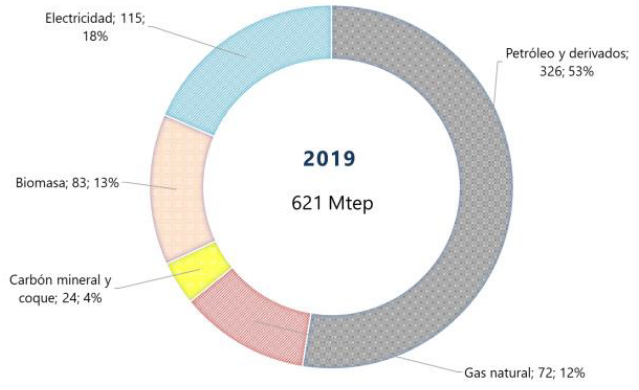


Figura 1.03: Consumo de energía en América Latina y el Caribe por tipo de fuente
Fuente: Olade, 2020

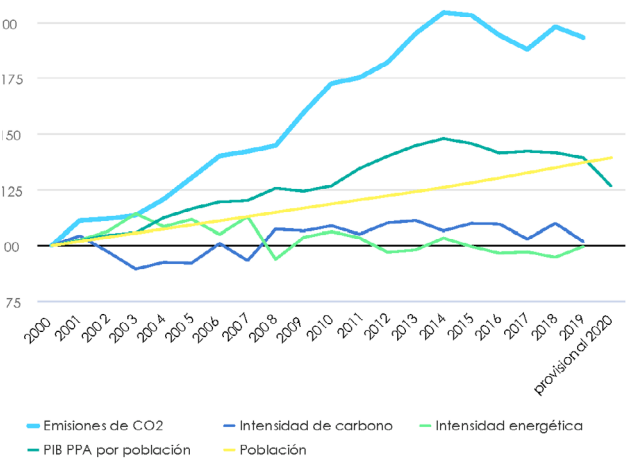


Figura 1.04: Impulsores de emisiones de CO2 de la combustión de combustible, índice, Ecuador
Fuente: IEA, 2020

1.3 HIPÓTESIS

Existe una considerable capacidad de abastecimiento solar térmico y fotovoltaico para contribuir en el calentamiento de las piscinas olímpicas de la FDA en la ciudad de Cuenca.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el potencial de autoabastecimiento energético de la piscina olímpica de la FDA de Cuenca a través de la implementación de energía solar térmica y fotovoltaica, analizando las implicaciones arquitectónicas constructivas.

Objetivos Específicos

- 1. Determinar los requerimientos energéticos y analizar constructivamente la envolvente para la propuesta de integración de los CST o PFV.
- 2. Analizar la adaptabilidad geométrica mediante la metodología BIM para establecer la cantidad de CST o PFV que se puedan integrar en la envolvente de la piscina.
- 3. Realizar el cálculo energético mediante el software SAM y solar térmico.
- 4. Elaborar una propuesta constructiva y el análisis espacial; la integración de CST y PFV y analizar la integración arquitectónica a través de fotomontajes.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE ARTE

CONTENIDO

- 2.1 Piscinas olímpicas y el uso de combustibles fósiles
- 2.2 Energías renovables
- 2.3 Energía Solar
- 2.4 Uso potencial de energía solar en el Ecuador
- 2.5 Estrategias activas y pasivas en el diseño arquitectónico
- 2.6 Integración arquitectónica de los CST y PFV
- 2.7 Casos de estudio solar térmico y fotovoltaico en complejos deportivos

2.1 PISCINAS OLÍMPICAS Y EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

2.1.1 Piscinas

Una piscina es una estructura destinada a contener agua, que es abastecida de manera mecánica o de forma natural, cuyo fin se destina a la recreación o al deporte.

Las piscinas pueden dividirse en 2 clases:

a. Por el tipo de usuario:

- Públicas
- Semipúblicas
- Privadas

b. Por el uso:

- De distracción
- De competencia (natación)
- De clavados
- De aprendizaje

2.1.1.1 Piscinas Olímpicas

Se define como piscina olímpica a la estructura que cumple las características determinadas por la Federación Internacional de Natación (FINA) y cuya finalidad es el desarrollo de las prácticas o competencias olímpicas.

Según la FINA, (2021) la piscina olímpica cumple las siguientes dimensiones: 50 m de largo por 25 m de ancho, y

una profundidad mínima de 2 m, llegando hasta los 3 m en el caso de desarrollo de otras actividades. Además, se compone de 10 carriles, con un ancho de 2.5 m entre sí.

2.1.2 Sistema de calentamiento de piscinas

2.1.2.1 Los sistemas de bombas de calor

Este sistema funciona mediante un ciclo invertido de refrigeración para el calentamiento de la piscina por intercambiadores (Lomas & Montalvo, 2017).

Es una máquina formada por un circuito frigorífico (compresor, condensador, sistemas de expansión y evaporador) del que se aprovecha la energía calorífica (Delgado & Orellana, 2015).

Estos sistemas tienen un coeficiente de operación promedio de tres unidades de calor por cada unidad de energía eléctrica consumida, aunque en los modelos más actuales esta eficiencia es aún mayor, sin embargo, estos sistemas no son recomendables para climas extremadamente fríos, ya que el sistema extrae calor del ambiente para transferirlo

a la fuente deseada, donde se producirá un mayor consumo de energía en temperaturas bajas (Lomas & Montalvo, 2017).

El principio de funcionamiento de una bomba de calor es utilizar el ciclo termodinámico de Reynolds invertido, se extrae el calor de un ambiente utilizando electricidad y se lo transmite hacia un depósito, para este caso una piscina.

Su funcionamiento será más efectivo en climas cálidos por la cantidad de calor del ambiente, las bombas de calor de fuente de aire no son apropiadas para climas fríos porque su eficacia disminuye en forma considerable (Cengel et al., 2019), por lo tanto, será necesaria una mayor cantidad de energía eléctrica para alcanzar una determinada temperatura (Lomas & Montalvo, 2017).

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son las que se basan en el uso de recursos naturales prácticamente ilimitados tales como: el viento, el agua, el sol, la biomasa vegetal o animal; estas energías no se generan a base de combustibles fósiles (Factor energía, 2018).

2.2.1 Tipos de energías renovables

Según Factor energía, (2018) existen diferentes tipos de energías renovables conocidas que se utilizan actualmente como fuentes de energía alternativa para controlar el cambio climático, se distribuyen en:

- Energía solar.
- Energía Eólica.
- Energía Hidráulica.
- Biomasa.
- Biogás.
- Energía Mareomotriz.
- Energía Geotérmica.

Si bien estas fuentes de energía han sido consideradas renovables, estas implican afectación a causas u ocupación espacial más o menos impactante en el medio geográfico, por lo que al ge-

nerar la mayor cantidad de energía en los propios edificios mediante la radiación solar supone menor dependencia de energía procedente de fuentes externas.

En el presente estudio se analiza la energía solar, la cual se obtiene del sol, mediante la radiación que llega a la Tierra.

En Ecuador existen algunas fuentes de energías renovables implementadas a gran escala, este es el caso de la provincia de Loja que posee las mejores características para el aprovechamiento de energías renovables. Según la Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico, REVE, (2019) Loja es la capital eólica, puesto que, tiene más del 52% del recurso eólico aprovechable para la producción de energía eléctrica en el país.



Imagen 2.01: Parque Eólico Villonaco-Loja-Ecuador.
Fuente: InfoLoja, 2020.

2.3 ENERGÍA SOLAR

Los primeros registros de la utilización de la energía solar provienen de los antiguos griegos, romanos y chinos; quienes conocían el arte de prender fuego utilizando lentes y espejos “quemantes” (Arancibia & Best, 2010).

La energía solar es aquella que se obtiene de la radiación del sol, que puede ser energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

La energía solar térmica es el calor que se genera mediante la radiación solar. Las principales aplicaciones en las que se emplea esta energía es en el sector industrial, comercial y residencial. Este tipo de energía puede producir temperaturas desde los 45 °C hasta los 300 °C, por lo que resulta ser muy útil en diversos sectores (Bohorquez, 2013).

La energía solar fotovoltaica se produce mediante un sistema fotovoltaico, que genera energía eléctrica mediante la radiación solar. Este sistema se compone de equipos eléctricos y electrónicos, la parte más importante es la célula solar que se encarga de la trans-

formación energética (Arancibia & Best, 2010).

2.3.1 Radiación solar

El Sol sustenta la vida, es aquel que gobierna el tiempo en el planeta Tierra, las corrientes oceánicas y la hidrología. El Sol determina el estado de ánimo de las personas y condiciona el desarrollo de actividades en la Tierra. Es el centro del sistema solar, por ende es la estrella más cercana a nuestro planeta a una distancia aproximada de 150,000,000 km. Este astro proporciona las condiciones adecuadas para que la vida se desarrolle en la Tierra y prospere. El sol tiene una edad aproximada de 4,500 millones de años y durante la mayor parte de este tiempo ha calentado la Tierra incidiendo en el tiempo, el clima y toda forma de vida (OMM,2019).

El Sol mediante su energía nos ofrece la solución para combatir el cambio climático, actualmente, esta forma de energía se encuentra económicamente más asequible por lo que puede ser aprovechada por un ma-

yor número de personas (OMM,2019).

En la actualidad, el Sol es la fuente de energía más grande disponible en el planeta (Chandler, 2011). Aproximadamente una hora de soleamiento en la Tierra es suficiente para abastecer la demanda energética Mundial durante un año (National Geographic, 2020).

La superficie de la Tierra experimenta cambios en la radiación solar dependiendo de las estaciones, de la geografía y de la hora del día. Se puede expresar esta radiación en valores constantes de 1368 W/m² con una variación de 0.65 W/m² (Vaca & Ordóñez, 2019).

2.4 USO POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR

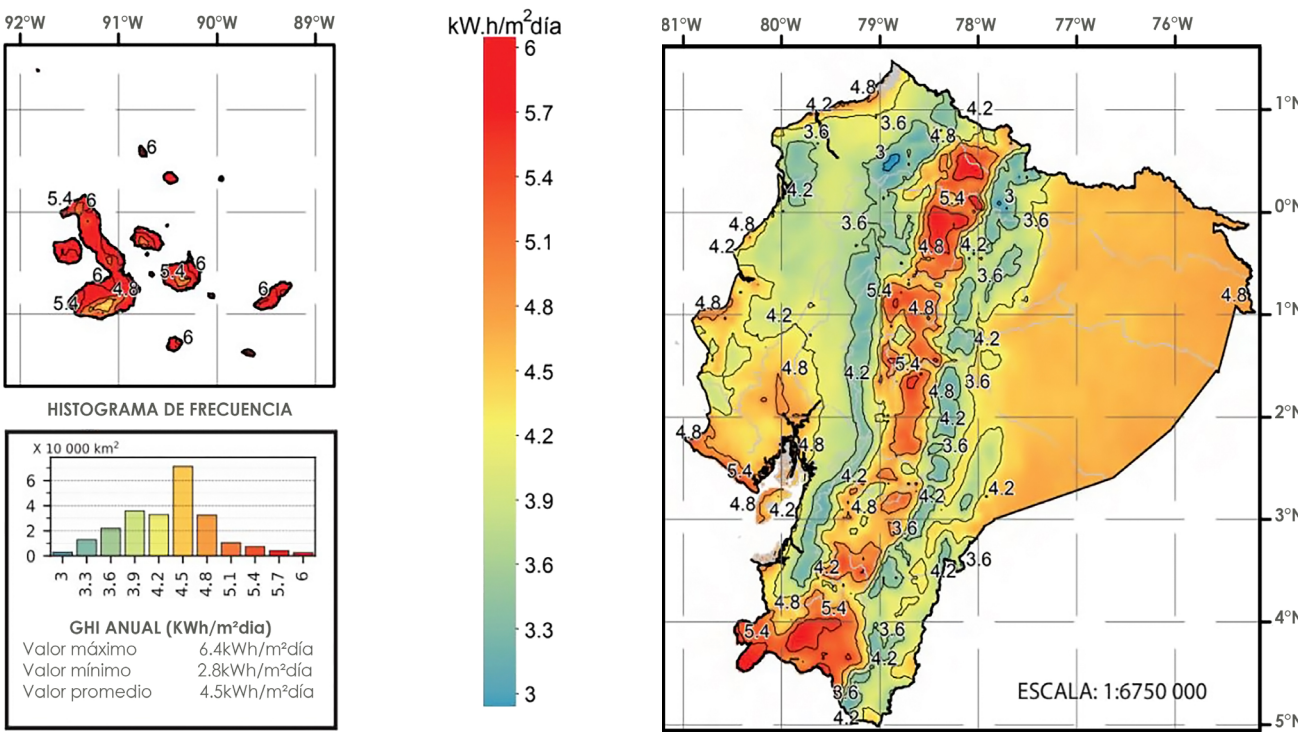


Figura 2.01: Radiación solar sobre el territorio ecuatoriano. Fuente: Vaca & Ordóñez, 2019.

El aprovechamiento de la energía solar en el Ecuador, se ve potenciado gracias a su ubicación, debido a que la radiación sobre esta zona del planeta presenta muy poca variación, lo que evita la acumulación y la inversión en equipos adicionales. A pesar de contar con este

beneficio, el territorio ecuatoriano presenta una topografía muy irregular debido a la presencia de la cordillera de los Andes. Estas condiciones inducen microclimas que reducen la capacidad de aprovechamiento en algunas zonas del país. La irradiación global horizontal (GHI) en un año va desde 2.9 kWh/m² día hasta los 6.3 kWh/m² día. La mayor

cantidad de radiación se puede obtener en las zonas altas, donde existe una delgada capa atmosférica. En cambio, las zonas bajas, debido al mayor espesor y presión atmosférica, se forman más nubes, provocando la disminución de la radiación (Vaca & Ordóñez, 2019).

El mapa de GHI (Global Horizontal Irradiance) anual, indica que el 75% de la superficie del país, presenta una radiación mayor a 3.8 kWh/m² día. La ciudad de Cuenca se ubica en una zona con un considerable potencial para el aprovechamiento de la energía solar debido a que cuentan con una radiación que va desde 3.6 a 4.8 kWh/m² día (Vaca & Ordóñez, 2019).

Los datos indican que, en el territorio ecuatoriano, se pueden implementar tecnologías de captación solar con una alta eficiencia. En la Figura 2.01 se puede evidenciar el potencial de aprovechamiento de la energía solar en el Ecuador. Las zonas con más altos índices de radiación se pueden encontrar en la región Andina, en donde se tienen valores de

2.5 ESTRATEGIAS ACTIVAS Y PASIVAS EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

2.5.1 Captación solar pasiva

-Arquitectura bioclimática y diseño solar pasivo

El diseño solar pasivo es una de las estrategias sustanciales para contrarrestar el cambio climático producido por la excesiva quema de combustibles fósiles, también representa una sustancial alternativa en la calefacción de una edificación (Consuegra, 2008).

Estetipodecaptaciónsolaremplea los rayos solares de forma directa en una edificación, al contrario de la captación activa que requiere un sistema colector. Este método de captación de la energía solar, se puede utilizar para la iluminación, calefacción de edificaciones; que permitirá disminuir el consumo de energía.

Actualmente, en el diseño de las nuevas edificaciones, es indispensable pensar en la orientación de la construcción y de los vanos de ventanas. De la misma forma se debe tomar en cuenta los materiales a utilizar, ventilación y aislamiento (Martínez, 2018).

La energía solar pasiva presenta algunas ventajas, entre las que se destaca el hecho de que proviene de una fuente ilimitada y amigable con la naturaleza (Martinez, 2018).

El aprovechamiento de este tipo de energía es importante debido a que la radiación e iluminación que ingresa a la piscina olímpica es aprovechada para la conservación de calor interno.

Los principios de aplicación son los siguientes:

- Captación solar diurna. - La energía solar que se recoge se transforma en calor.
- Almacenamiento de calor. - Este tipo de aprovechamiento consiste en recoger y almacenar el calor en el día, para su posterior uso en la noche.
- Distribución de calor. - El calor almacenado debe ser esparcido a los distintos espacios del hogar para el acondicionamiento térmico.
- Conservación de calor. - En este punto, se debe retener el calor para aprovecharlo de mejor manera y por más tiempo.

2.5.2 Tecnologías de captación solar activa

Este tipo de captación solar se caracteriza por la conversión de la energía solar en otras formas de energía, a través de los CST o los PFV.

Los sistemas de captación activa que se instalan en edificios proveen de energía para satisfacer las demandas propias, como también se pueden utilizar para contribuir externamente. Este sistema consiste en colocar paneles, por lo general en la quinta fachada (cubierta) del edificio, con el objetivo de captar la mejor irradiación, convertirla en energía aprovechable para poder almacenar y posteriormente distribuirla mediante una red conectada a los lugares de demanda (Zalamea & Quesada, 2017).

Estas tecnologías de captación solar se dividen en sistemas fotovoltaicos, sistemas térmicos y sistemas combinados (híbridos), además, permiten contribuir a diferentes demandas de una edificación, siendo estas: térmicas, eléctricas, motrices, lumínicas, entre otras. Estas dependen

del uso: puede ser para residencia, comercio, oficinas, colegios, hospitales, etc. Así como también dependen de las condiciones climáticas. En un proyecto se tiene que tomar en cuenta el abastecimiento con relación a las necesidades funcionales, teniendo como fundamento del diseño la integración solar pasiva y sistemas de captación activa PFV, CST o híbridos (Zalamea & Quesada, 2017).

Los sistemas de captación activa, se clasifican en sistemas térmicos, sistemas fotovoltaicos y mixtos, o la combinación entre los anteriores. Se pueden usar para el abastecimiento de necesidades térmicas y eléctricas con el mismo sistema.

2.5.2.1 Tecnologías solares térmicas disponibles (CST)

En cuanto a los sistemas colectores térmicos existen dos tipos: colectores de aire y colectores hidráulicos. Este último representan la mayoría de sistemas solares térmicos para las edificaciones, a diferencia de los sistemas de aire, se pueden utilizar para el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción de los

ambientes.

Los CST funcionan con un mecanismo de transformación de la radiación solar en energía térmica. El calor se transfiere a un fluido capaz de elevar su temperatura. El captador debe estar diseñado para lograr el mejor aislamiento posible y resistir temperaturas extremas de acuerdo al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2020).

Dentro de los colectores hidráulicos están los colectores de polipropileno diseñados para el calentamiento de piscinas en climas tropicales y con alta irradiación. En el lugar de estudio debido a la radiación difusa y a las bajas temperaturas se propone el uso de CST de tubos de vacío ya que estos aprovechan la radiación difusa y presentan una buena eficiencia en climas fríos.

Los CST de tubos de vacío, consiste en un conjunto de tubos cilíndricos. Los tubos están situados dentro de una cápsula de vidrio que funciona como cobertura y aislante ya que en su interior consta de vacío minimizando las pérdidas

térmicas por conducción y convección. Existen algunos tipos de tubos de vacío, entre los más usados están: los heat-pipe, los tubos en U o concéntricos y los de flujo directo (IDAE, 2020).

En el presente trabajo se emplean los colectores (Heat-Pipe) éstos utilizan un fluido alcohólico (metanol, etanol, entre otros) que al calentarse se transforma en vapor y sube a la zona de transferencia de calor en donde luego de enfriarse se condensa y baja en forma de líquido. (ver Imagen 2.02), (Planas, 2021; Mukuna & Gryzagoridis, 2020).

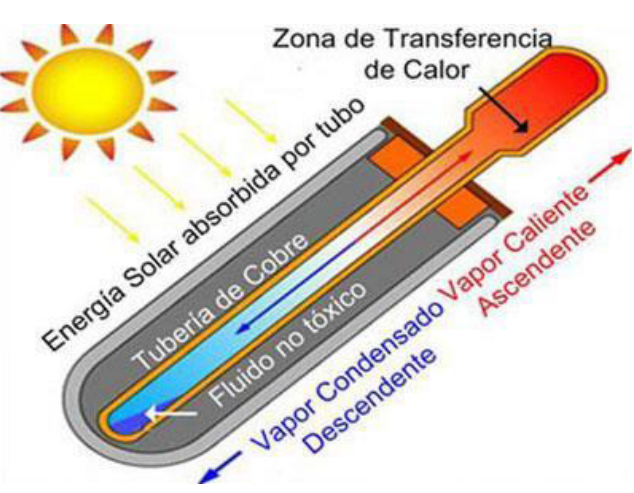


Imagen 2.02: Funcionamiento CST Heat-Pipe de tubos de vacío .

Fuente: Ecoenergía Falk, 2016.

2.5.2.2 Tecnologías solares fotovoltaicas disponibles (PFV)

Los PFV pueden generar energía eléctrica de forma amigable con el planeta, contribuyendo al desarrollo sustentable (ACCIONA, 2020). La electricidad producida por los PFV proviene de una fuente renovable, es decir, aprovecha la radiación solar a través de un mecanismo semiconductor o célula fotovoltaica (Salamanca, 2017).

Los PFV se componen de celdas (células fotovoltaicas) que generan electricidad mediante la radiación que actúa sobre las células (Barberá, 2017).

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en 2 grupos (ver Figura 2.02) y se diferencia en la forma que almacenan la electricidad producida por los PFV. El primer grupo funciona mediante un sistema aislado con acumuladores (baterías físicas), y el segundo se conectada a la red, esta actúa como batería virtual, y consiste en introducir la energía a la red eléctrica para luego utilizarla (Roldán, 2010). Los PFV se componen de células

solares que a su vez conforman módulos fotovoltaicos, que se pueden conectar en serie o en paralelo según se requiera más corriente o más potencia (Días & Carmona, 2020). Para definir la potencia de un panel se tiene el parámetro de “potencia pico”, que equivale a la potencia máxima entregada por el PFV, en óptimas condiciones como: radiación igual a 1000 W/m² y temperatura igual a 25 °C (Barberá, 2017).

Para el presente estudio se utiliza el sistema conectado a la red eléctrica, en donde el exceso de energía producido se inyecta a la red, para luego, en horas que no se dispone de radiación solar, se toma la energía de la red. La principal diferencia con el otro método de almacenaje es la forma en que se reserva esta energía (ENDEF, 2020). Como resultado, se puede prescindir del uso de las baterías, lo que puede significar una reducción sustancial en el costo de la instalación (ver Imagen 2.03).

Este sistema es conveniente para la instalación solar fotovoltaica en las

piscinas de la FDA, ya que debido a la magnitud del proyecto se usa una gran cantidad de energía eléctrica la cual no es práctico almacenar en baterías físicas, ya que esta energía se almacena en el propio calor de las piscinas.

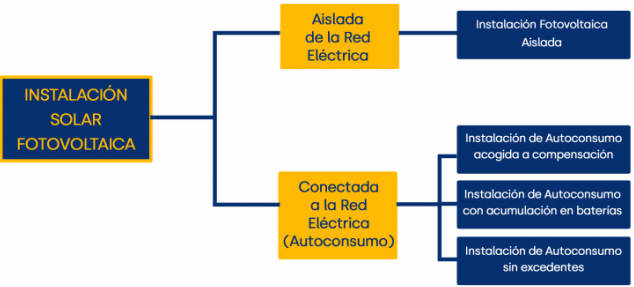


Figura 2.02: Tipos de instalación fotovoltaica. Fuente: ENDEF, 2020.

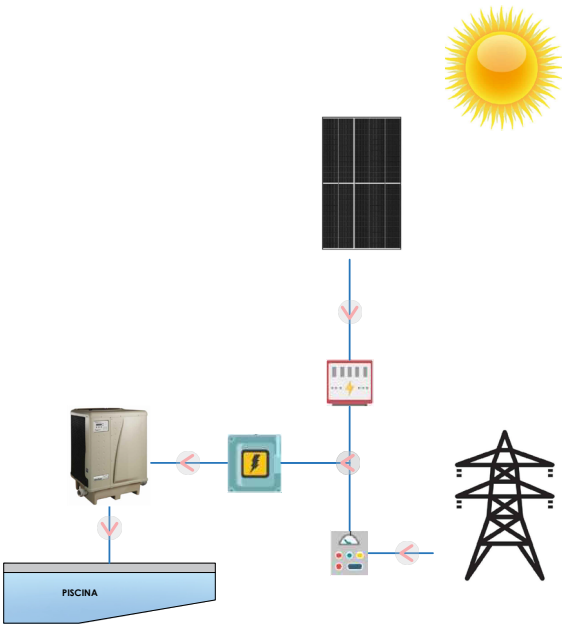


Imagen 2.03: Sistemas conectados a la red. Fuente: SYGenergy, 2021.

Actualmente, alrededor del 90% de las células fotovoltaicas son fabricadas con silicio monocristalino y policristalino. El uso extendido de estos paneles se debe al porcentaje de eficiencia más alto conseguido en relación con el resto y la mejor durabilidad que presenta (Iglesias, 2013).

Los paneles de Silicio monocristalino son los que mejor producción tienen, estos presentan rendimientos entre el 15% y 22%, luego están los policristalinos que tienen rendimientos entre 13% y 17%, finalmente, están los de capa fina, estos son los paneles con más bajos rendimientos entre el 7% y 13% (ver Tabla 2.01).

De acuerdo con Muñoz, (2020) existen tecnologías adicionales aplicadas normalmente en los paneles de silicio, entre estos están:

- Células PERC, esta tecnología introduce una capa reflectante que permite que los electrones reboten y de esta forma genera más electricidad.
- Tecnología Half-Cell, de célula partida o cortada, se trata de dividir el panel para

conseguir menor resistencia en la circulación de los electrones.

-Multi Bus Bar (MBB), es la mejor tecnología para la reducción de costos, se trata de aumentar el número de conexiones y disminuir la distancia lo que permite reducir las pérdidas.

-Módulos bifaciales, estos paneles producen energía por ambas caras, la cara posterior puede aprovechar la luz reflejada en otras superficies para aumentar la producción.

Adicionalmente se encuentran tecnologías propias de cada marca.

Tipos de paneles	Rendimientos en laboratorio (%)	Rendimientos comerciales (%)
Silicio monocristalino	24	15 - 22
Silicio policristalino	19	13 - 17
Paneles de Capa fina(CIS, CIGS, CdTe)	13	7 - 13

Tabla 2.01: Rendimientos de células fotovoltaicas de diferentes tipos de paneles. Fuente: Pacheco et al., 2018, Serrano, 2017.

2.6 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE CST Y PFV

La integración arquitectónica de un sistema captador solar presenta algunas dificultades, razón por la cual se opta por la instalación en la cubierta de las construcciones para evitar los problemas estéticos. Debido a estos inconvenientes, se debe elegir un sistema con la capacidad de integración a las diferentes envolventes arquitectónicas de las edificaciones en cuanto a los acabados (Roviras et al., 2016).

Para garantizar la integración arquitectónica de los CST se debe tener en cuenta aspectos arquitectónicos desde la forma, función y tecnología. Estas decisiones deben reflejarse en la integralidad de la envolvente de un edificio (en la cubierta, fachada, balcones, entre otros), teniendo en cuenta las características de los elementos y los materiales para generar una integración equilibrada que fortalezca y no reste la calidad del diseño (Frontini et al., 2012).

Al abordar un proyecto nuevo, el profesional debe seguir un proceso sistemático. En primera instancia debe co-

nocer el uso que tendrá y para quiénes va dirigido el proyecto, lo que determina las actividades que se realizarán. Esto da como resultado un programa que sirve de guía al diseñador (Neira, 2013). Con la ayuda de herramientas de cálculo de producción energética solar; el proyectista puede analizar y tomar las decisiones más convenientes. Estas herramientas permiten el análisis de modelos tridimensionales para efectuar una estimación de la incidencia solar sobre el mismo (Zalamea & Quesada, 2017).

Para la aplicación en la cubierta de un edificio existente se debe analizar la inclinación, la orientación, la carga que estos paneles aplicarán a la estructura, el tipo de cubierta y estado (Acuatroarquitectos, 2020).

2.6.1 Tipos de aplicación

- Captadores simplemente colocados

Este sistema no se vincula directamente a la edificación, se puede instalar fácilmente en una estructura que puede regular la inclinación y orientación de los paneles para aprovechar el máximo de la radiación solar, desde la parte arquitectónica sería una alternativa poco deseable (Zalamea & Quesada, 2017). El colector colocado de esta forma genera un impacto visual (normalmente negativo) en la apariencia del edificio (ver Imagen 2.04 y Figura 2.03).

.-Captadores superpuestos

Este método consiste en superponer CST o PFV con relación a la fachada o cubierta de una edificación, siguiendo una composición y ritmo existente como alguna correspondencia al color y materialidad. Los colectores no forman parte de la estructura más bien conforman una segunda capa o envolvente (ver Imagen 2.05 y Figura 2.03), (Frontini et al., 2012; Zalamea & Quesada, 2017).

-Captadores con integración arquitectónica

Este tipo de instalación se desarrolla de tal manera que cumplen las funciones de algún recubrimiento como: techumbre, paredes o algún elemento exterior con características de estanqueidad, resistencia, mecánica y térmica. Para cumplir estas condiciones los colectores deben integrarse en la geometría, estética y cumplir con las reglas de modulación y diseño para garantizar la armonía entre los materiales (Zalamea & Quesada, 2017).

Según Roviras, (2013) dentro de este campo existen 2 tipos:

- Sistemas integrados en áreas reducidas.
- Sistemas integrados en grandes áreas.

Este sistema se incorpora en la envolvente del edificio a manera de una piel (ver Imagen 2.06 y Figura 2.03),.

En la piscina olímpica se pretende aplicar colectores superpuestos. Esto permitirá la instalación en la mayor parte de la cubierta.



Imagen 2.04: Captadores simplemente colocados. Fuente: Interempresas, 2020.



Imagen 2.05: Captadores superpuestos. Fuente: ConstruyenPaís, 2020.



Imagen 2.06: Captadores con integración arquitectónica. Fuente: Frontini et al., 2012.

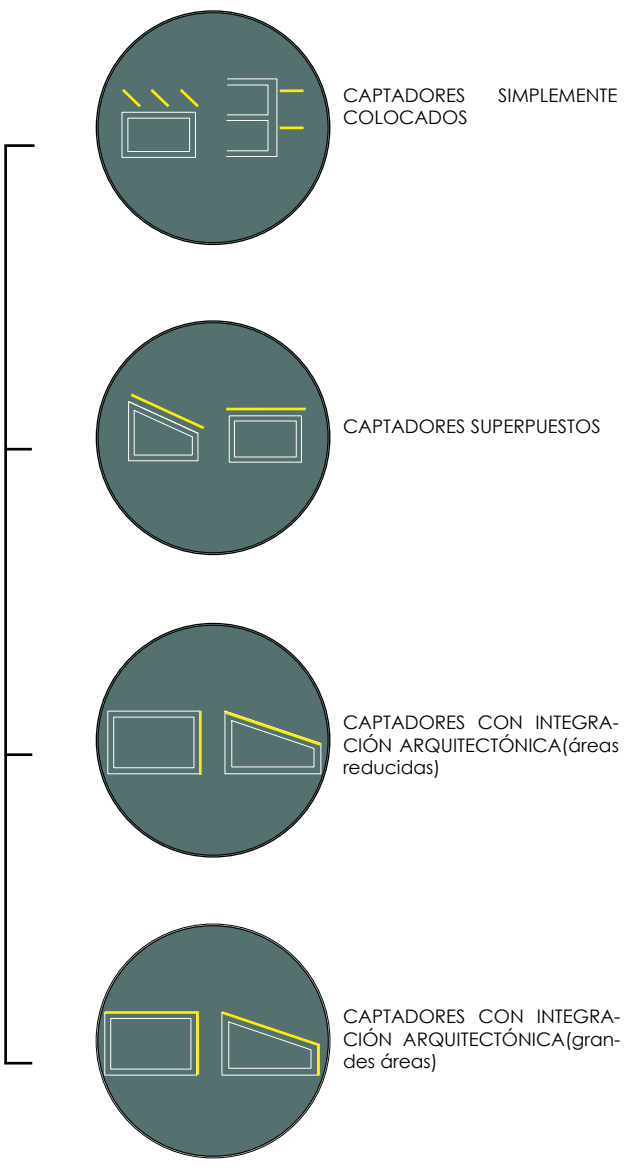


Figura 2.03: Tipos de aplicaciones en la arquitectura. Fuente: Elaboración Propia.

2.7 CASOS DE ESTUDIO SOLAR TÉRMICO Y FOTOVOLTAICO EN COMPLEJOS DEPORTIVOS

2.7.1 Georgia Tech Aquatic Center

En la cita de los Juegos Olímpicos de 1996 que se celebró en Georgia, las piscinas del complejo acuático fue abastecido mediante PFV y CST ubicados en la cubierta para aprovechar la energía solar. La instalación fotovoltaica consta de 2,856 módulos (1.1m²) de 120w que abastecen alrededor de un 33 % de la energía requerida. La instalación térmica consta de dos grupos de módulos de 1.20 x 5.60 m y 1.20 x 5.90 m, 63 colectores en el borde sur y 77 colectores en el borde norte del techo respectivamente, estos proporcionan energía térmica como apoyo a la caldera que funciona con gas (Long, 1996). Los Juegos Olímpicos fueron los primeros en hacer uso de la energía solar, además, se convirtió en la obra más grande del mundo en ser instalada en el techo de la edificación (Solar Design, 2022a). En este proyecto se puede ver la integración de CST y PFV para el abastecimiento energético del complejo deportivo (ver Imágenes 2.07 - 2.09).



Imagen 2.07: Vista aérea general del Georgia Tech Aquatic Center.
Fuente: Solar-Design, 2021a.



Imagen 2.08: Vista aérea 1 de los PFV.
Fuente: Solar-Design, 202a.



Imagen 2.09: Vista aérea 2 de los PFV.
Fuente: Solar-Design, 202a.



Imagen 2.10: Vista aérea general de Harvard Square-Trinidad.
Fuente: Solar-Design, 2021b.



Imagen 2.11: Vista externa de los PFV.
Fuente: Solar-Design, 2022b.



Imagen 2.12: Vista interna de los PFV.
Fuente: Solar-Design, 2022b.

2.7.2 Trinity - Harvard Square

Este caso de estudio se ubica en Massachusetts - EEUU, en donde la colocación de PFV en la cubierta en forma de arco se asemeja al objeto de estudio en el cual se procura analizar una aplicación similar, además, en este proyecto se evidencia como los paneles forman parte de la arquitectura en la envolvente, cumpliendo un carácter estético y funcional en el uso de la luz natural dentro del atrio; a través de células fotovoltaicas encapsuladas en vidrio. El sistema fotovoltaico se organiza en 3 tipos de matrices separadas: el primero en el techo plano, el segundo en la torre inclinada a 55° y el tercero sobre la cubierta acristalada en forma de arco. Sobre la cubierta de arco se ubican 84 módulos Lumos de 308 W semi transparentes con una transmitancia lumínica del 20% que permiten el paso de luz al atrio. En el resto de la cubierta se han instalado 120 módulos LG de 400 W. (ver Imágenes 2.10 - 2.12) (Solar- design, 2022b).

2.7.3 Piscina, Freibad Illanz, Switzerland, 1996

El siguiente proyecto se ubica en Suiza, en una zona montañosa. El proyecto trata de la climatización de 3 piscinas descubiertas y la generación de ACS para las duchas. Cada módulo tiene un área de 1.93 m², estos se instalan en una superficie de 453 m² de los cuales 353 m² se ubican sobre un techo arqueado y 100 m² en un techo inclinado (ver Imagen 2.13). La instalación solar abastece hasta el 95 % de las necesidades de ACS en las piscinas abiertas solo en verano (Frontini et al., 2012).

En este ejemplo se puede evidenciar que el montaje de los colectores sobre el techo se realiza de forma simplemente colocada y la aplicación de CST para el calentamiento de piscinas.



2.7.4 Piscina de Wallenbach en Lenk (BE), Suiza

El presente caso de estudio se trata de un complejo deportivo construido en el año 1999, cuenta con una piscina exterior de 932 m² y una piscina cubierta de 292 m² (ver Imagen 2.14). La instalación solar se destina para la calefacción de las piscinas, para las duchas con agua caliente y la calefacción del hall. El área de colectores es de 492 m² con un almacenamiento combinado de 6,000 litros. La cobertura solar de la instalación alcanza el 23% (ENERGIE SOLAIRE, 2021b).

En este proyecto se puede ver la aplicación de CST para el calentamiento de 2 piscinas y la aplicación de colectores superpuestos sobre la cubierta.



Imagen 2.14: Vista de la piscina exterior que es temperada con CST en Lenk. Fuente: ENERGIE SOLAIRE, 2021b.

2.7.5 Solar roof Hallenbad-Buchensa-
al in Speicher-Suiza

Este edificio fue construido para contener una piscina y un cuarto de libros. En el año 2014 se realizó una restauración y se ubicó en todo el techo inclinado PFV. El nuevo techo está equipado con protectores de nieve y un sistema adecuado para el mantenimiento.

Los módulos fotovoltaicos se integran de manera homogénea a la arquitectura, estos paneles se orientan de este a oeste. La cubierta consta de paneles monocristalinos Megasol Nicer M260-60-b & M130-30-b que en conjunto dan una potencia de 173.29 kW, estos producen 155,000 kWh/año de energía, emplazados en un área de 1100 m² (ver Imagen 2.15) (BIVP, 2015).



Imagen 2.15: Vista aérea de PFV en solar roof- Speicher.
Fuente: BIVP, 2015.

2.7.6 Three in one sport center

Este proyecto se ubica en Visp-Suiza, consiste en un polideportivo que integra en su techumbre una planta foto-voltaica con una superficie de 1,200 m² en todos los techos. Los paneles se han instalado en el lado sur con una inclinación de 15°. Se componen de módulos multicristalinos de alta eficiencia que proporcionan 130,500 kWh/año con una potencia de 145 kW.

Esta instalación abastece hasta un 45% la demanda del complejo deportivo (ver Imagen 2.16) (BIVP, 2012).



Imagen 2.16: Vista aérea de PFV en Three in One Sport Center.
Fuente: BIVP, 2012.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL SITIO

CONTENIDO

- 3.1 Análisis del lugar de estudio
- 3.2 Piscina olímpica
- 3.3 Levantamiento Arquitectónico
- 3.4 Tipologías de la edificación
- 3.5 Caracterización y determinación de la cubierta
- 3.6 Estrategias pasivas de la cubierta
- 3.7 Evaluación del estado constructivo
- 3.8 Estudio de sombra y recorrido solar
- 3.9 Conclusiones del capítulo

3.1 ANÁLISIS DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE LA FDA

3.1.1 Ubicación

La piscina olímpica del Batán se encuentra ubicada en el complejo deportivo Bolivariano de la ciudad de Cuenca, emplazada en la provincia del Azuay, al sur del territorio del Ecuador. En la parroquia del Batán, Av. 12 de abril y Unidad Nacional (ver Figura 3.01). El complejo cuenta con una amplia área en la que se desarrollan diversas disciplinas deportivas y sirve para la preparación de los atletas de élite que representarán a la nación en las competencias. Hoy en día, la piscina olímpica ubicada dentro del complejo, brinda el servicio únicamente a los deportistas y personas inscritas en alguna disciplina.

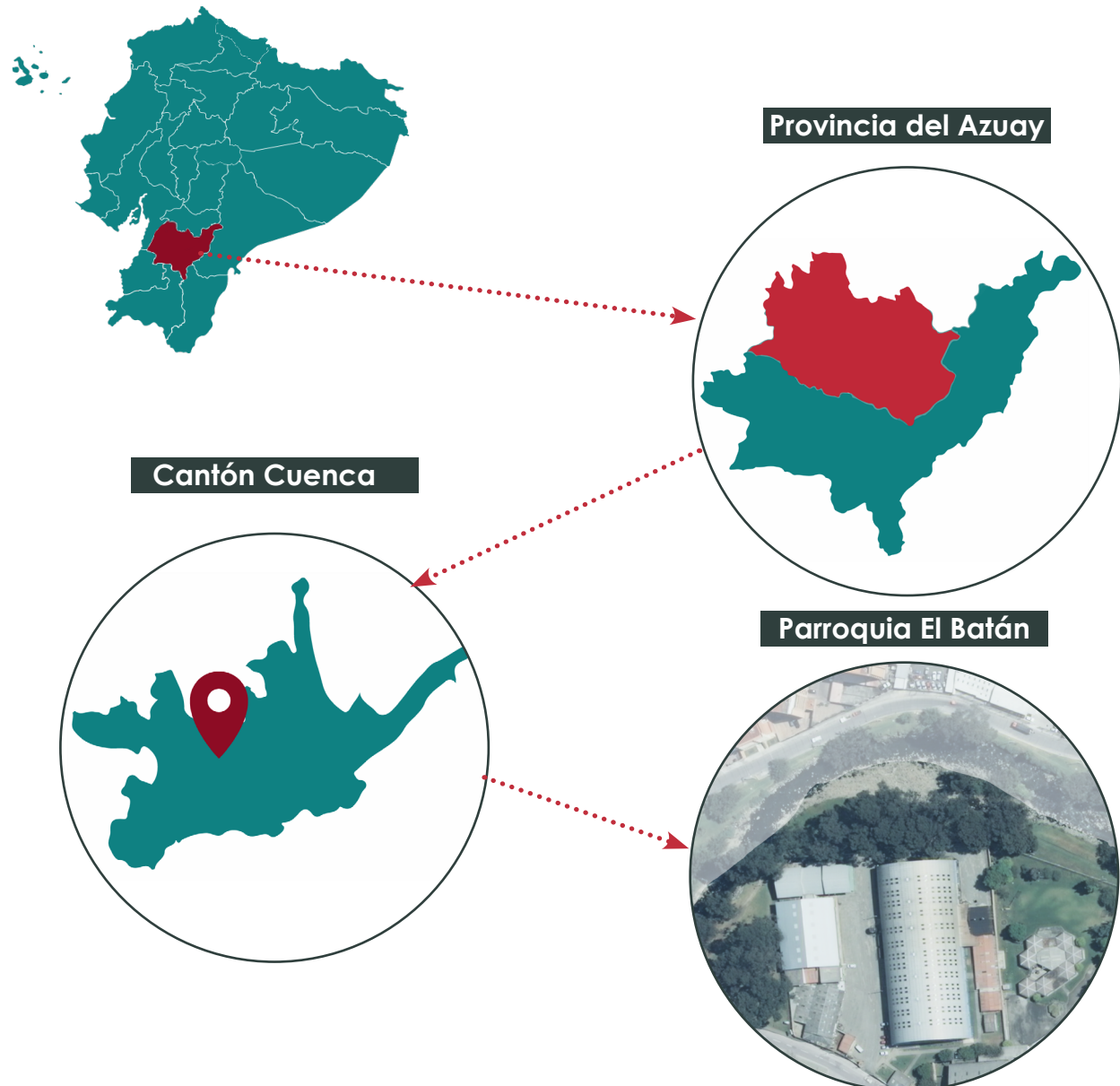


Figura 3.01: Ubicación del lugar de estudio. Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2 Análisis bioclimático

La ciudad de Cuenca al encontrarse dentro del callejón interandino, puede recibir influencias tanto de la Costa como del Oriente, ubicada entre 2350 a 2,550 m sobre el nivel del mar. El caso de estudio se emplaza con una altitud 2°29'33.08" S y Longitud 79° 02'10.34". Presenta una temperatura promedio de 16.3 °C (Cordero & Guillén, 2013). Los meses de diciembre y enero son los más cálidos, mientras que los meses más fríos se los identifica entre junio a septiembre (ver Figura 3.02).

Posee una radiación solar promedio de 3.92 kWh/m² y 5.06 kWh/m² siendo estos valores los de mayor y menor radiación respectivamente (Cordero & Guillén, 2013). La dirección predominante de los vientos es desde el noreste y la velocidad promedio de la misma es de 11.11 km/h (WINDFINDER, 2022), la humedad relativa más alta son los meses de febrero y abril con 88% y el mes con humedad relativa más baja es en septiembre con 77% (Weather Atlas,2022).

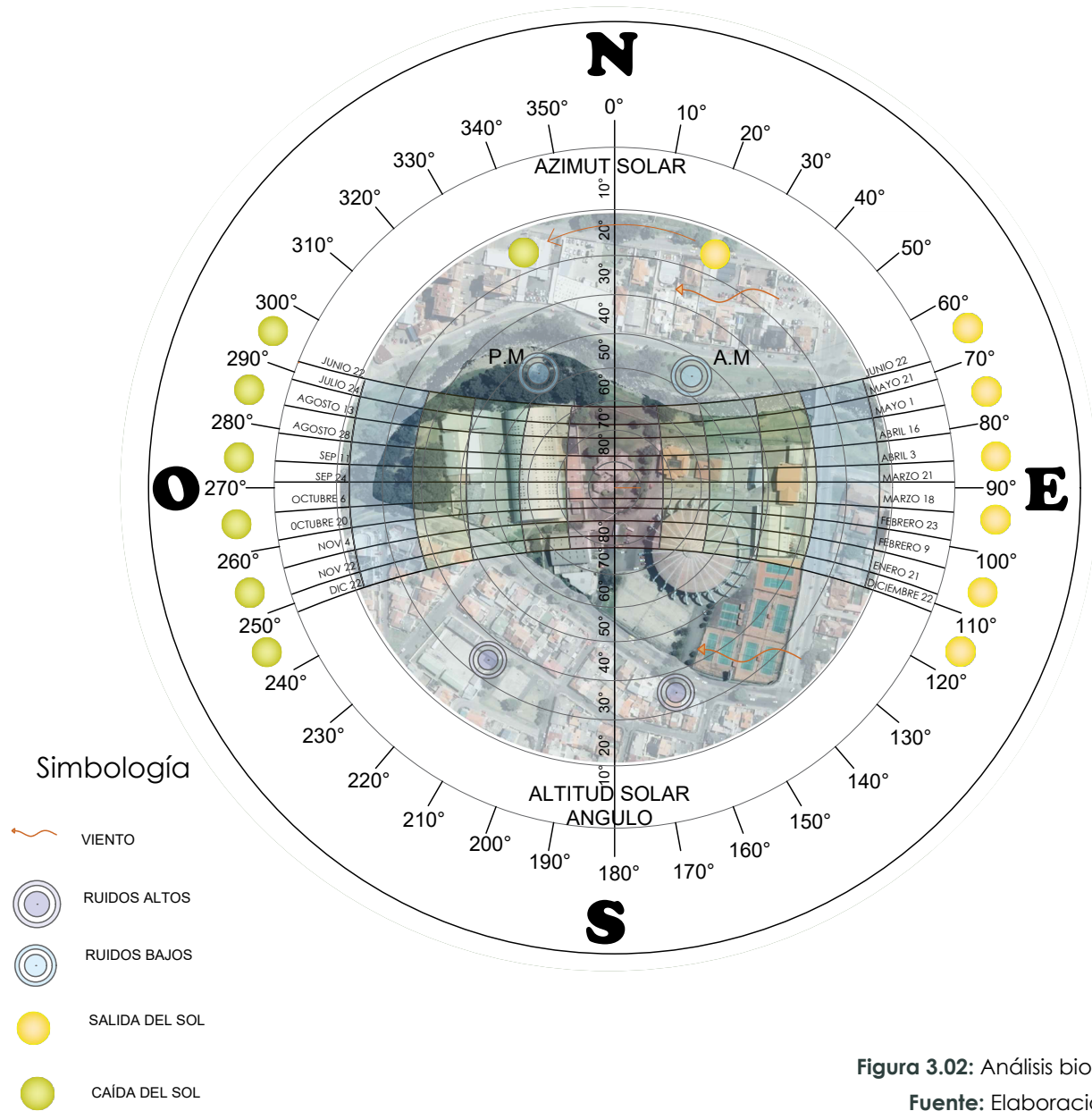


Figura 3.02: Análisis bioclimático. Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3 Contexto

El complejo deportivo Jefferson Pérez Quezada se encuentra ubicado en un área urbana en una zona residencial y comercial con edificaciones de una altura aproximada de 18 metros y con la presencia de áreas verdes dentro del complejo deportivo y sus alrededores con el cruce del Río Tomebamba. En el contexto inmediato encontramos pequeños y grandes comercios como el Batán Shopping. El sector se encuentra dotado de todos los servicios básicos, alumbrado público, vías, entre otros, y equipamientos públicos como la escuela 12 de abril y entidades financieras.

Debido a la presencia del río Tomebamba en el que se desarrolla un parque lineal el sector conserva abundante vegetación, como arbustos y árboles de eucalipto en su mayoría. Cercano al caso de estudio, no se identifican elementos arquitectónicos significativos en el ámbito patrimonial, ya que por su ubicación se encuentra fuera del centro Histórico de Cuenca.



Imagen 3.01: Contexto del lugar de estudio vista 01.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.02: Contexto del lugar de estudio vista 02.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.03: Contexto_Rio Tomebamba vista 03.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2 PISCINA OLÍMPICA

El complejo deportivo se ha construido de una manera relativamente ordenada con la distribución para las diferentes actividades deportivas, con un área estimada de 4.8 ha, de los cuales el 12.5% (6,000 m²) corresponde al equipamiento de la piscina olímpica.

Dentro del complejo de la piscina se tiene varias zonas divididas en: área administrativa, vestidores para hombres y mujeres, además, cuenta con el área destinada a los equipos necesarios para el funcionamiento y calentamiento del agua para las piscinas.

El material de construcción utilizado es acero para la estructura de la cubierta compuesta de cerchas de acero estructural y recubierta de planchas de placa metálica ondulada y fibrocemento ondulado, en la mampostería se evidencia la presencia de ladrillo y hormigón en el piso. La estructura principal de la piscina se compone de un muro de piedra, graderíos de hormigón, paredes de mampostería de bloque y ladrillo (ver Imagen 3.04).

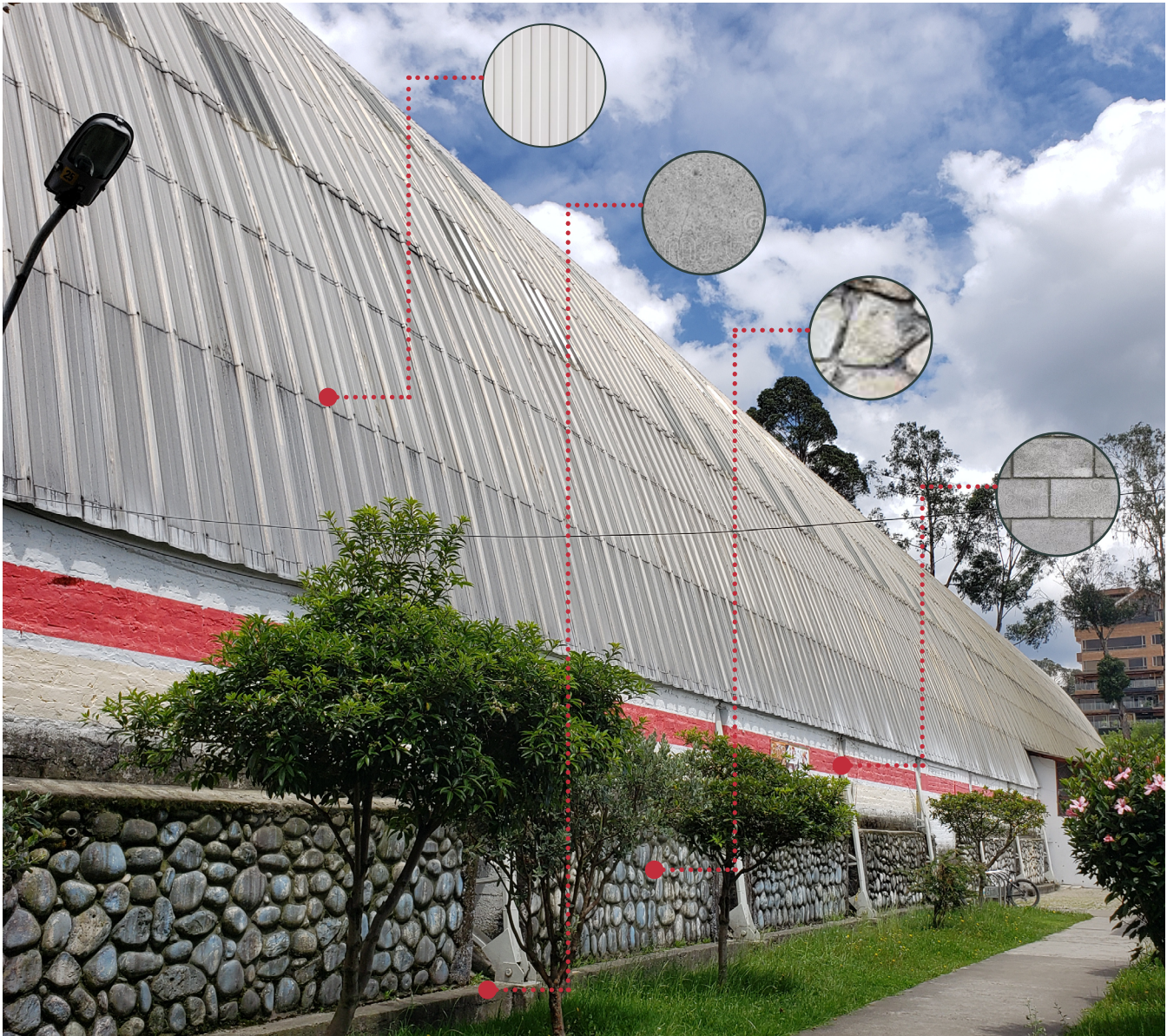


Imagen 3.04: Vista externa de la estructura.
Fuente: Elaboración Propia.

La “piscina olímpica” del complejo deportivo de la FDA, cuenta con tres piscinas:

Piscina principal olímpica de 25 m de ancho x 50 m de largo x 1.75 m de profundidad, piscina de clavados de 15 m x 15 m x 8 m de profundidad, piscina de niños de 12 m x 6 m x 1 m de profundidad (ver Imágenes 3.05 - 3.07). Por lo tanto al mencionarse la “piscina olímpica” se hace referencia a las 3 piscinas presentes dentro del recinto techado.

La temperatura promedio de las piscinas olímpicas de la FDA es de 26 °C, 30 °C y 32 °C respectivamente, se realiza por medio del sistema de calderas que es un sistema híbrido que puede trabajar con diésel o bunker. La transferencia de calor se produce por medio de intercambiadores de temperatura que son placas de aluminio y de acero inoxidable que pasan el calor de un fluido a otro. La purificación del agua se realiza con cloro gas, para que el agua esté en buen estado. El manejo de llaves es individual para cada piscina.



Imagen 3.05: Piscina de niños.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.06: Piscina olímpica.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.07: Piscina de clavados.
Fuente: Elaboración Propia.

3.3 LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

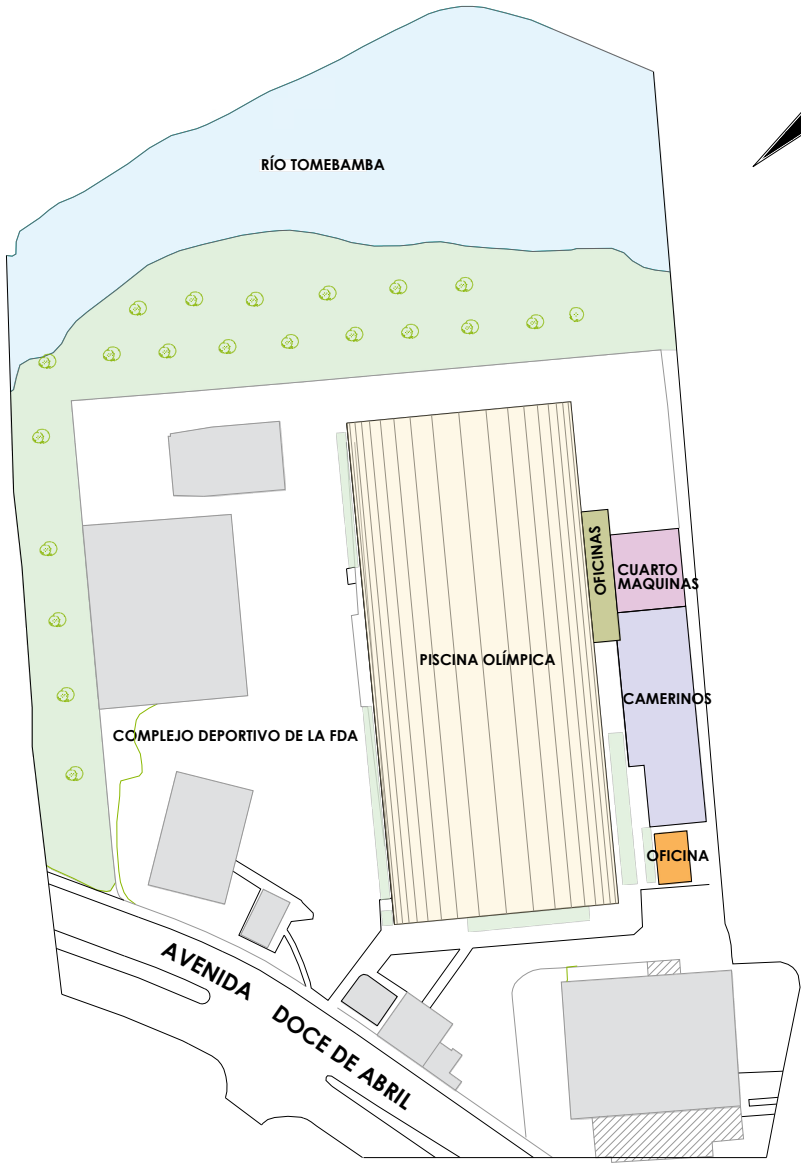


Figura 3.03: Emplazamiento General.
Fuente: Elaboración Propia.

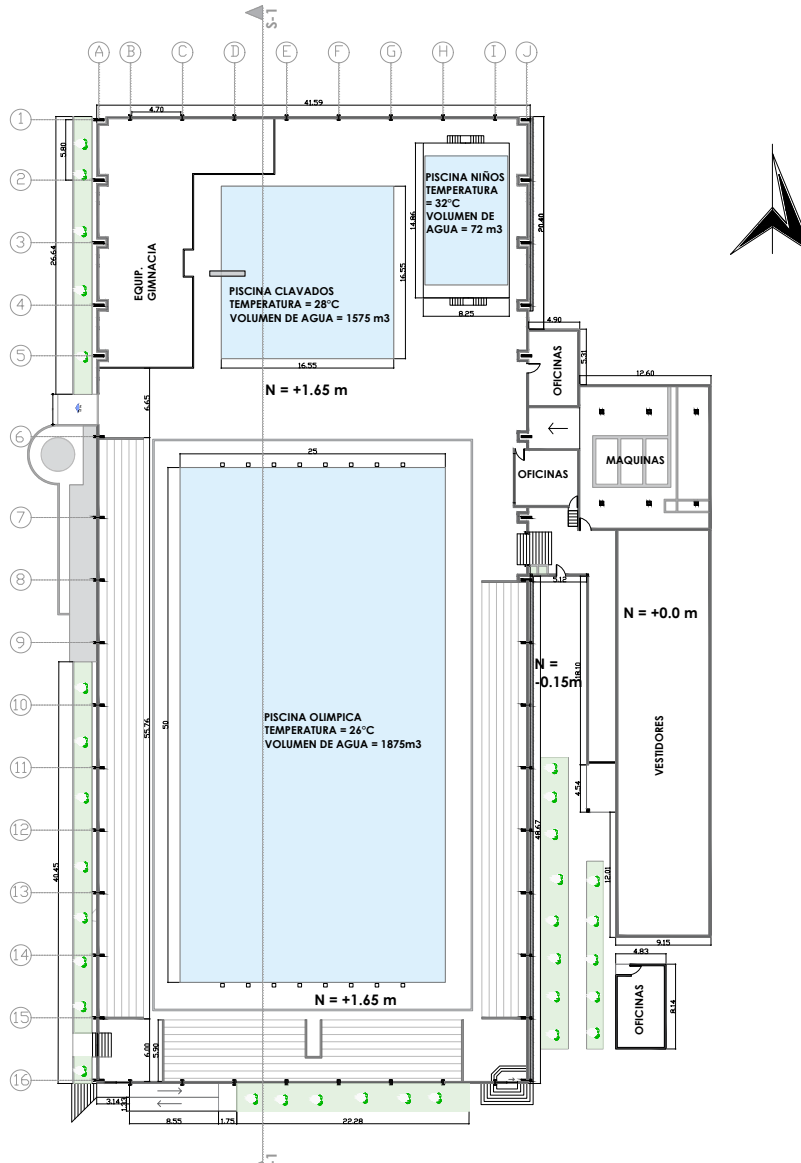


Figura 3.04: Planta arquitectónica.
Fuente: Elaboración Propia.

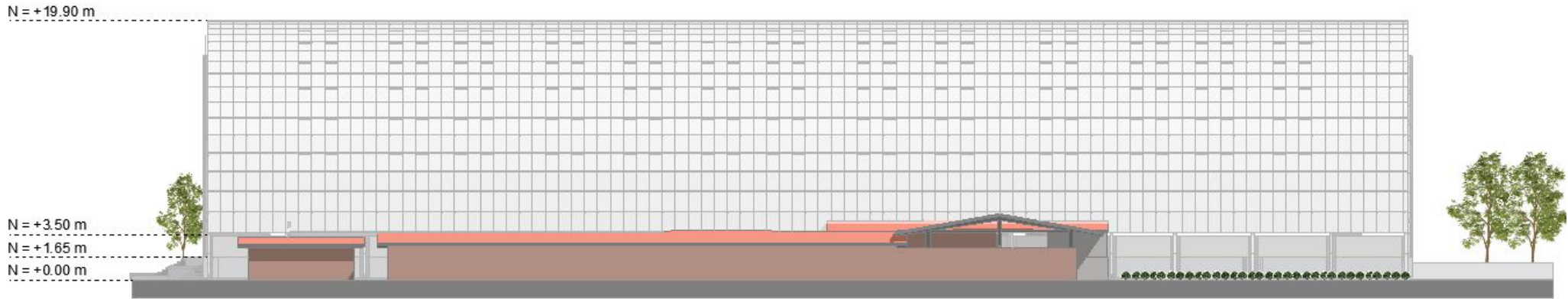


Figura 3.05: Elevación Lateral Derecha.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 3.06: Elevación Lateral Izquierda.
Fuente: Elaboración Propia.

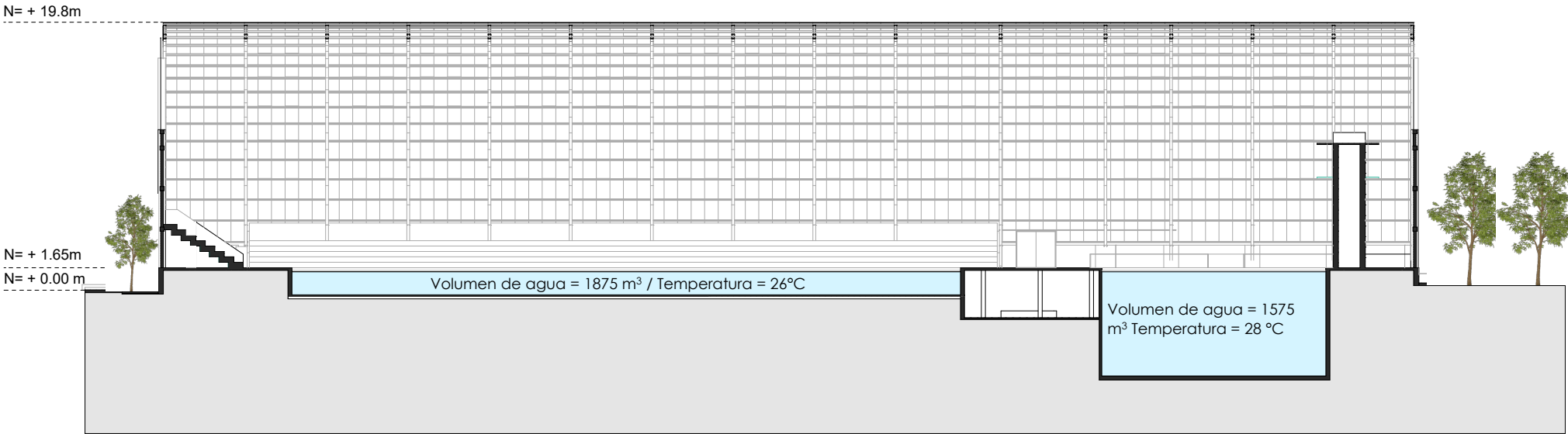


Figura 3.08: Corte S-1.
Fuente: Elaboración Propia.

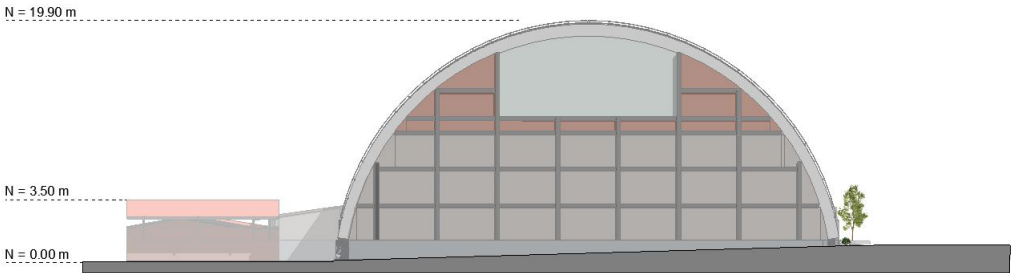


Figura 3.07: Elevación posterior.
Fuente: Elaboración Propia.

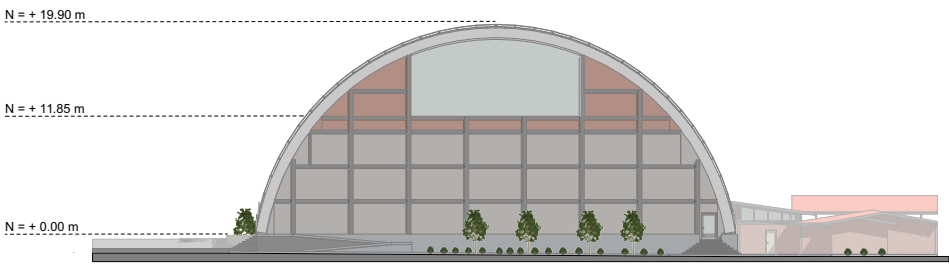


Figura 3.09: Elevación Frontal.
Fuente: Elaboración Propia.

3.4 TIPOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN

El complejo de la piscina olímpica se compone de dos edificaciones aisladas estructuralmente y conectadas funcionalmente, se puede identificar dos tipologías de cubiertas, en donde la estructura principal de la cubierta que cubre las piscinas consta de cerchas de acero de arco de medio punto, mampostería de bloque y ladrillo, las paredes más altas al norte y sur del complejo, pisos y demás elementos se constituyen de hormigón armado.

La cubierta presenta una buena iluminación pasiva y ventilación controlada para mantener la temperatura del interior, se compone de planchas de placa metálica ondulada y lucernarios de planchas translúcidas (ver Imagen 3.08). En la parte este, se encuentra el bloque anexo que contiene el cuarto de máquinas, camerinos y zona administrativa, este bloque tiene una cubierta a dos aguas compuesta por vigas y correas de perfiles de acero. La envolvente del techo se compone de planchas de fibrocemento ondulado (ver Imagen 3.09).



Imagen 3.08: Vista externa del techo de la piscina olímpica.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.09: Cuarto de maquinas.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5 CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA

La cubierta principal tiene forma de bóveda de cañón de sección semi-circular, generada por la prolongación de un arco de Medio Punto a lo largo de un eje longitudinal. Sus paramentos presentan la forma de media superficie cilíndrica (ver Fig 3.12), se ubica a lo largo de las tres piscinas, la envolvente se compone de planchas de placa metálica ondulada y planchas de techo translúcido que se han dispuesto a lo largo y ancho de toda la envolvente (ver Imagen 3.10).

La superficie total de la cubierta principal es de 5180.52 m², distribuidos de la siguiente manera:

- 4662.6 m², de planchas metálicas onduladas (chapa metálica) dispuestas en varias pendientes que conforman la cubierta tipo cañón.
- 517.92 m², de planchas translúcidas dispuestas en forma dispersa alrededor de toda la cubierta.

Finalmente, se examinan todas las cubiertas; tanto parte de la piscina olímpica como de la parte administrativa y del área de maquinarias, en esta última

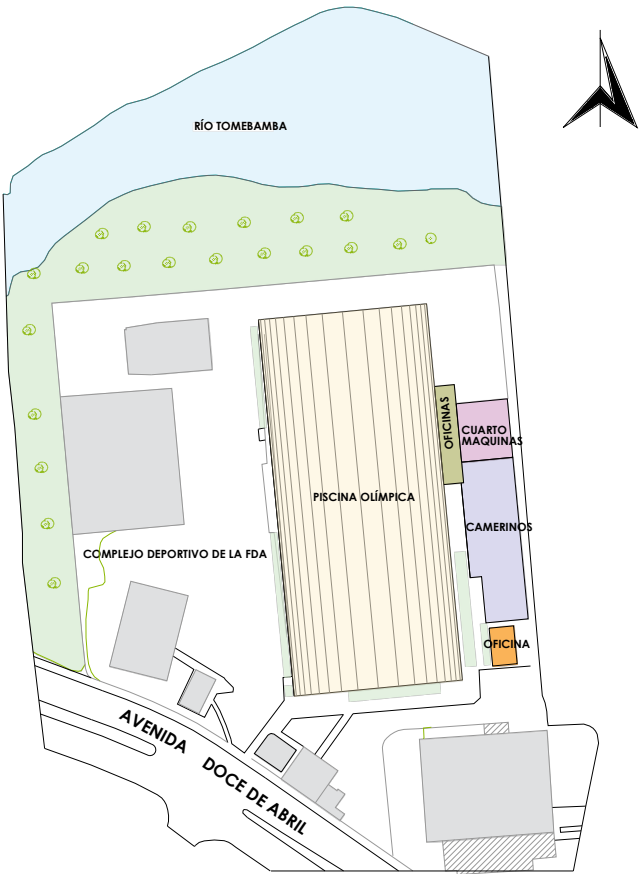


Figura 3.10: Zonificación.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.10: Vista interna de la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.11: Vista interna de la cubierta_cuarto de maquinas.
Fuente: Elaboración Propia.

3.6 ESTRATEGIAS PASIVAS DE LA CUBIERTA

Se identificaron estrategias pasivas para la iluminación natural por medio de placas translúcidas a lo largo de la cubierta (ver Imagen 3.12), además presenta aberturas controladas que permiten mantener la temperatura generada dentro del complejo de las piscinas.

La edificación presenta grandes ventanales de iluminación en sus paredes norte y sur, no utiliza iluminación artificial ni equipos mecánicos de ventilación durante el día (ver Imagen 3.12). La cubierta presenta aberturas de ventilación natural en la parte frontal, posterior y en los puntos más altos de la cubierta; estas estrategias arquitectónicas generan pérdidas térmicas, aunque son importantes para reducir la condensación en la parte superior interna de la cubierta (ver Figura 3.11).

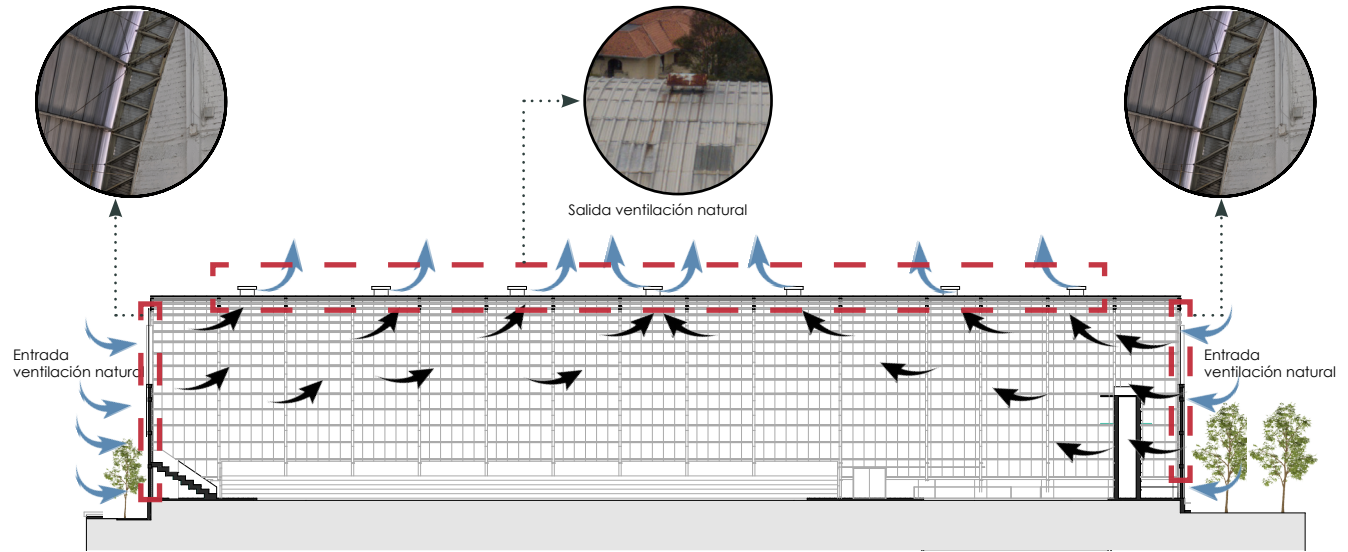


Figura 3.11: Detalle de ventilación natural de la cubierta. Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.12: Estructura de la cubierta actual - vista interna central. Fuente: Elaboración Propia.

3.7 EVALUACIÓN DEL ESTADO CONSTRUCTIVO

La cubierta de la piscina olímpica de la FDA, tiene una estructura tipo arco metálico apoyado sobre pedestales de concreto reforzado que forman pórticos con vigas de amarre y cimentación.

Los arcos están constituidos por perfiles metálicos tipo cercha, estos son C (200 x 50 x 3) mm, para los arcos internos y externos de la cercha, en los elementos transversales se han usado ángulos L (40 x 40 x 2) mm, las correas colocadas sobre los arcos son de tipo G (150 x 50 x 20 x 3) mm a estos perfiles se anclan las planchas de placa metálica ondulada y las planchas traslúcidas, también cuenta con cortavientos 1 Ø 12 mm soldados transversalmente al arco externo e interno, cada arco se fija con una unión articulada a la base de hormigón armado mediante pletinas de fijación de 3 mm (ver Figura 3.12).

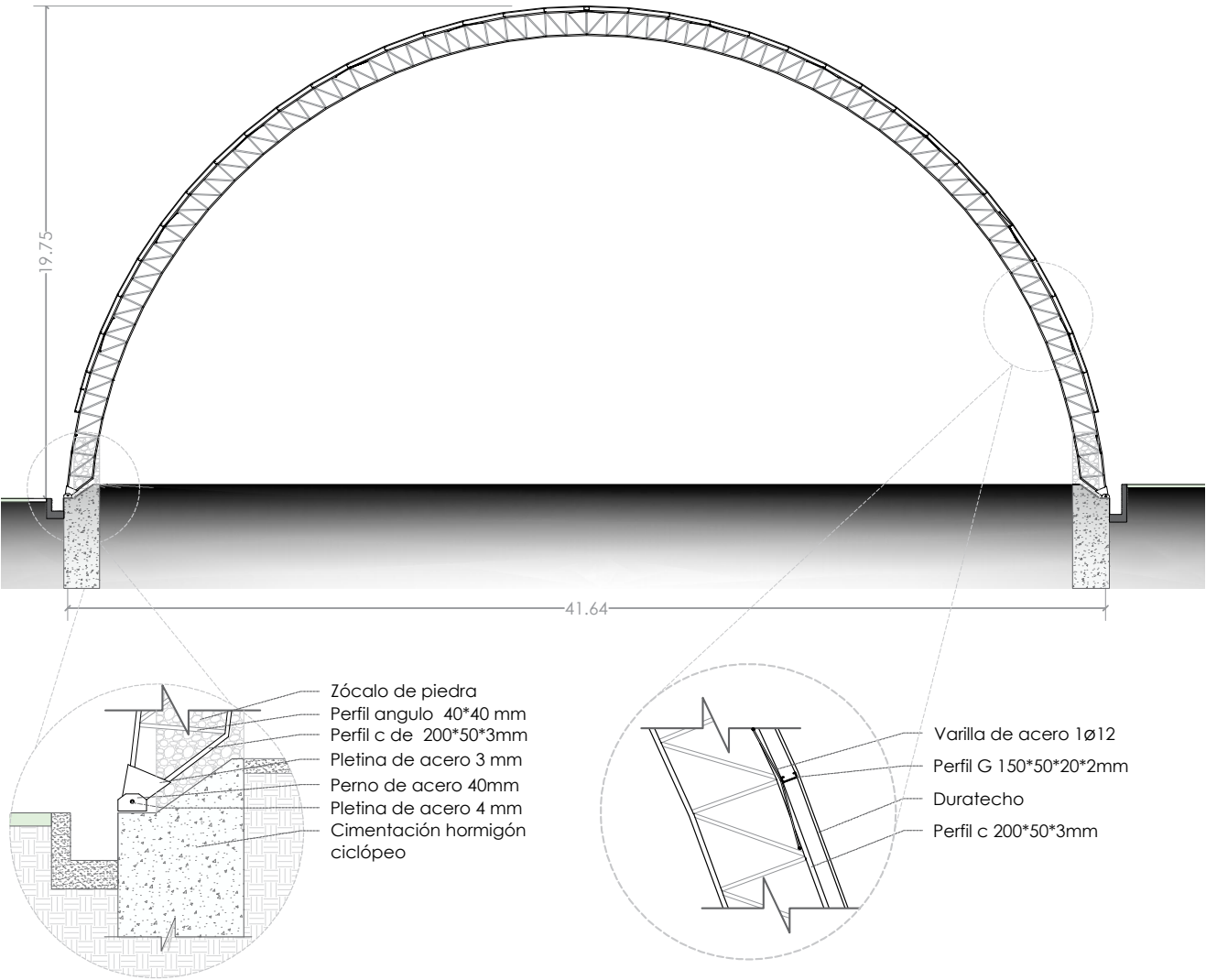


Figura 3.12: Detalle constructivo cubierta. Fuente: Elaboración Propia.

3.8 ESTUDIO DE SOMBRA Y RECORRIDO SOLAR

El análisis del soleamiento y sombreamiento del edificio se realizó con el software Ecotect Analysis de acuerdo al procedimiento descrito a continuación.

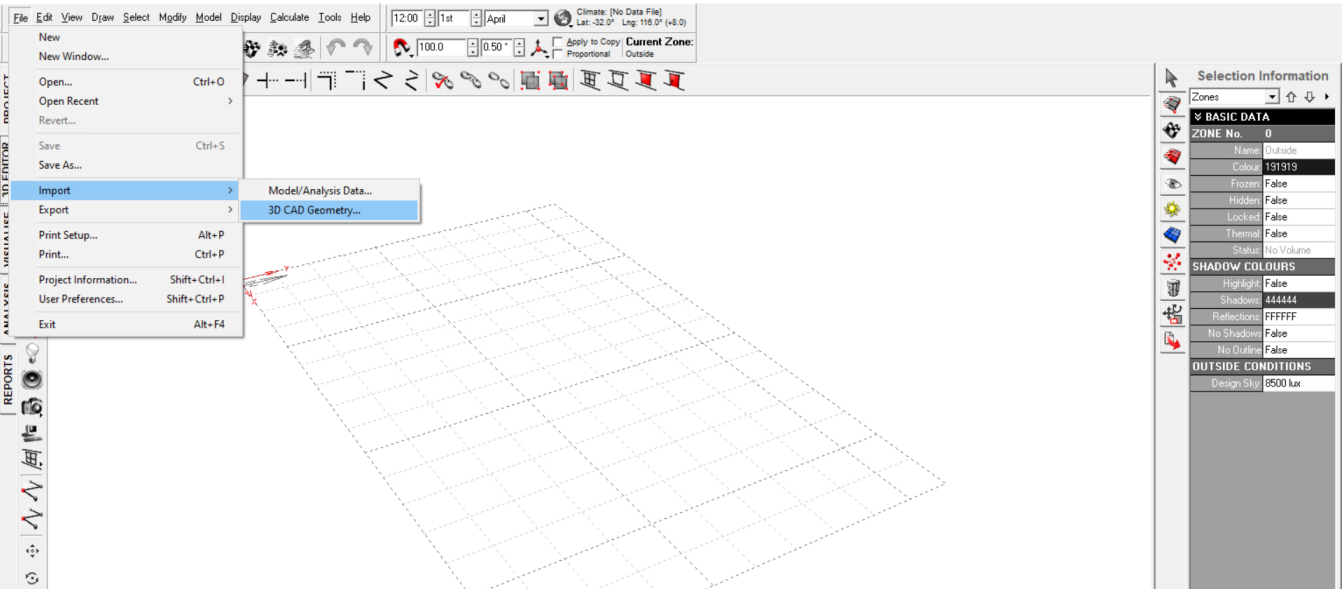
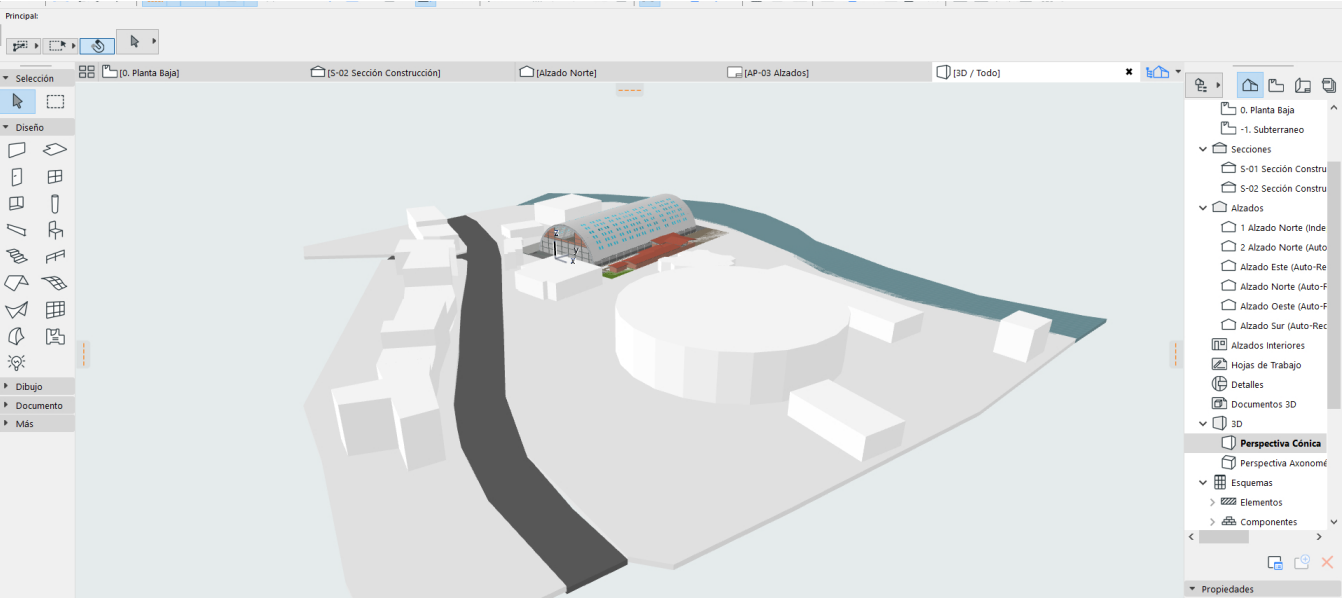
3.8.1 Procedimiento

1. Se desarrolla el modelado en 3D de la infraestructura en la piscina olímpica, en el programa de ArchiCad 23 de Graphisoft, con una parte del contexto inmediato en volumetría. Al finalizar se exporta el archivo en formato TXF (ver Imagen 3.13).

Imagen 3.13: Modelado en 3D ArchiCad. Fuente: Elaboración propia.

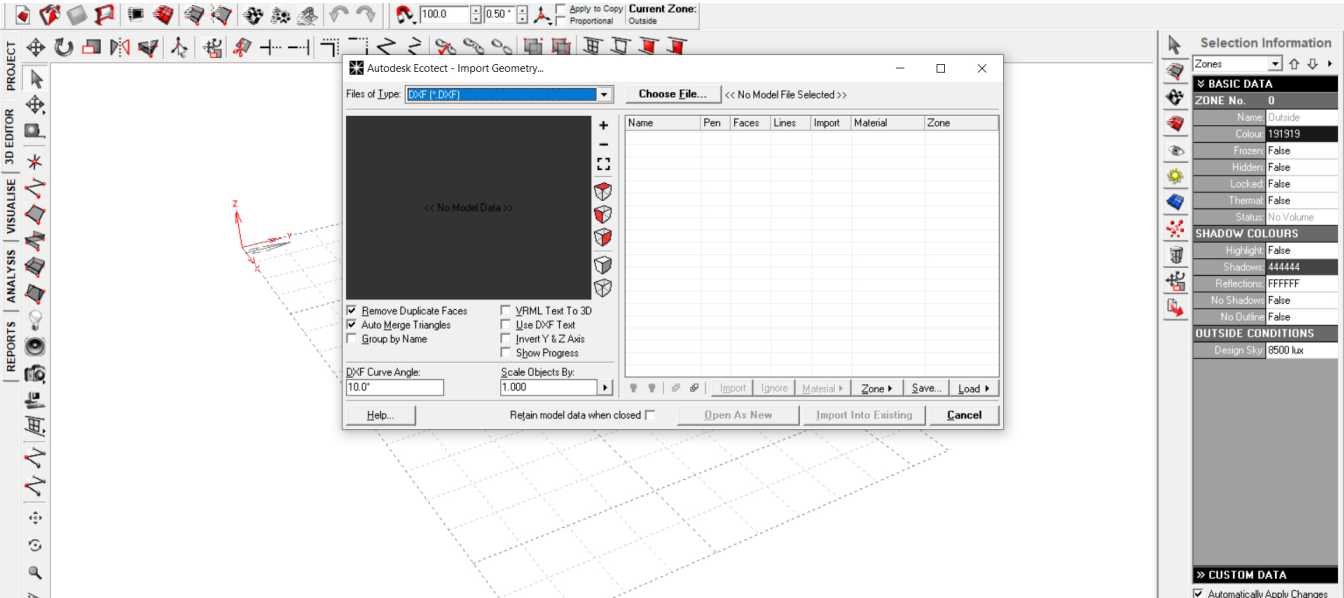
2. A continuación, en el software Autodesk Ecotect Analysis 2011, en la pestaña "File", se elige Importar y a continuación "3D CAD Geometry", en el siguiente cuadro de diálogo del formato se selecciona el modelo a importar (ver Imagen 3.14).

Imagen 3.14: Software Ecotect Analysis 2011. Fuente: Arquitectura sustentable, 2015.



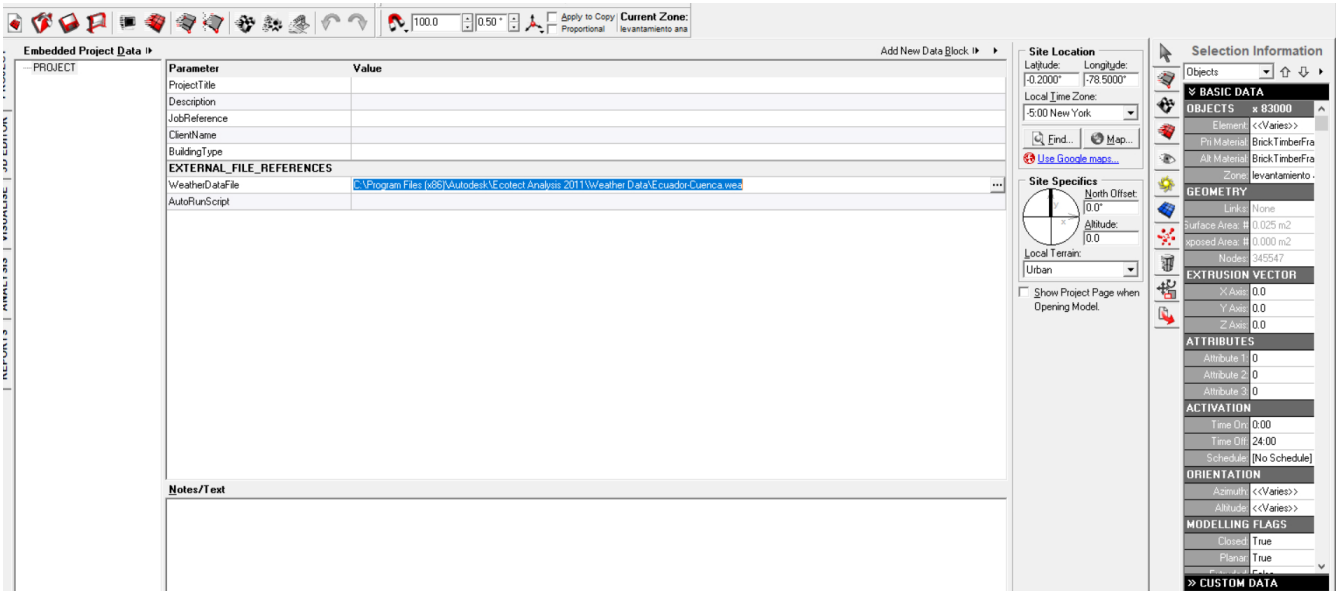
3. Posterior a la selección del archivo, se activa la casilla "Duplicate Faces" y "Auto Merge Triangles", para lograr un archivo más limpio y óptimo para el análisis a realizar (ver Imagen 3.15).

Imagen 3.15: Importación de modelo 3D. Fuente: Arquitectura sustentable, 2015.



4. Se descarga el fichero climático de la ciudad de Cuenca, de la página <https://nsrdb.nrel.gov/>, en formato .wea, por lo que previamente se transformó de .epw a .wea, o colocar las coordenadas correspondientes para el análisis de sombras (ver Imagen 3.16).

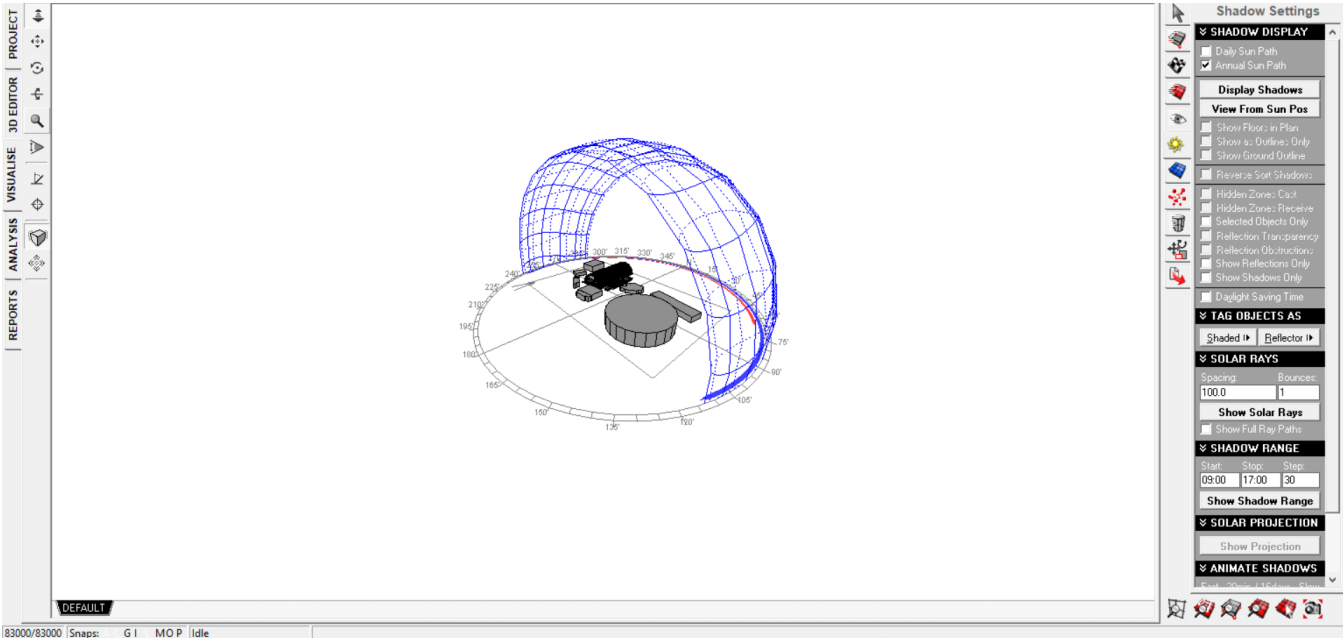
Imagen 3.16: Parámetros a importar. Fuente: Arquitectura sustentable, 2015.



5. En la pestaña de Visualización, se activa el diagrama solar sur y norte, obteniendo del modelo expuesto en la imagen 3.13 (ver Imagen 3.17).

Imagen 3.17: Diagrama Solar.
Fuente: Arquitectura sustentable, 2015.

6. Finalmente, se enciende la pestaña de proyección de sombras y se procedió a configurar el horario de análisis en la barra de herramientas, identificando las zonas sombreadas y con mayor iluminación del complejo de la piscina con su contexto.



3.8.2 Análisis solar y resultados

A partir del modelo 3D del caso de estudio, se procede a determinar la incidencia solar de la edificación y entender las horas que produce más sombra, considerando que su contexto son edificaciones de baja altura y por la presencia de vegetación baja por lo cual no genera sombra sobre la cubierta de las piscinas (ver Figura 3.13)

A continuación, se procede a la simulación de las sombras desde las 8:00 a.m. hasta las 17:00 p.m. en los días de solsticio que son el 21 de junio y 21 de diciembre, observando que la sombra se proyecta por volúmenes propios. La edificación donde se encuentra la piscina olímpica es la que produce sombra por su gran altura a la cubierta de los camerinos.

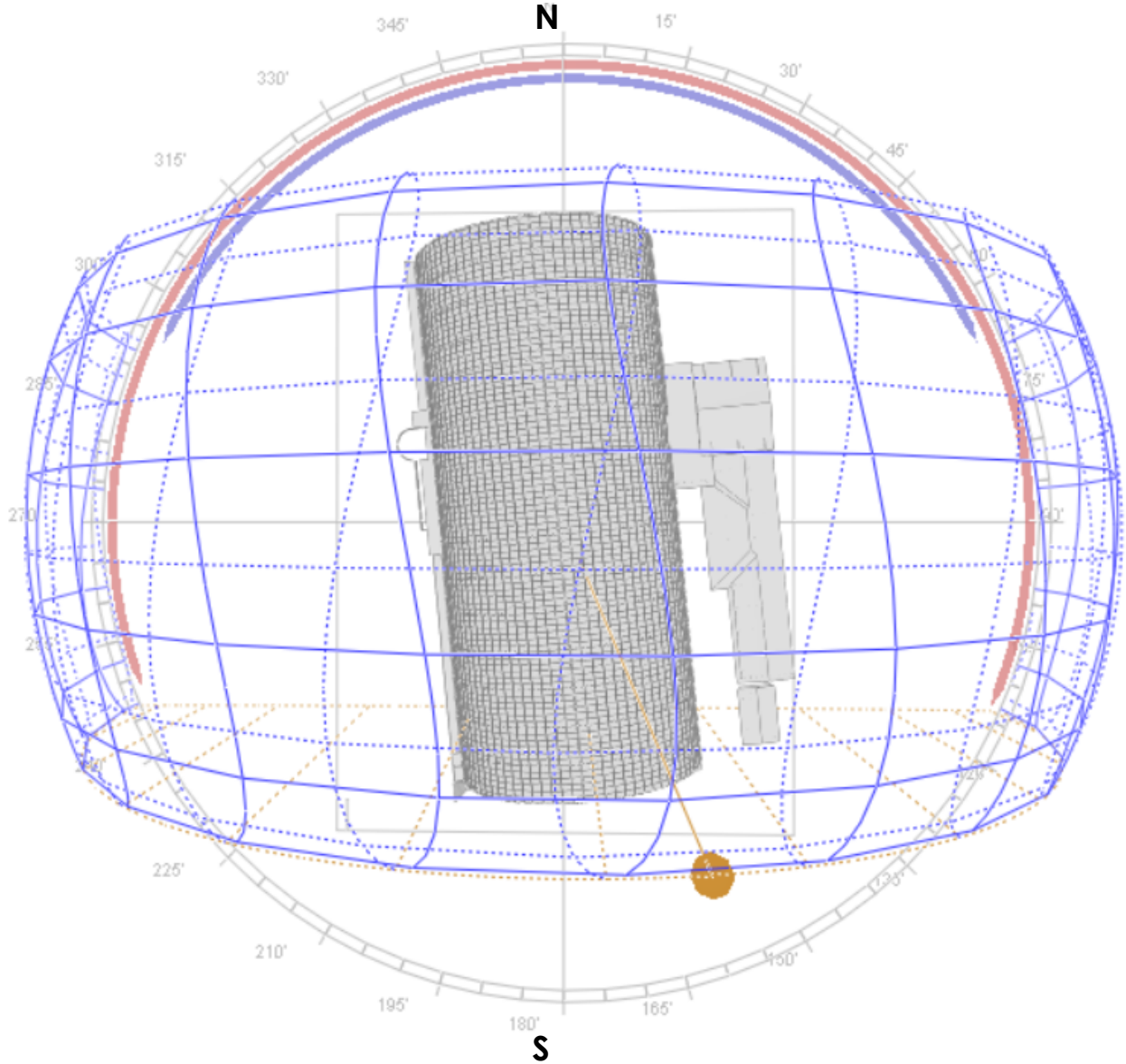


Figura 3.13: Diagrama Solar.
Fuente: Elaboración Propia.

Se hace evidente que las sombras más grandes son proyectadas sobre las cubiertas que corresponden al solsticio de invierno. En esta fecha del año el sol se ubica en el norte; visto desde la Tierra, produciendo grandes sombras debido a la ubicación de la edificación. Las horas que se produce más sombras en la mañana es a las 8:00 a.m. hacia el oeste de la edificación, mientras en la tarde se presentan a las 17:00 p.m. hacia el este, generando sombra en su totalidad en la cubierta de los camerinos, respectivamente (ver Figura 3.14 y 3.15).

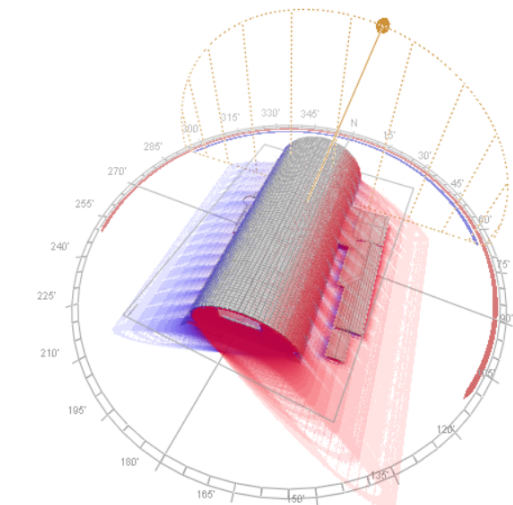
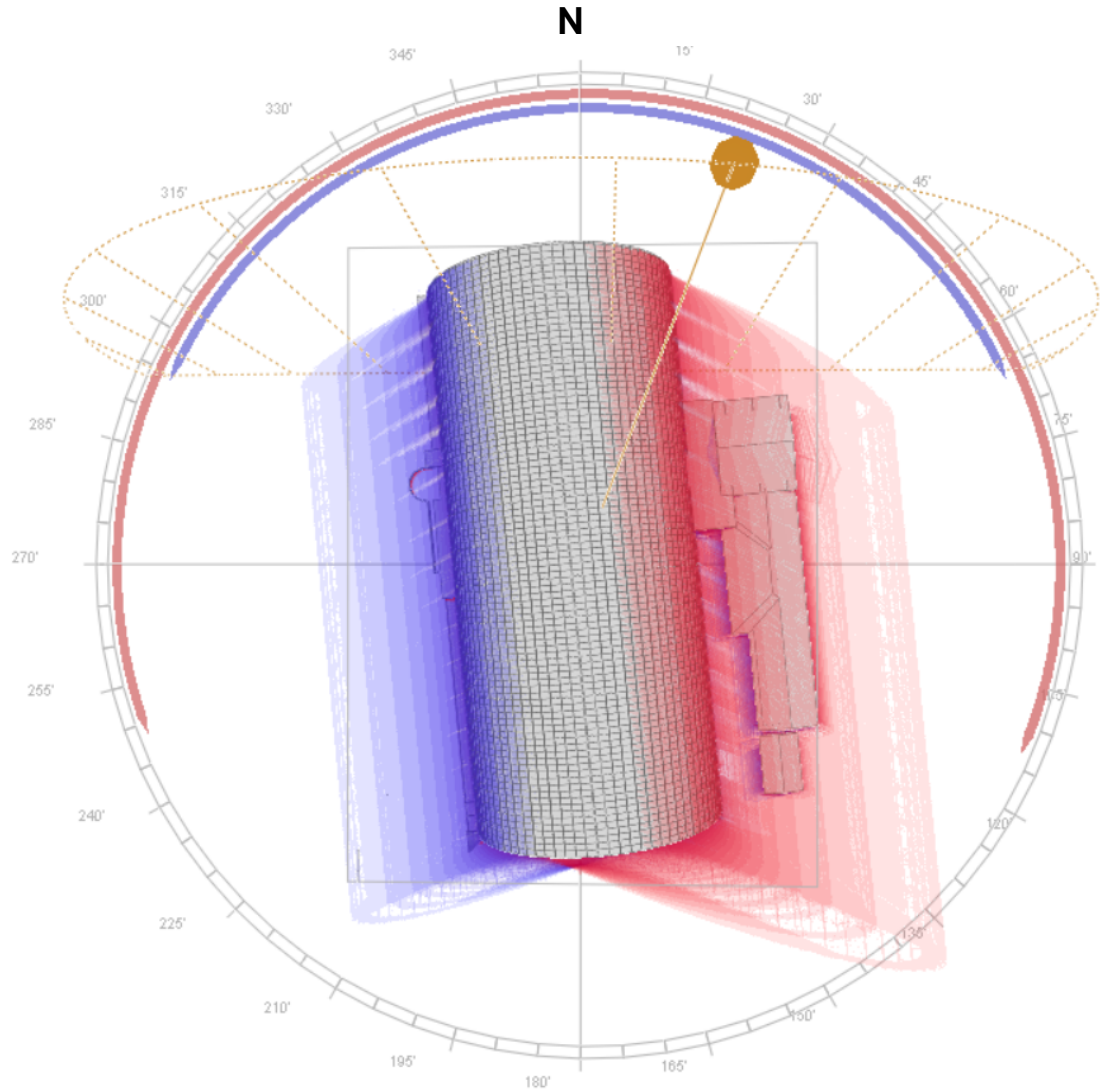


Figura 3.14: Menor incidencia solar sobre la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.



■ Incidencia solar de 8:00 am a 12:00

■ Incidencia solar de 12:00 pm a 17:00

Figura 3.15: Menor incidencia solar sobre la cubierta 8:00 a.m. y 17:00 p.m. (21 de junio).
Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo, donde presenta menos sombra es en la mañana a las 9:00 a.m. , y en la tarde a las 16:00 p.m. debido a la rotación de la Tierra y el aparente recorrido solar (ver Figura 3.16 y 3.17).

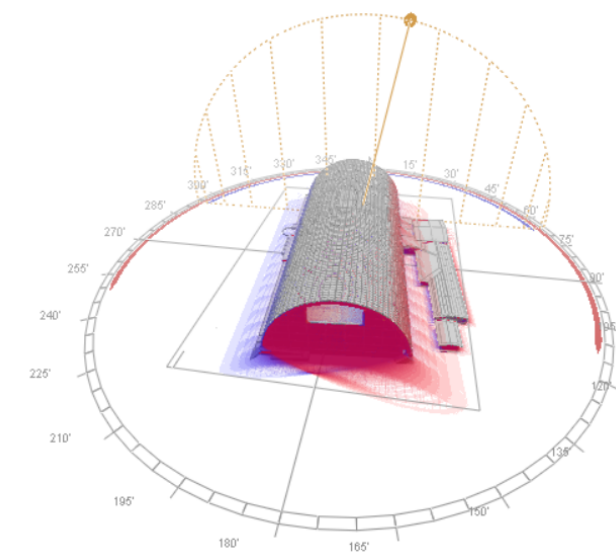
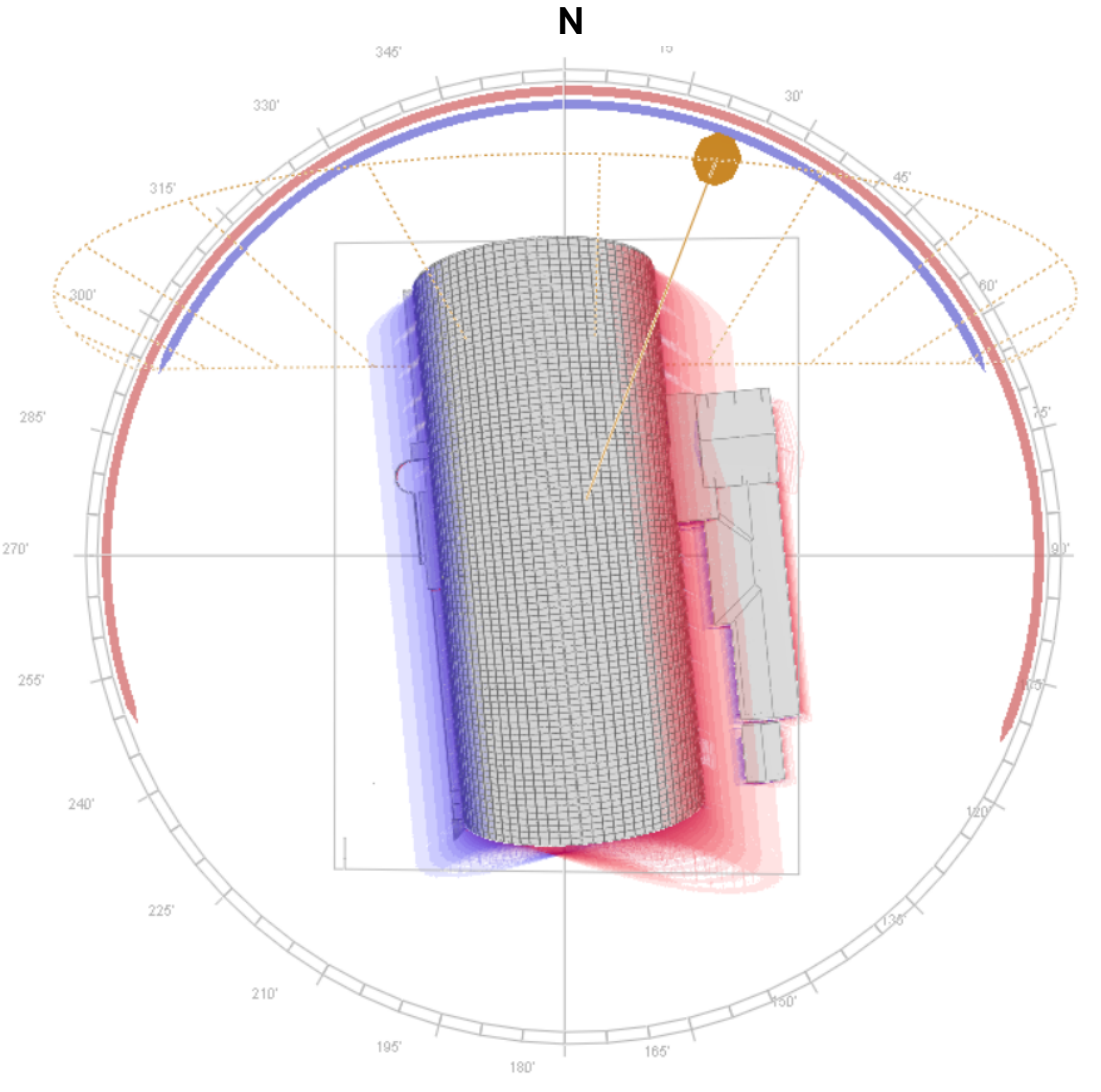


Figura 3.16: Incidencia solar promedio sobre la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.



■ Incidencia solar de 8:00 am a 12:00 p.m.

■ Incidencia solar de 12:00 pm a 17:00 p.m.

Figura 3.17: Incidencia solar promedio sobre la cubierta 9:00 a.m. y 16:00 p.m. (21 de junio).
Fuente: Elaboración Propia.

En el período de tiempo desde las 10:00 a.m. hasta las 14:00 p.m. aproximadamente, el techo presenta una buena incidencia solar, ya que el sol se encuentra perpendicular a la edificación (ver Figura 3.18 y 3.19).

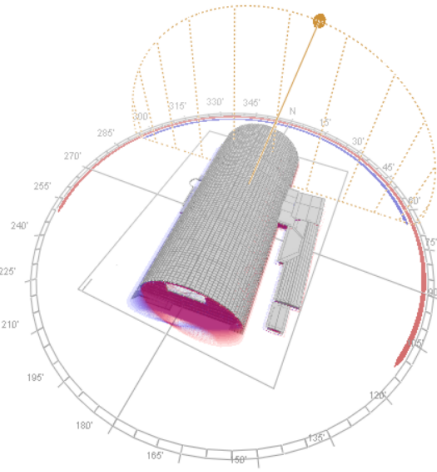


Figura 3.18: Mayor incidencia solar sobre la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.

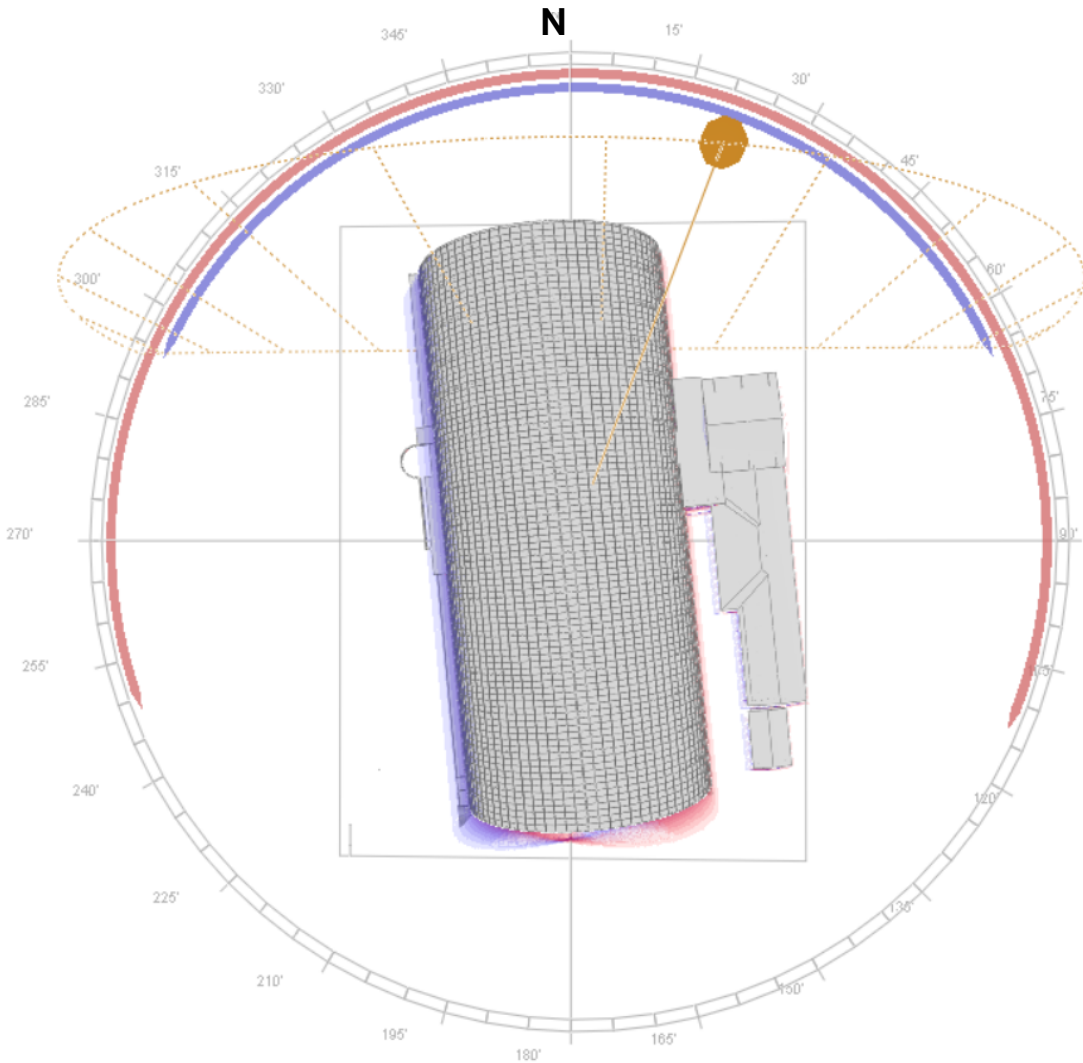


Figura 3.19: Mayor incidencia solar sobre la cubierta 10:00 a.m. y 14:00 p.m. (21 de junio).
Fuente: Elaboración Propia.

De la misma manera sucede en el solsticio de verano donde el sol está al sur, provocando pocas sombras sobre las techumbres (ver Figura 3.20 y 3.21).

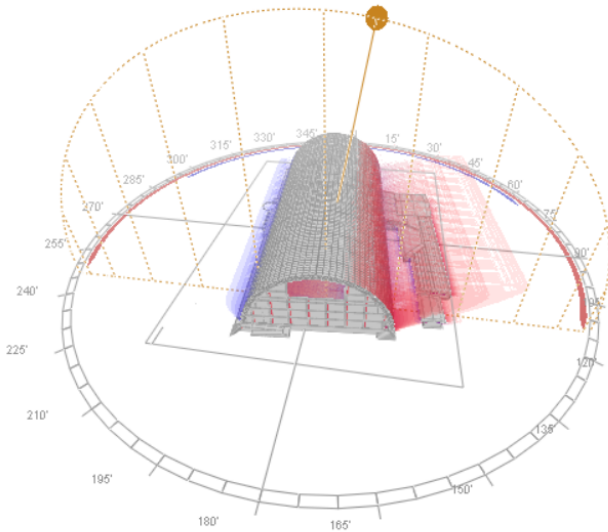
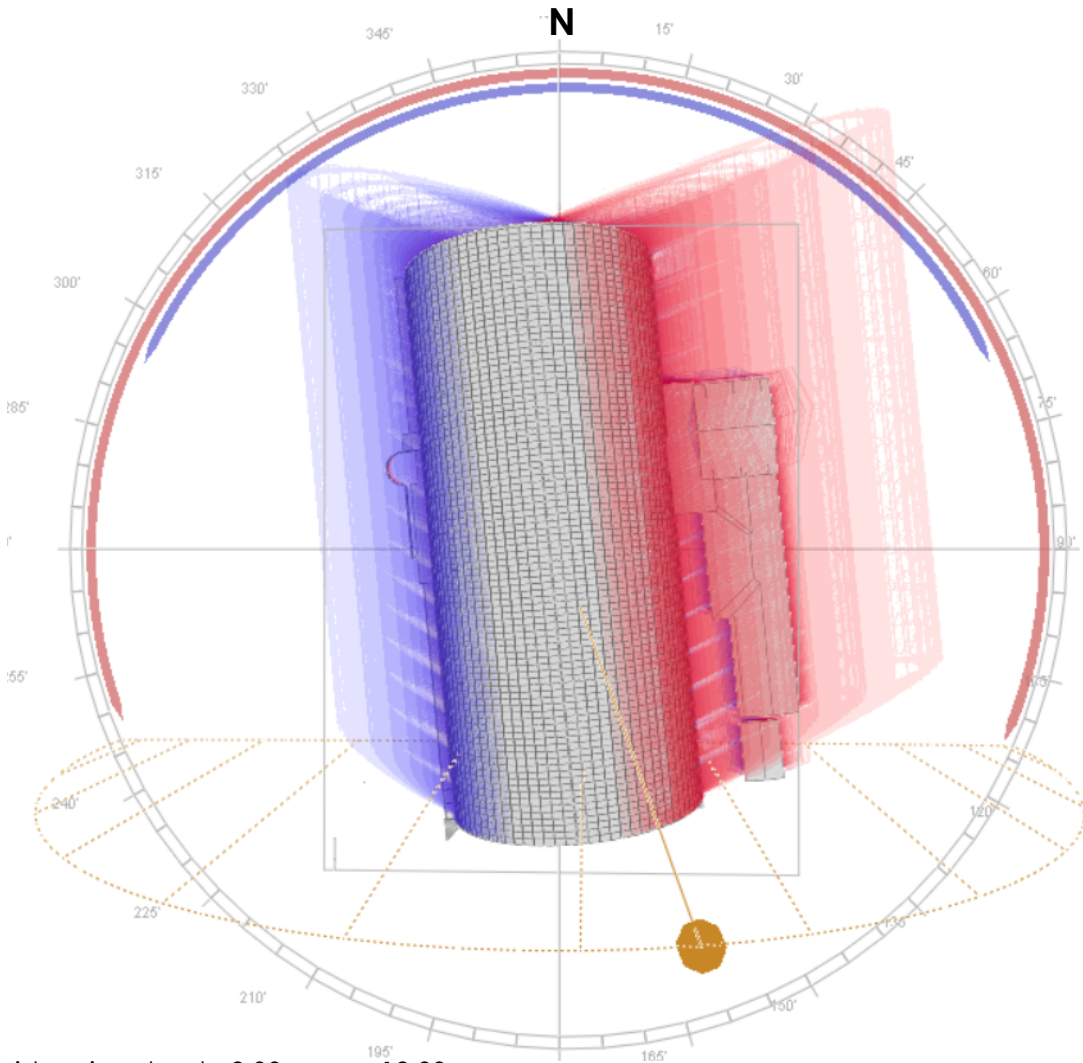


Figura 3.20: Menor incidencia solar sobre la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.



Incidencia solar de 8:00 a.m. a 12:00 p.m.
Incidencia solar de 12:00 p.m. a 17:00 p.m.

Figura 3.21: Menor incidencia solar sobre el techo. 8:00 a.m. y 17:00 p.m. (21 de diciembre).
Fuente: Elaboración Propia.

En el horario desde las 10:00 a.m. hasta las 14:00 p.m. aproximadamente, la techumbre presenta una sombra casi nula, ya que el sol se encuentra perpendicular a la edificación (ver Figura 3.22 y 3.23).

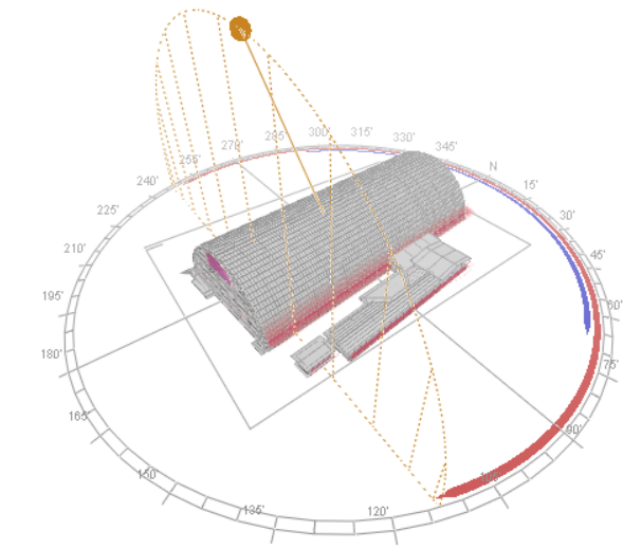


Figura 3.22: Mayor incidencia solar sobre la cubierta.
Fuente: Elaboración Propia.

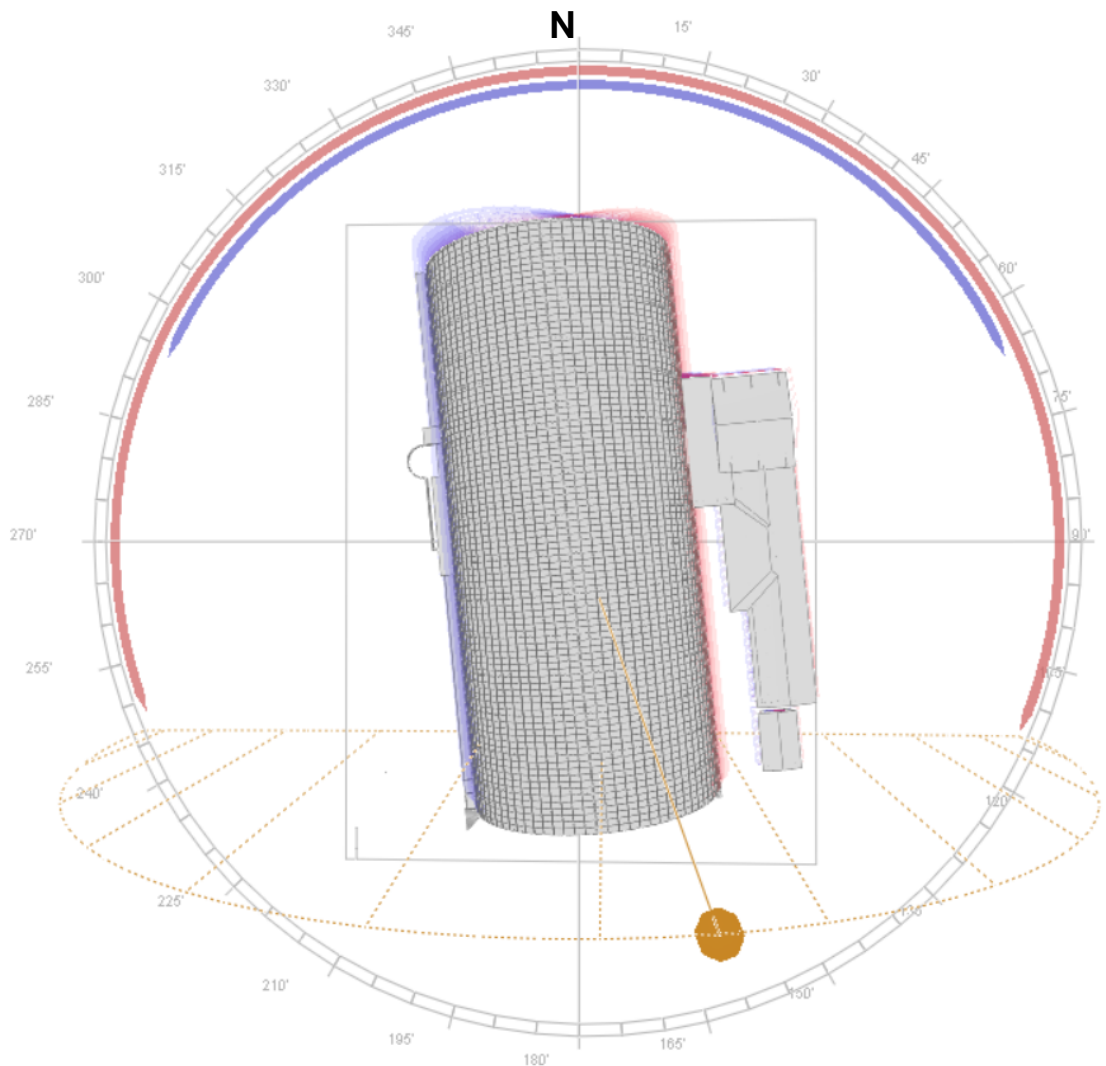


Figura 3.23: Mayor incidencia solar sobre la cubierta 10:00 a.m. y 14:00 p.m. (21 de diciembre).
Fuente: Elaboración Propia.

3.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Finalmente, después de los análisis realizados se concluye, que la implantación de PFV, y CST sobre la cubierta sería factible, debido a que recibiría la mayor parte del año una radiación solar directa, puesto que menos del 15% de la cubierta se ve afectado durante el año, donde la edificación principal de la piscina tiene la cubierta una altura que no es interrumpida por su entorno. Es importante destacar que a pesar de que el bloque de los camerinos es bastante bajo con respecto de la piscina a los de su entorno casi no recibe sombra, sino a partir de las 15:00 horas aproximadamente.

El estudio de sombras y recorrido solar, permite descartar las fachadas como superficie de irradiación constante y confirmar a las techumbres como las superficies óptimas para colocar CST, por su gran superficie y cantidad de horas de irradiación. Por otra parte, las sombras proyectadas en las cubiertas y fachadas son por volúmenes propios, permitiendo identificar la cantidad de superficie sombreada y así tenerlo presente al momen-

to de proponer la colocación de los PFV.

CAPÍTULO

4

PROPUESTA DE DISEÑO

CONTENIDO

- 4.1 Demanda energética
- 4.2 Propuesta de CST de tubo vacío
- 4.3 Propuesta de paneles fotovoltaicos

4.1 DEMANDA ENERGÉTICA

Actualmente, la piscina se calienta con búnker, este es usado en dos calderas que elevan la temperatura del agua al circular por los intercambiadores de calor, estos permiten pasar el calor generado en las calderas hacia el agua de las piscinas. El sistema de calentamiento actual consume alrededor de 10,000 galones de búnker en un período que va de 40 a 50 días. El consumo varía dependiendo de la temperatura de la zona, en temporadas frías se consume más y en temporadas un tanto cálidas se consume menos.

Como datos adicionales para entender el cálculo de la demanda energética se tiene que:
-Las calderas permanecen encendidas 14 horas al día en horario de 5:00 a.m. a 19:00 p.m. En la noche la temperatura del agua desciende aproximadamente 0.5 °C.
-El sistema de calentamiento actual funciona de lunes a viernes, los sábados y domingos permanece apagado (fin de semana). En este tiempo se registra un

descenso máximo de 2 °C en la temperatura de las piscinas. Los días viernes el agua de las piscinas alcanzan una temperatura de 27 °C lo que indica que para el día lunes se encuentra alrededor de los 25 °C, el sistema tarda hasta el miércoles (3 días) en compensar esta diferencia de temperatura.
-El agua de las piscinas no se vacía, se purifica semanalmente mediante filtros y se repone entre 5 m³ a 10 m³ de agua, esto debido a la evaporación y desperdicios por la limpieza.
Para entender el funcionamiento del calentamiento de una piscina se debe tener presente que, existen dos grupos de piscinas definidas por la forma de climatización: las piscinas semipúblicas necesitan estar permanentemente templadas y las piscinas privadas que se calientan solamente cuando se necesita usar (González, 2012). En el caso de la piscina olímpica al ser de carácter semipúblico (debido a que actualmente esta abierto solo para deportistas) requiere estar calentada todo el tiempo,

por lo tanto, el calentamiento inicial se da una sola vez.
Al realizar el primer calentamiento de una piscina es normal referirse a varios días de funcionamiento ya que, se va procesando el agua de acuerdo a la capacidad del sistema de calentamiento. En el presente estudio se analiza la eficiencia del sistema para calentar en un día y en tres días toda el agua de la piscina, desde los 20 °C hasta la temperatura especificada por la FINA, (2021) (piscina olímpica 26°C, piscina de clavados 28°C y piscina de niños 32°C). Se considera una temperatura inicial de 20 °C, debido a que es un recinto cerrado y nunca se vacía el agua de las piscinas, además por lo general el sistema no permanece apagado por más de 2 días.
La energía térmica y eléctrica necesaria para el calentamiento en cada sistema va a ser igual en todos los meses del año ya que solo se requiere dicha cantidad de energía para el calentamiento inicial y luego únicamente se debe compensar las pérdidas diarias

y por reposición debido a la limpieza. A pesar de ser igual es necesario comparar en cada mes la energía necesaria debido a que la producción es diferente en cada mes.
El consumo energético de las piscinas se analiza desde la aplicación de CST y PFV, ya que se pretende evaluar y determinar el sistema más eficiente.
El cálculo de la demanda energética para calentar las piscinas, se realiza mediante la siguiente fórmula:
$$Q=m \cdot Ce \cdot (Tf-Ti)$$

m= masa del agua (kg)
Ce= Calor específico del agua (4.18 Kj/Kg.°C)
Tf= Temperatura final del agua (°C)
Ti= Temperatura inicial del agua (°C)
Esta fórmula calcula la cantidad de energía necesaria para calentar una determinada masa de agua representada en kg (volumen de agua multiplicado por la densidad 1000 Kg/m³), el calor específico es una constante, la temperatura final es la temperatura a la que se pretende llegar y la temperatura inicial del

agua(20 °C).

DEMANDA DE CALENTAMIENTO INICIAL DESDE 20 °C								
Piscina	Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Área m²	Volumen m³	Temperatura °C	Diferencial °C	Demanda (kWh)
Olímpica	25	50	1.50	1,250	1,875	26	6	13,062.50
Clavados	15	15	7.00	225	1,575	28	8	14,630.00
Niños	12	6	1.00	72	72	32	12	1,003.20
Total					3522			28,695.70

Tabla 4.01: Demanda de energía térmica necesaria en kWh para el calentamiento inicial de cada una de las piscinas.
Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4.01 se tiene los cálculos de la demanda energética, en la primera parte se hace un cálculo del área y el volumen en función de las dimensiones de cada una de las piscinas. El diferencial es la variación que existe entre la temperatura recomendada y la temperatura inicial. La demanda expresa la cantidad de energía que se requiere en cada una de las piscinas para elevar a la temperatura deseada. Por último, un total del volumen de la piscina en m³ y de la demanda en kWh.
Las pérdidas energéticas de una

piscina con cubierta se calculan con las ecuaciones de la Guía Solar Térmica del IDAE, (2020), estas pérdidas se dan principalmente de dos formas: la primera se da por evaporación y radiación (entre el 70% y 80% del total) y la segunda por reposición (entre el 15% y 20% del total). La disminución de temperatura por conducción se considera despreciable.
Las pérdidas por evaporación y por radiación se calculan con la siguiente formula.
$$P(kW)=(130-3(tws))+0.2(tws)^2(sw/1000)$$

En donde:
Tws=Temperatura del agua. (°C)
Sw= Superficie de la piscina en m².
Las pérdidas por renovación se calcula con la siguiente fórmula.
$$P(rep\ kW)=((0.01*Vp)*\rho*Ce)(Tf-Ti)$$

Vp = Volumen de agua de la piscina (m³)
ρ = Densidad del agua (1000 kg/m³)
Ce = Calor específico del agua (4.18 Kj/Kg.°C)
Tf = Temperatura final del agua (°C)
Ti = Temperatura inicial del agua (°C)
Las pérdidas totales diarias se defi-

nen como la suma de P(kW) y P(rep kW). (IDAE, 2020).

En el caso de estudio analizado: la piscina olímpica tiene una demanda diaria de 364.63 kWh, la piscina de clavados tiene una demanda de 191.93 kWh y la piscina de niños tiene una demanda de 27.23 kWh. El total de pérdidas calculado en las 3 piscinas es de 583.78 kWh al día (ver Tabla 4.02).

DEMANDA POR PÉRDIDAS TÉRMICAS						
Piscina	Área m²	Volumen m³	Temperatura °C	Pérdidas por reposición (kW)	Pérdidas por rad. y eva. (kW)	Demanda diaria (kWh)
Olímpica	1,250	1,875	26	130.63	234.00	364.63
Clavados	225	1,575	28	146.30	45.63	191.93
Niños	72	72	32	10.03	17.19	27.23
Total		3522		286.96	296.82	583.78

Tabla 4.02: Demanda de energía térmica diaria en kWh basada en pérdidas de cada una de las piscinas según la Guía Solar Térmica. **Fuente:** Elaboración Propia.

Con base en la información obtenida del departamento de mantenimiento de las piscinas, se utiliza la fórmula del consumo energético: $Q=m \cdot C_e \cdot (T_f-T_i)$,

para calcular las pérdidas diarias y de los fines de semana. Para estos cálculos se emplea los grados de temperatura que pierde el agua como diferencial.

En la tabla 4.03 se observa las pérdidas diarias nocturnas con el diferencial de 0.5 °C que da un total de **2,044.72 kWh** y las pérdidas de fin de semana con 2 °C de diferencial, dando como resultado **8,178.87 kWh** en este período de 48 horas. Las pérdidas entre el día (diurno) y la noche (nocturno) son de 1°C que equivale a **4,089.43 kWh**.

DEMANDA POR PÉRDIDAS TÉRMICAS			
Tiempo	Volumen m³	Diferencial °C	Demanda (kWh)
Pérdidas diurnas o nocturnas (12 hrs)	3,522	0.5	2,044.72
Pérdidas diarias (24 hrs)	3,522	1	4,089.43
Pérdidas en un fin de semana (48 hrs)	3,522	2	8,178.87
Pérdidas en tres días (72 hrs)	3,522	3	12,268.30
Pérdidas en cuatro días (96 hrs)	3,522	4	16,357.73

Tabla 4.03: Pérdidas de energía térmica basadas en el departamento de mantenimiento de las piscinas en kWh. **Fuente:** Elaboración Propia.

Las pérdidas calculadas por las fórmulas son mucho más bajas que las pérdidas reales de las piscinas, por lo tanto, se toma los valores que resultan más altos, es decir los datos obtenidos del departamento de mantenimiento de las piscinas. Se debe tener presente que los datos de pérdidas obtenidos con las fórmulas de la Guía Solar Térmica están considerados para una piscina con instalaciones en óptimas condiciones.

4.1.1 Demanda energética basada en CST

Según los cálculos realizados, la cantidad de energía necesaria para el calentamiento de las piscinas del complejo, equivale a un promedio de 28,695.70 kWh para un primer calentamiento. Esta cantidad de energía necesaria únicamente si el sistema de calentamiento permanece apagado por más de seis días. Para mantener la temperatura del agua se tiene que compensar las pérdidas diarias, lo que nos da un promedio de 4.089.43 kWh de energía térmica

ca al día (ver Tabla 4.03).

La energía requerida para compensar las perdidas térmicas y para el calentamiento inicial se muestran en la tabla 4.04. Los cálculos se efectúan con la demanda total de la tabla 4.01 y las pérdidas de la tabla 4.03. Se obtiene dos demandas: la primera es para un calentamiento en un día y se calcula sumando el total de la tabla 4.01 más las perdidas en 12 horas (el calentamiento ocurre solo en el día), esto suma un total de **30,740.42 kWh** al día y la segunda es para un calentamiento en 3 días, en donde se suma nuevamente el total de la tabla 4.01 más los valores de pérdidas de 48 horas y de 12 horas detallados en la tabla 4.03 (las pérdidas se dan en dos días completos y 12 horas diurnas), esto suma un total de **38,919.30 kWh** en tres días.

DEMANDA ENERGÉTICA TOTAL EN kWh (CST)		
MES	CALENTAMIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE UN DIA	CALENTAMIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE TRES DIAS
Enero	30,740.42	38,919.30
Febrero	30,740.42	38,919.30
Marzo	30,740.42	38,919.30
Abril	30,740.42	38,919.30
Mayo	30,740.42	38,919.30
Junio	30,740.42	38,919.30
Julio	30,740.42	38,919.30
Agosto	30,740.42	38,919.30
Septiembre	30,740.42	38,919.30
Octubre	30,740.42	38,919.30
Noviembre	30,740.42	38,919.30
Diciembre	30,740.42	38,919.30
TOTAL	368,885.04	467,031.60

Tabla 4.04: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en CST. **Fuente:** Elaboración Propia.

4.1.2 Demanda energética basada en PFV

La demanda energética para el calentamiento con PFV se analiza en función de la bomba de calor Ultratemp Pentair 140 que tienen las especificaciones descritas en la tabla 4.08. El cálculo de la cantidad de bombas a utilizarse se analiza en función de la potencia que entrega y la potencia de consumo.

De acuerdo a Pentair (2020), para el funcionamiento óptimo de las bombas de calor se ve afectado por las condiciones del lugar de emplazamiento: temperatura del aire, humedad relativa y temperatura del agua. En el lugar de estudio la temperatura ambiente promedio es de 16.3 °C, la humedad relativa ronda el 80 % (estos datos están explicados en el apartado 3.1.2) y la temperatura del agua en 20 °C. Para conocer el rendimiento y el consumo eléctrico, se comparan las condiciones ambientales del lugar de estudio con los datos de la tabla 4.09, y se obtiene un rendimiento de 4 unidades térmicas, una potencia de

consumo eléctrico de 6.4 kW y una potencia de entrega de energía térmica de 26 kW.

Al igual que el caso de los CST la demanda energética se realiza para un día y para tres días, por lo tanto, se hace uso de los datos de CST de la tabla 4.04.

En el primer caso se divide la demanda de energía térmica en un día para la energía generada por una bomba de calor en 12 horas, esto nos da la cantidad de bombas, como resultado de la siguiente operación tenemos que son necesarias 99 bombas de calor.

Número de bombas = $(30,740.42)/(26 \text{ kWh} \times 12 \text{ hrs})$

Número de bombas = 98.52 (99 bombas)

Luego, se calcula la demanda de las 99 unidades, en donde se multiplica las bombas por el consumo eléctrico y por el tiempo de funcionamiento, esto nos da un total de 7,603.2 kWh.

Demanda total = $(99 \text{ bombas}) \times (6.4 \text{ kW} \times 12 \text{ hrs})$

Demanda total = 7,603.2 kWh

En el segundo caso se calcula de

igual forma que el anterior con la diferencia del tiempo de funcionamiento (36 horas de funcionamiento diurno) y la demanda de energía térmica a los tres días.

En la demanda energética mayor a un día las pérdidas descritas en la tabla 4.03 se toma el último día de calentamiento como 12 horas de pérdidas.

Se realiza el cálculo del número de bombas.

Número de bombas = $(38,919.30)/(26 \text{ kWh} \times 36 \text{ hrs})$

Número de bombas = 41.58 (42 bombas)

Se calcula la demanda energética de las 42 bombas en 36 horas de funcionamiento.

Demanda total = $(42 \text{ bombas}) \times (6.4 \text{ kW} \times 36 \text{ hrs})$

Demanda total = 9,676.8 kWh

Para el calentamiento de las piscinas en un día se requieren **99** bombas de calor que consumen **7,603.2 kWh**. En tres días se emplean **42** unidades que consumen **9,676.8 kWh**. La demanda en un día y en tres días es igual en todos los meses

del año ya que están considerados solo en ese tiempo (ver Tabla 4.05).

Cabe recalcar que la cantidad de bombas de calor en ambos casos son propuestas únicamente para la ejecución de los cálculos y debido a que son las más grandes disponibles localmente.

DEMANDA ENERGÉTICA TOTAL EN kWh (PFV)		
MES	CALENTAMIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE UN DÍA	CALENTAMIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE TRES DÍAS
Enero	7,603.20	9,676.80
Febrero	7,603.20	9,676.80
Marzo	7,603.20	9,676.80
Abril	7,603.20	9,676.80
Mayo	7,603.20	9,676.80
Junio	7,603.20	9,676.80
Julio	7,603.20	9,676.80
Agosto	7,603.20	9,676.80
Septiembre	7,603.20	9,676.80
Octubre	7,603.20	9,676.80
Noviembre	7,603.20	9,676.80
Diciembre	7,603.20	9,676.80
TOTAL	91,238.40	116,121.60

Tabla 4.05: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2 PROPUESTA DE CST DE TUBO DE VACÍO

4.2.1 CST de tubo de vacío ETC-20

La elección de los CST se basa principalmente en la considerable eficiencia que presentan en climas nublados, como es el caso del ecuatorial andino, presente en el lugar de estudio (Zalamea et al., 2021).

Los CST de tubo de vacío Apricus ETC-20 (ver Imagen 4.01) son ideales para sistemas de agua caliente, que pueden ser utilizados en cualquier tipo de clima.

La tecnología de tubos de vacío proporciona una energía solar muy eficiente y confiable en un diseño fácil de instalar, en la tabla 4.06 se puede observar las características del panel.

CARACTERÍSTICAS COLECTOR DEL APRICUS ETC-20	
Dimensiones (L*An*Al)	2,005x1,496x136 mm
Salida máxima	1,342 W
Área	3.00 m²
Peso	63.5 Kilogramos
Tasa de flujo	1.4 l/min (max 15 l/min)
Presión máxima de funcionamiento	800 kPa / bares

Tabla 4.06: Especificaciones técnicas CST ETC-20.
Fuente: Elaboración Propia.

Detalle de colector ETC

- 1.- Tubería de cabecera
- 2.- Colector
- 3.- Alerta de transferencia de calor
- 4.- Tubo de evacuación
- 5.- Tubo de calor
- 6.- Marco de montaje



Imagen 4.01: Detalle Colector ETC-20.
Fuente: Apricus, 2016.

Componentes del CST.

.- Colector y tubo colector

Caja aislada que aloja el tubo colector de cobre para el intercambiador de calor con una alta resistencia a la corrosión.

.- Tubo de vacío (ET)

Están elaborados de 2 tubos de vidrio, que en intermedio de los dos forma un vacío aislante. El tubo interior absorbe el 95 % de la luz solar al estar elaborado con un material absorbente de alta eficiencia.

.- Tubo de calor.

Absorbe el calor de la pared de vidrio, donde una pequeña cantidad de agua dentro del tubo de calor se convierte en vapor a solo 30°C, transfiriendo rápidamente al tubo colector.

.- Marco de montaje.

Los componentes están hechos de aluminio con una alta resistencia a la corrosión. Su estructura soporta cargas extremas de viento y nieve con dos rieles de montaje (Apricus, 2016).

4.2.2 Montaje de CST ETC-20

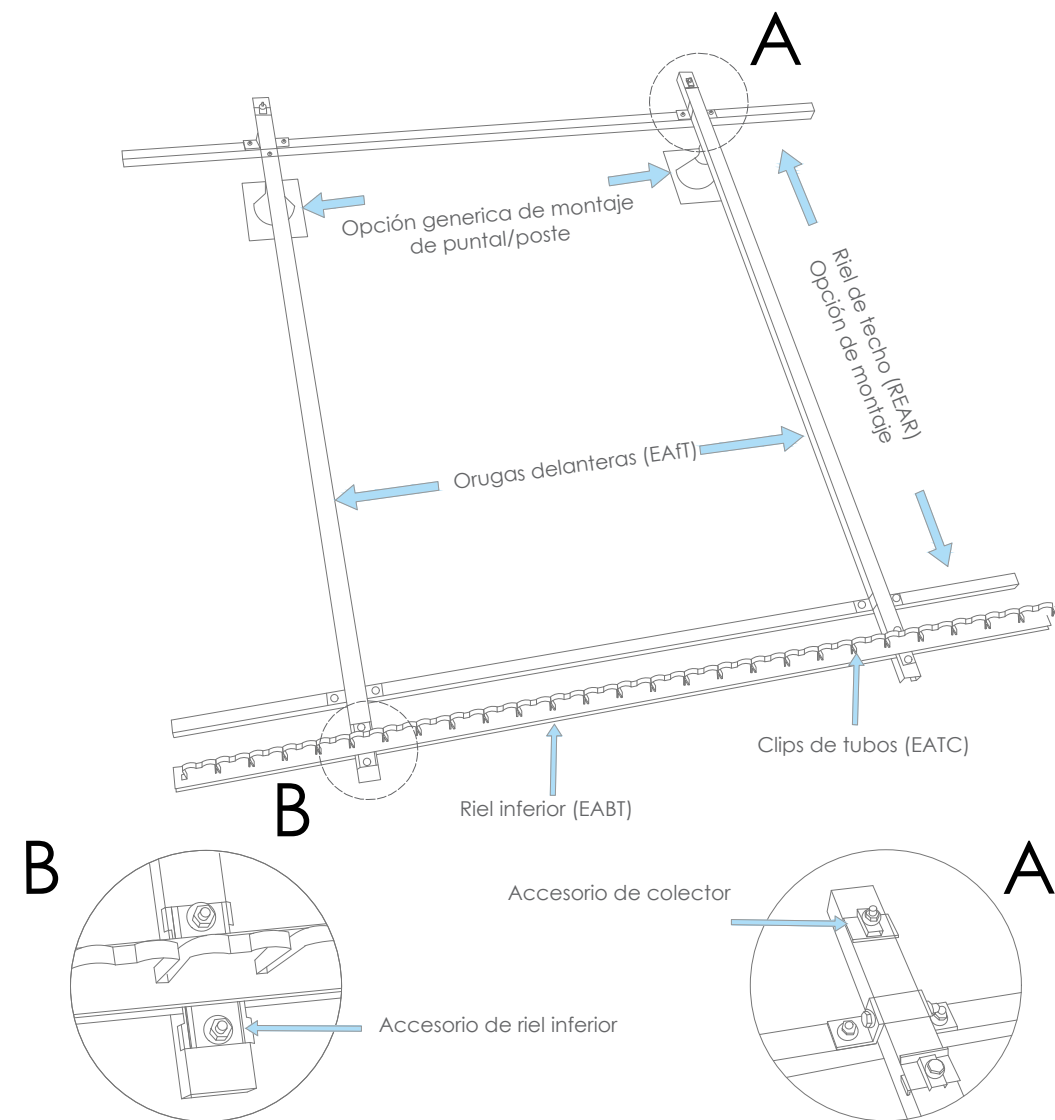


Imagen 4.02: Sistema de montaje CST.
Fuente: Apricus, 2016.

Los colectores ETC se suministran con marco estándar para el montaje sobrepuesto o empotrado en una cubierta metálica con una inclinación mayor al 20 °C (ver Imagen 4.02).

Dependiendo del tipo de techo, se puede utilizar diferentes métodos, atornillados a lado o en la parte superior de las vías delanteras con perforaciones necesarias para su estabilidad.

Los rieles de techo Apricus son un método excelente para sujetarlo al techo. Para una correcta sujeción se pueden emplear herrajes de montantes (Apricus, 2016).



Imagen 4.03: CST ETC-20.
Fuente: Apricus, 2016.

4.2.3 Intercambiador de calor.

Los intercambiadores de calor ARAX aseguran niveles óptimos de inversión, operación y mantenimiento. Se utiliza el intercambiador de calor térmico, para evitar los daños que se puedan presentar en los CST debido a la utilización de químicos en el agua de las piscinas.

El bastidor puede ser fabricado en acero inoxidable o en acero al carbono, cuentan con las placas que ofrecen un alto rendimiento para el proceso de productos líquidos, incluyendo productos de alta viscosidad (Alfa Laval, 2022).

Las características técnicas principales:

- Diámetro de conexiones desde 1 1/4" hasta 20".
- Caudales hasta 4500 m³/h
- Presión de 25 bar de operación y 33 bar de prueba.
- Tamaño de placa desde 500 mm x 128 mm hasta 3725 mm x 1242 mm.

Ventajas.

- 1.- Máxima tasas de transferencia de calor.
- 2.- Mínima inversión y costos de mantenimiento.
- 3.- Distribución óptima de los fluidos
- 4.- Alta resistencia a presión



Imagen 4.04: Intercambiador de calor.
Fuente: Alfa Laval, 2022.

4.2.4 Bomba

Colectores Solares

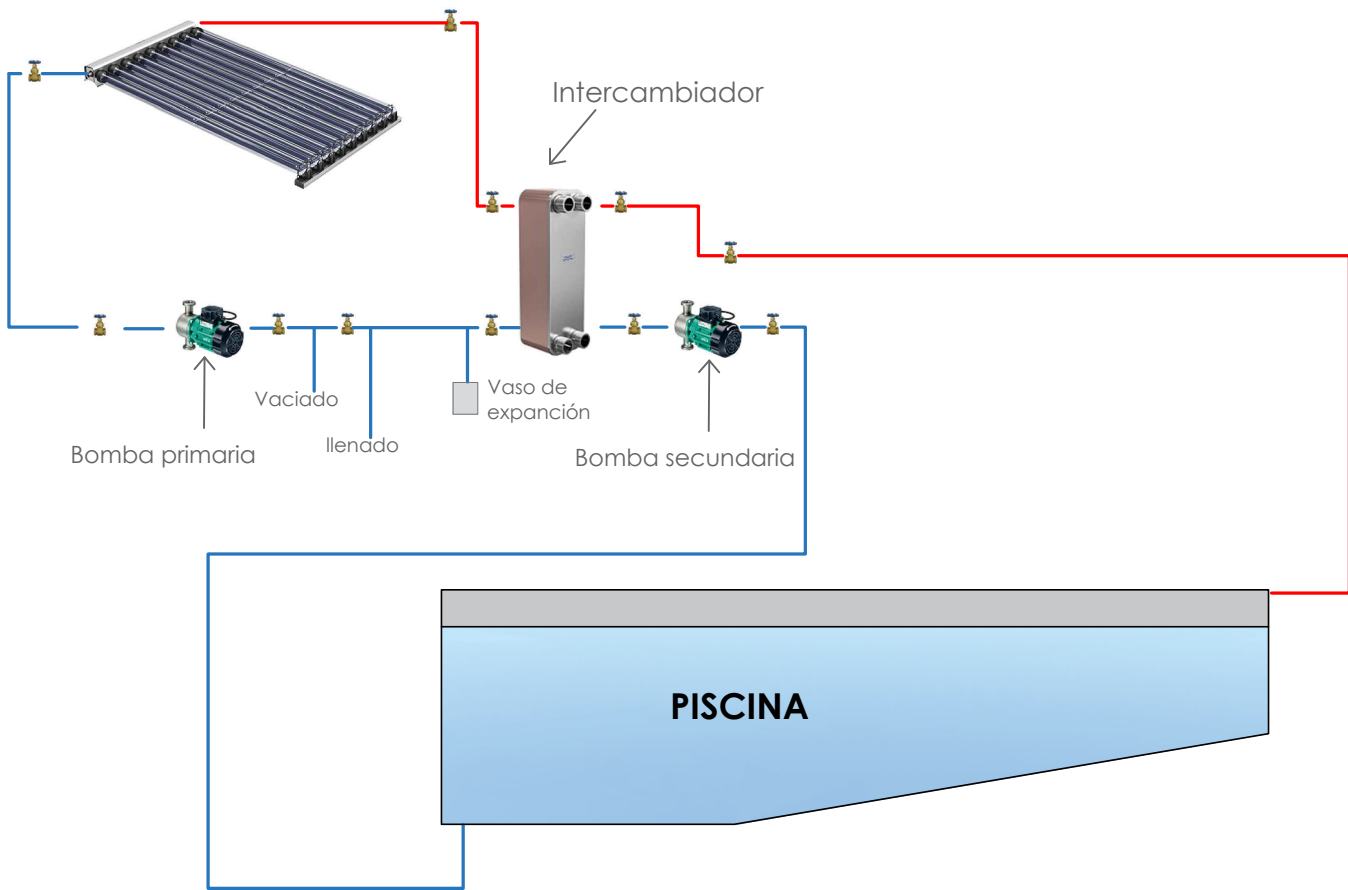


Imagen 4.05: Sistema de circulación.
Fuente: Hogarsense, 2022.

El sistema solar térmico para piscinas de circulación cerrada o de circulación forzada es un sistema similar al que se utiliza para la calefacción. Esto significa que hay dos partes separadas, un CST, una bomba de circulación de líquido y un intercambiador de placas. El etilenglicol recorre en este circuito principal. El glicol se calienta en una placa y es forzado por una bomba de circulación. A su paso por el intercambiador de placas, el calor almacenado en las placas se transfiere al agua que circula por el resto del intercambiador (ver Imagen 4.05).

La segunda parte del circuito está abierta porque es el agua de la piscina la que es transferida por otra bomba de circulación desde la piscina al intercambiador de calor de placas, que es calentado por la temperatura del glicol. Eventualmente regresa a la piscina, donde se diluye con el resto del agua y aumenta gradualmente la temperatura de esta.

Para el funcionamiento de recirculación del agua constante entre los CST y la piscina, se instala una bomba a fin de su funcionamiento. Se propone una bomba para piscina Silen S150 compacta de 1.5 hp monofásica (ver Imagen 4.06), compatible para aguas con tratamiento salino u otro químico utilizado para su mantenimiento (Momentos Piscina, 2021). Algunas de sus características es que son compactas, con gran poder de aspiración, generando un mínimo ruido de funcionamiento.



Imagen 4.06: Bomba Silen S150.
Fuente: Momentos Piscina, 2021.

Las bombas para piscina se suministran con racores de aspiración e impulsión para conexión a sistemas de filtración con tuberías de diámetro 50 mm. Las versiones monofásicas se suministran con protector térmico incorporado. Las características eléctricas de la bomba según Momentos Piscina, (2021), (ver Tabla 4.07).

- Aislamiento eléctrico: Clase F
- Factor de servicio: S1
- Grado de protección: IP55
- Rearme: Automático
- Tipo de motor: Asíncrono

- Tipo de rotación del motor: Velocidad constante
- Tipo de servicio: Continuo
- Límites de utilización
- N° arranques máximos del motor (arranques/minuto): 0,5
- Presión máxima de trabajo (bar): 12
- Temperatura del líquido (°C): Min: 4 - Max: 35
- Especificaciones técnicas
- 230V y 7.1 A
- Una potencia de entrada de 1.6 kW
- Q = 40 L/m

Tabla de funcionamiento hidráulico																		
Modelo	I [A]			P1 [KW]		P1		C [μF]	*Vol. Piscina [m3]	l/min m3/h	40	80	120	160	215	265	325	400
	1~ 230V	1~ 230V	1~ 230V	1~ 230V	1~ 230V	[kW]	[HP]				2.4	4.8	7.2	9,6	12,9	15,9	19,5	24
SILEN S 60 12	3.7	2.4	1.4	0.8	0.8	0.44	0.6	16	90	mca	13,6	13,2	12,6	10,9	6,7			
SILEN S 75 15	5.5	3.3	1.9	1.2	1	0.55	0.75	16	110		15,2	15,5	14	13,1	9,9	6		
SILEN S 100 18	6	3.8	2.2	1.4	1.2	0.75	1	16	125		16,9	16,5	16	15	12,9	10	5,9	
SILEN S 150 22	7.1	4.8	2.8	1.6	1.6	1.1	1.5	25	150		18,6	17,7	17,7	16,9	15,1	13	10	5,1
(*) Volumen piscina (m3): Calculado a partir del caudal ideal para 8 horas de recirculación																		

Tabla 4.07: Especificaciones técnicas Bomba Silen S150.
Fuente: Momentos Piscina, 2021.

4.3 PROPUESTA DE PFV

Esta propuesta analiza la implementación de PFV para alimentar las bombas de calor que se utilizarán con el fin de calentar las piscinas. Los PFV a base de células policristalinas o multicristalinas son los más usados dentro del mercado para el uso residencial e industrial por su rapidez en el proceso de calentamiento y más económica (Auto Solar, 2021).

El PFV propuesto es un monocristalino TSM-DE09.08 Vertex S de Trina Solar que tiene 120 celdas, este entrega un total de 395 a 405 Wp y sus dimensiones son de 1,754 x 1,096 x 30 mm, con un peso de 21.0 Kg. Esta construido en aleación de aluminio anodizado de 30 mm, tiene un rendimiento mecánico de 6 kPa en carga positiva y 4 kPa en carga negativa, según datos del fabricante el rango de temperatura oscila entre los -45 °C ~ +85 °C para su funcionamiento y su eficiencia es de 21.1% (Trinasolar, 2021).

La estructura de anclaje es por medio de rieles de aluminio y abrazaderas ajustables en los extremos de los PFV (ver Imagen 4.07).

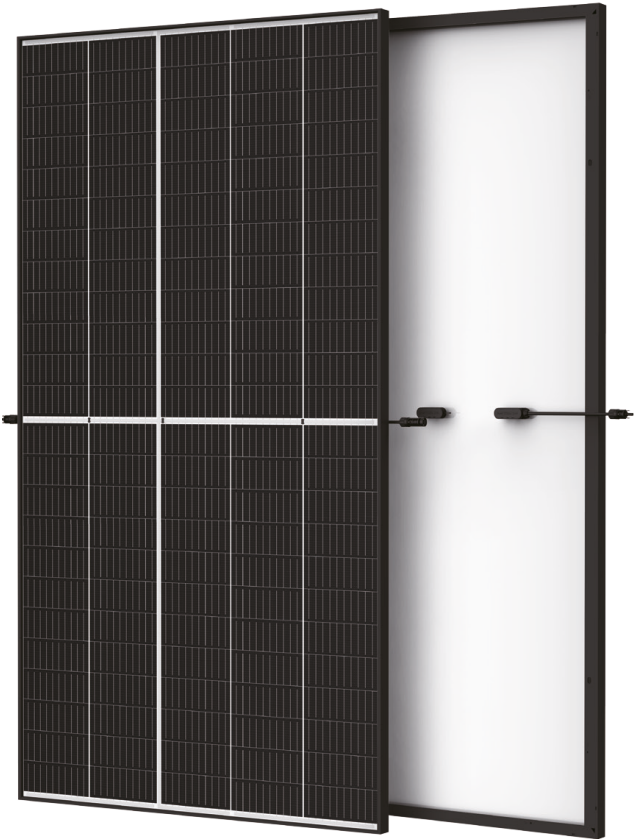


Imagen 4.07: Panel monocristalino TSM-DE09.08 Vertex S de Trina Solar.
Fuente: Trinasolar, 2021.

4.3.1 Tipo de integración arquitectónica

Al tratarse de un edificio preexistente, lo ideal es no reemplazar el material de la envolvente, sino acoplarse a él. Por lo cual, se considera un sistema superpuesto para la colocación de los PFV, generando de esta forma una envolvente sobre el techo existente, dicha envolvente estará condicionada por aspectos arquitectónicos, estructurales y constructivos. Los PFV presentan una gran ventaja en relación a los CST ya que son más livianos y sencillos de instalar, además utilizan cables de conexión en vez de tuberías.

La cubierta tipo cañón, se compone de recubrimiento con planchas galvanizadas trapezoidales. Se plantea trabajar con el mismo material debido a que permite colocar anclajes en sus crestas trapezoidales para adherir los PFV y CST.

La colocación de PFV genera una cubierta ventilada, una cámara de aire entre las placas de galvalume y los PFV. Esta estrategia permite refrigerar pasiva-

mente las celdas PFV y mitigar los efectos de calor que reducen su rendimiento. Además, al generar una doble capa se evitan pérdidas de calor al interior del edificio en días de irradiación externa.

4.3.2 Sistemas de anclaje

Mediante el sistema S-FLEX para cubiertas con chapa trapezoidal, ondulada y de chapa plana, para la colocación de los PFV, se instala rieles sobre la cresta trapezoidal de la cubierta metálica mediante remaches o tornillos finos, como también tornillos autoperforantes y mediante abrazaderas (ver Imagen 4.08). Es un sistema fácil y de rápida instalación, y económico por los bajos costos de materiales y montaje. El montaje de los PFV, de manera flotante con soportes reduce el número de juntas de dilatación y permite el mejor uso posible del área del techo (Sflex, 2021).

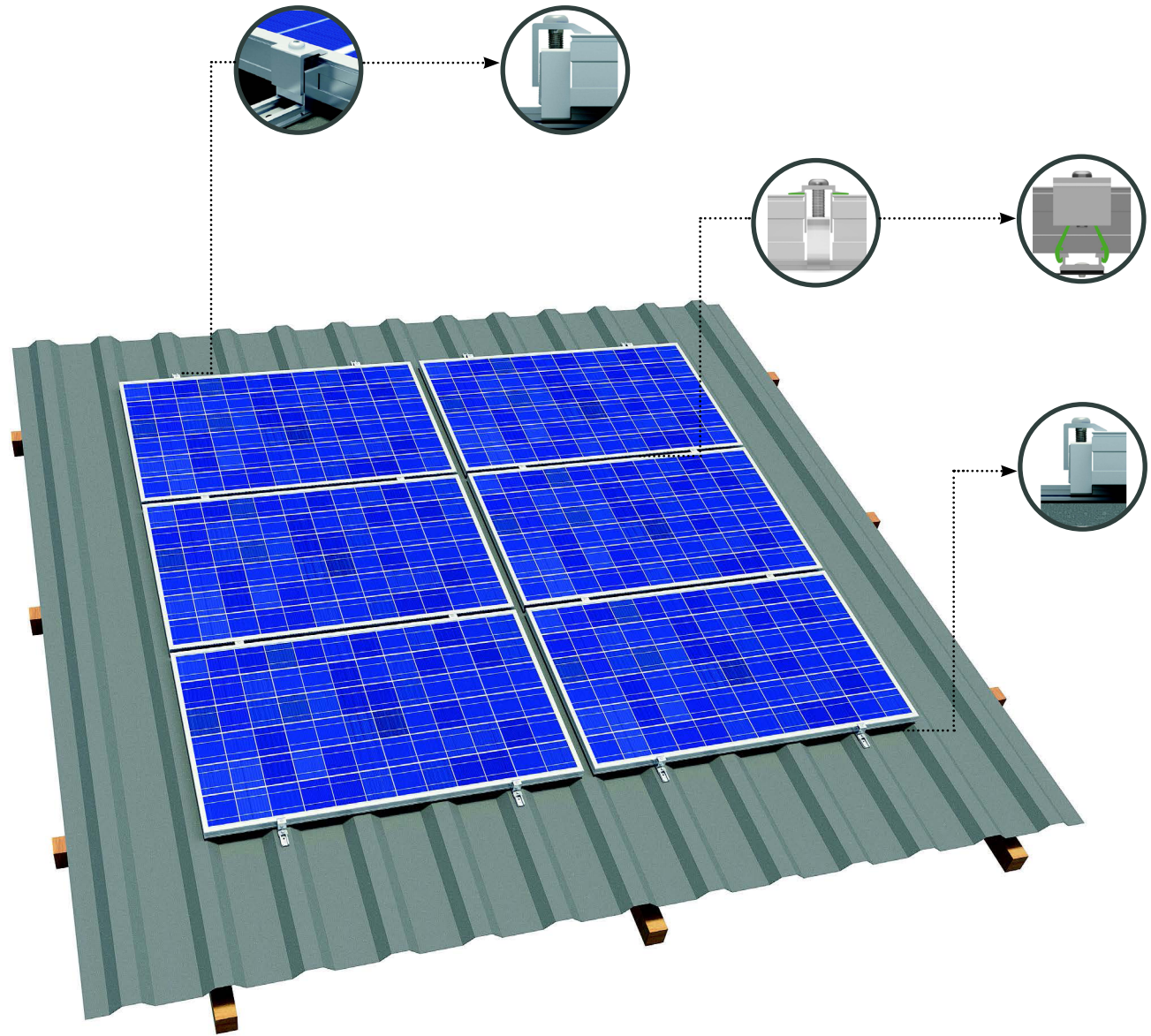


Imagen 4.08: Sistema de anclaje.
Fuente: Sflex, 2021.

4.3.3 Bomba de calor

La bomba de calor funciona como un sistema complementario a la propuesta de implementación de PFV. La selección de la bomba Ultratemp Pentair se realizó en base al rendimiento, la potencia y la finalidad de la aplicación.

El modelo de la bomba es el Ultratemp Pentair 140 con una potencia de entrada, de 7.1 KW y una capacidad térmica de salida de 145.000 BTU/hr (ver Tabla 4.08), esta bomba presenta una eficiencia de 5.8, es decir que al entrar una unidad de potencia entrega 5.8 unidades térmicas de potencia por lo que tiene un bajo consumo eléctrico con relación a sistemas de calentamiento similares (ver Imagen 4.09), (PENTAIR, 2022).

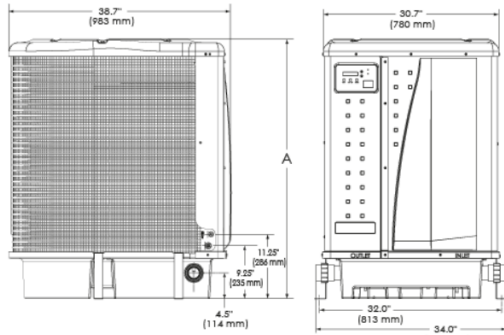


Imagen 4.09: Bomba de calor Ultratemp Pentair. Fuente: PENTAIR, 2022.

De acuerdo a La Guía de Instalación y del Usuario de PENTAIR, (2020), el funcionamiento de la bomba de calor se ve afectado por las condiciones del lugar de instalación: temperatura del aire, humedad relativa y temperatura del agua. Como se puede observar en la tabla 4.09, el máximo rendimiento se obtiene con 27 °C de temperatura ambiental, 80 % de humedad relativa y 27 °C de temperatura del agua. Además, el rendimiento más bajo se obtiene con 10A-63HR-27W(10 °C de temperatura del aire, 63 % de humedad relativa, 27 °C de temperatura del agua), con esto el rendimiento baja a 4 unidades térmicas y la potencia de consumo a 6.4 kW, entregando una potencia de 26 kW. Asimismo, el rendimiento y el consumo eléctrico disminuyen conforme la temperatura y la humedad ambiental.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BOMBA ULTRATEMP PENTAIR 140		
Potencia (salida)	BTU/hr	145,000.00
	kW	41
Eficiencia		5.8
kW (entrada)		7.1
Caudal máximo(lpm)		380
Caudal mínimo(lpm)		110

Tabla 4.08: Especificaciones técnicas bomba de calor UltraTemp Pentair 140. Fuente: Elaboración Propia.

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO			
UltraTemp 140	27A-80HR-27W	27A-63HR-27W	10A-63HR-27W
Capacidad Btu/h (kW)	145,000 (41)	135,000 (39)	90,000 (26)
Rendimiento	5.80	5.60	4.00
Potencia de entrada (kW)	7.20	7.00	6.40
A: Temperatura del aire(°C)			
HR: Humedad relativa (%)			
W: Temperatura del agua (°C)			

Tabla 4.09: Condiciones de funcionamiento de bomba de calor UltraTemp Pentair. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 5

SIMULACIONES

CONTENIDO

- 5.1 Descripción de la tecnología para simulación
- 5.2 Simulación de rendimientos de CST
- 5.3 Producción-Promedio mensual por año con CST
- 5.4 Montaje y propuesta de CST
- 5.5 Detalles del sistema de anclaje y visualización arquitectónica de CST
- 5.6 Simulación de rendimiento con PFV.
- 5.7 Estimación de producción de energía mensual por año con PFV
- 5.8 Montaje y propuesta de PFV
- 5.9 Detalles del sistema de anclaje y visualización arquitectónica de PFV

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA SIMULACIÓN

El SAM es un modelo de software tecno-económico del laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), está diseñado para la toma de decisiones en la industria de la energía renovable (NREL, 2018).

Este programa puede modelar distintos tipos de sistemas de energía renovable entre los cuales están: sistemas fotovoltaicos, almacenamiento de baterías, sistemas de concentración de energía solar para la generación de energía eléctrica, energía eólica, calentamiento solar de agua, los sistemas fotovoltaicos de alta concentración, entre otros.

Para modelar un proyecto de energía renovable en SAM, en primera instancia se elige un modelo de desempeño y financiero, para que el programa proceda a llenar de forma automática las variables para proporcionar información sobre su ubicación del proyecto, tipo de equipo en el sistema, costo de instalación y operación del sistema, con sus respectivos valores predeterminados, para el tipo de proyecto que se elija (ver

imagen 5.01).

Entre los modelos se encuentran la tecnología PFV, energía termosolar de concentración, eólica, geotérmica, etc. Además, en cuanto a modelos financieros se encuentran: el residencial, comercial, propiedad de terceros, sin financiación, entre otros (NREL, 2018).

Es importante analizar los datos de entrada que da el programa, constatar que tenga una buena base para el análisis (ver Imagen 5.02). Luego, es necesario proporcionar información sobre la ubicación del proyecto, tipo de sistema, costo de instalación, datos financieros, etc (NREL, 2018).

Existe gran cantidad de datos meteorológicos disponibles en la propia página del software. En cuanto a los ficheros climáticos, el programa acepta tres formatos TMY2, TMY3 o EPW. Cabe agregar que se debe variar los parámetros de orientación y vida útil de las tecnologías, pérdidas, sombra, entre otros (NREL, 2018).

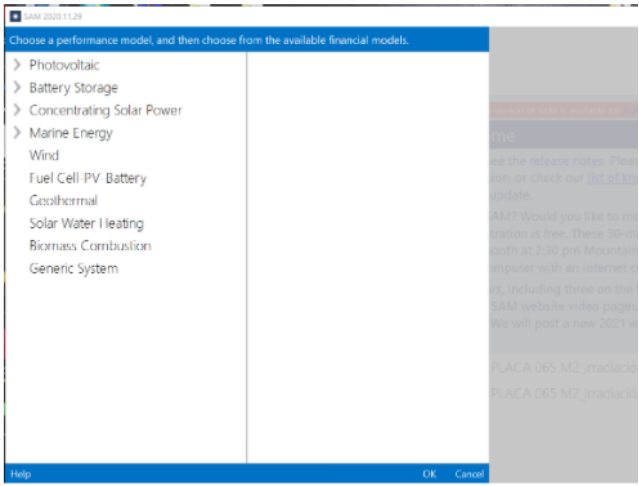


Imagen 5.01: Selección de modelo tecnológico y financiero. Fuente: NREL, 2018.

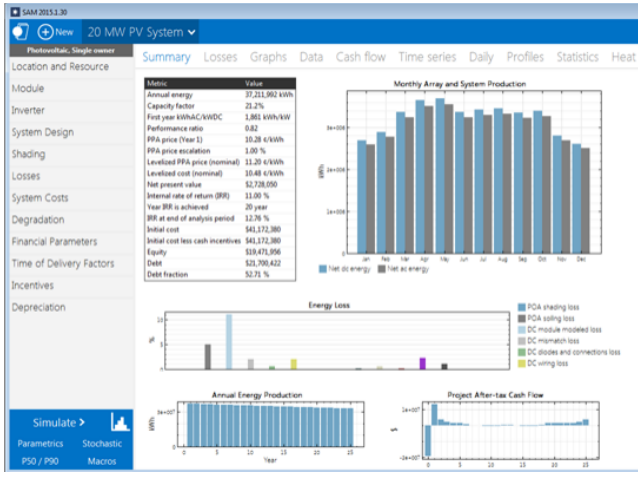


Imagen 5.02: Forma de visualización de resultados. Fuente: NREL, 2018.

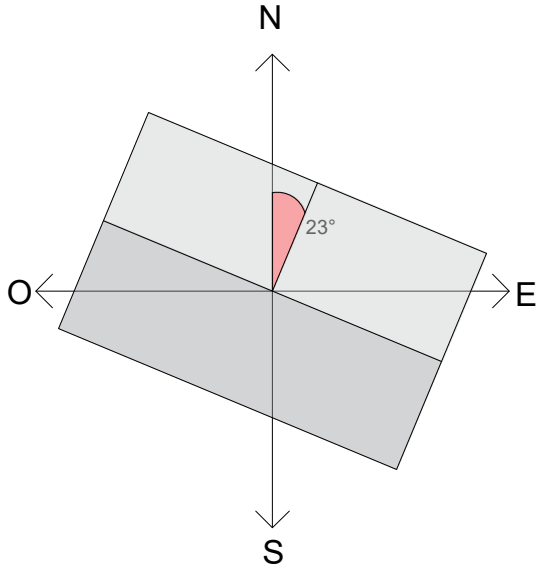


Figura 5.01: Ángulo de orientación o Azimut. Fuente: Elaboración propia.

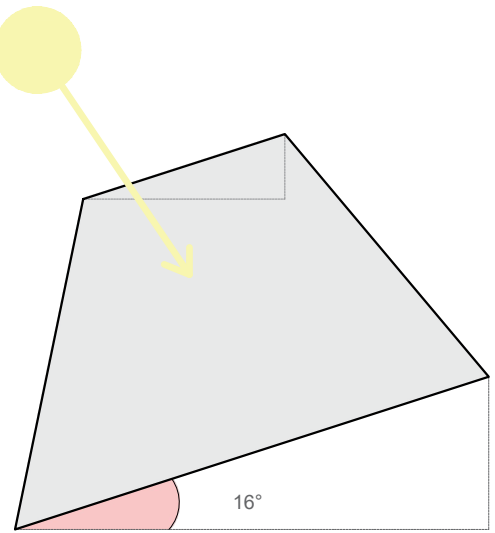


Figura 5.02: Ángulo de inclinación de un plano. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Definiciones de orientación e inclinación de CST Y PFV

Para realizar los cálculos en el SAM se requiere conocer datos como la orientación y la inclinación de los CST y PFV, debido a que se encuentra relacionado con la cantidad de energía solar que se puede aprovechar.

ORIENTACIÓN

La orientación hace referencia al ángulo de rotación con respecto al norte geográfico (ver Figura 5.01), se conoce también como Azimut.

INCLINACIÓN

La inclinación toma en consideración el ángulo que forma el plano con respecto a la horizontal (ver Figura 5.02).

En la cubierta que presenta el caso de estudio se requiere hacer un análisis más profundo referente a las inclinaciones, dado que la forma de la cubierta condiciona a ubicar los módulos de CST como los PFV a distintas inclinaciones, hecho que influirá significativamente en el aprovechamiento de la radiación solar. En cuanto a la orientación de la cubierta se tiene que la envolvente está orientada respecto al este y al oeste, lo que genera sombras a determinadas horas del día, como ya se explicó en el capítulo anterior, esto también afectaría el rendimiento de los CST y PFV.

5.2 SIMULACIÓN DE RENDIMIENTOS DE CST

En este ítem se expone el procedimiento para el desarrollo de la simulación del rendimiento de los CST y se realiza una estimación de producción de energía basándose a la propuesta de CST ubicados en la cubierta de el caso de estudio.

5.2.1 Procedimiento

- Primero, se ejecuta la descarga e instalación del software, posteriormente se obtiene el fichero climático de la ciudad de Cuenca, descargado en formato EPW desde el sitio web del Sistema de información Geográfica Fotovoltaica PFVGIS V5 (ver Imagen 5.03).
- El archivo se encuentra en formato EPW, y se localiza en el siguiente directorio: Disco Local C:/SAM/2020.11.11/Solar_resource (ver Imagen 5.04).

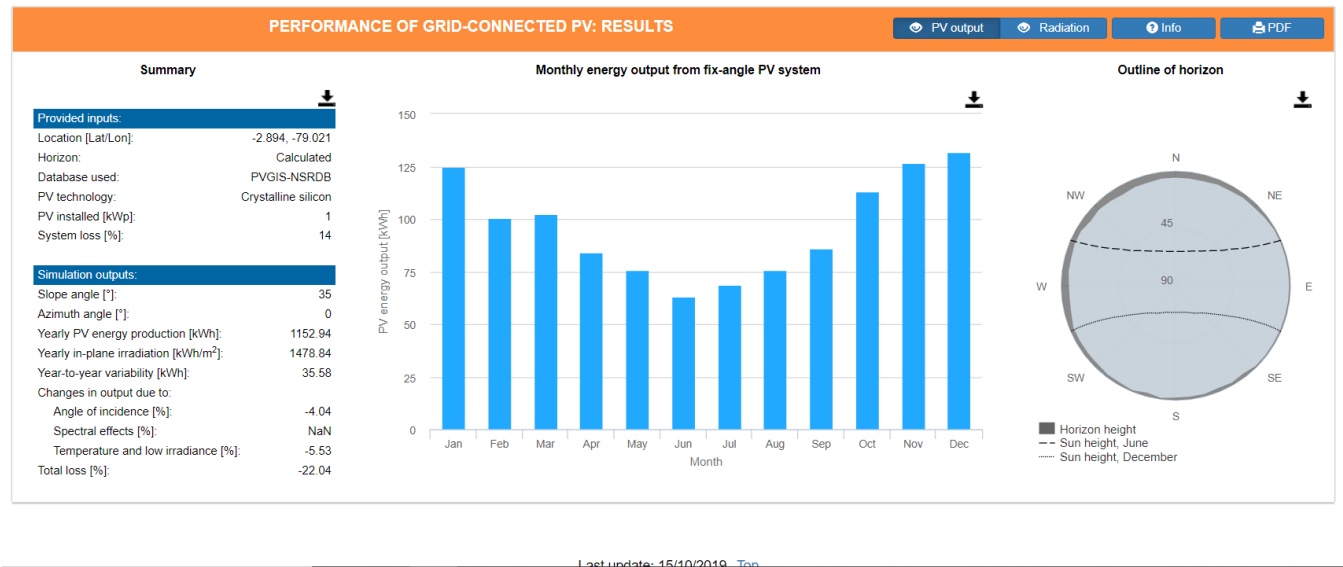
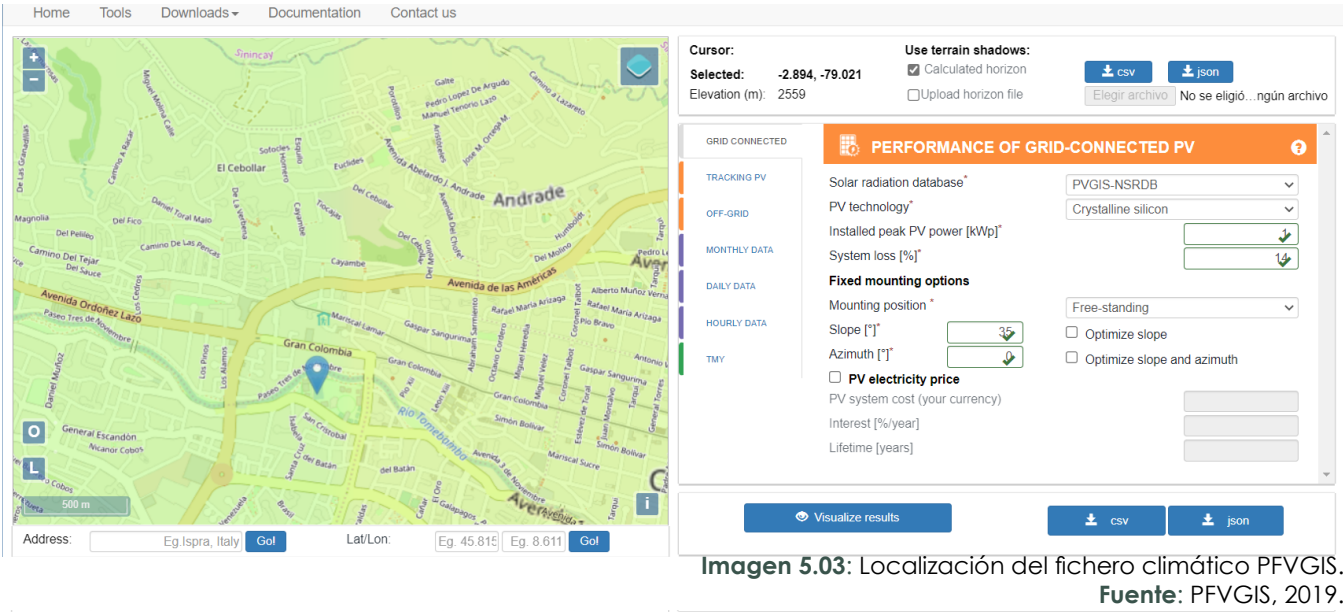


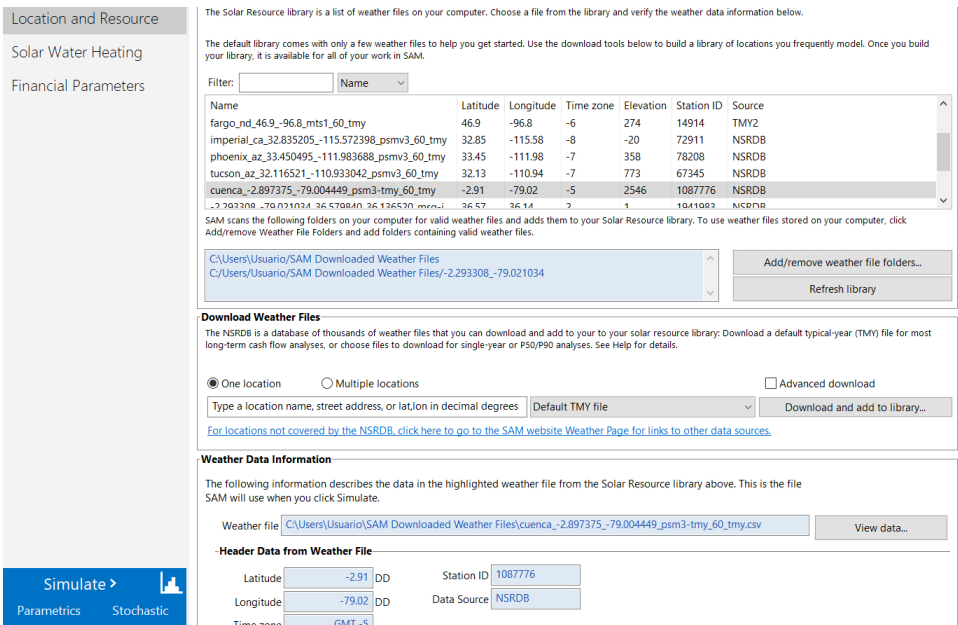
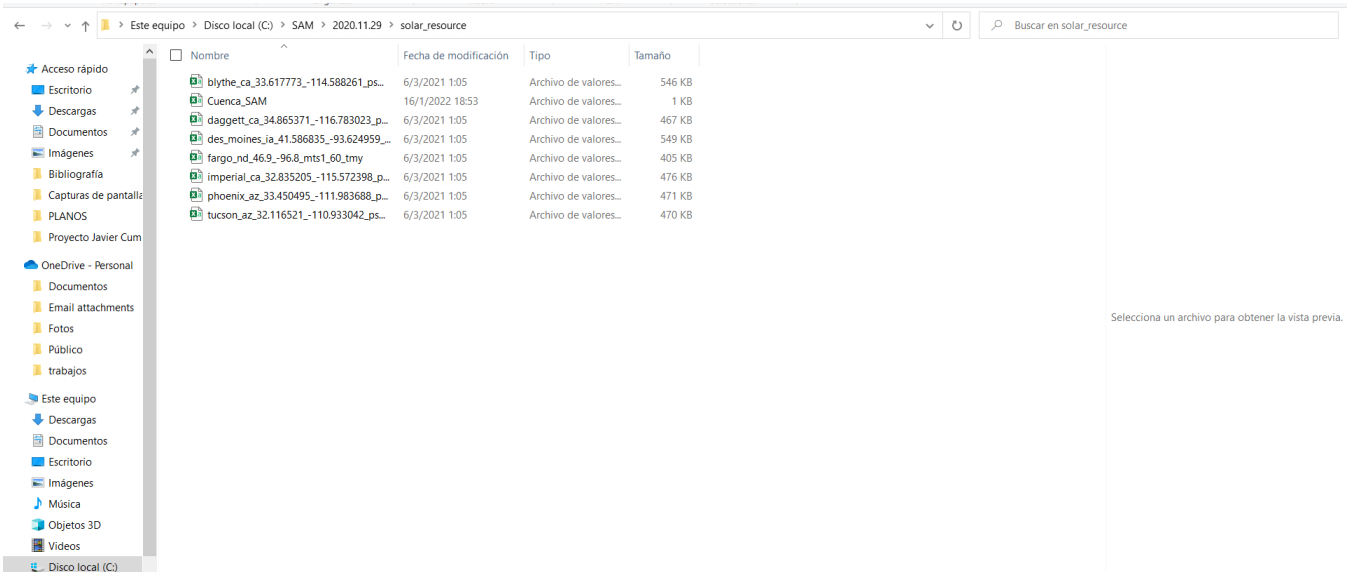
Imagen 5.04: Localización del fichero climático. **Fuente:** PFVGIS, 2019.

- Se procede a ejecutar el SAM, seleccionando primero el fichero climático descargado, en el Ítem “Solar Resource Library” (ver Imagen 5.05).

Imagen 5.05: Localización del fichero climático en el Disco local C. **Fuente:** Elaboración propia.

- Utilizando los datos obtenidos en la investigación de “Simulación de CST considerando los parámetros de integración arquitectónica”, donde se realiza la simulación con el CST Apri-cus ATC-20, de tubos de vacío, que cuentan con un área de 1,98 m² (ver Imagen 5.06).

Imagen 5.06: Localización del fichero climático desde el SAM. **Fuente:** Elaboración propia.

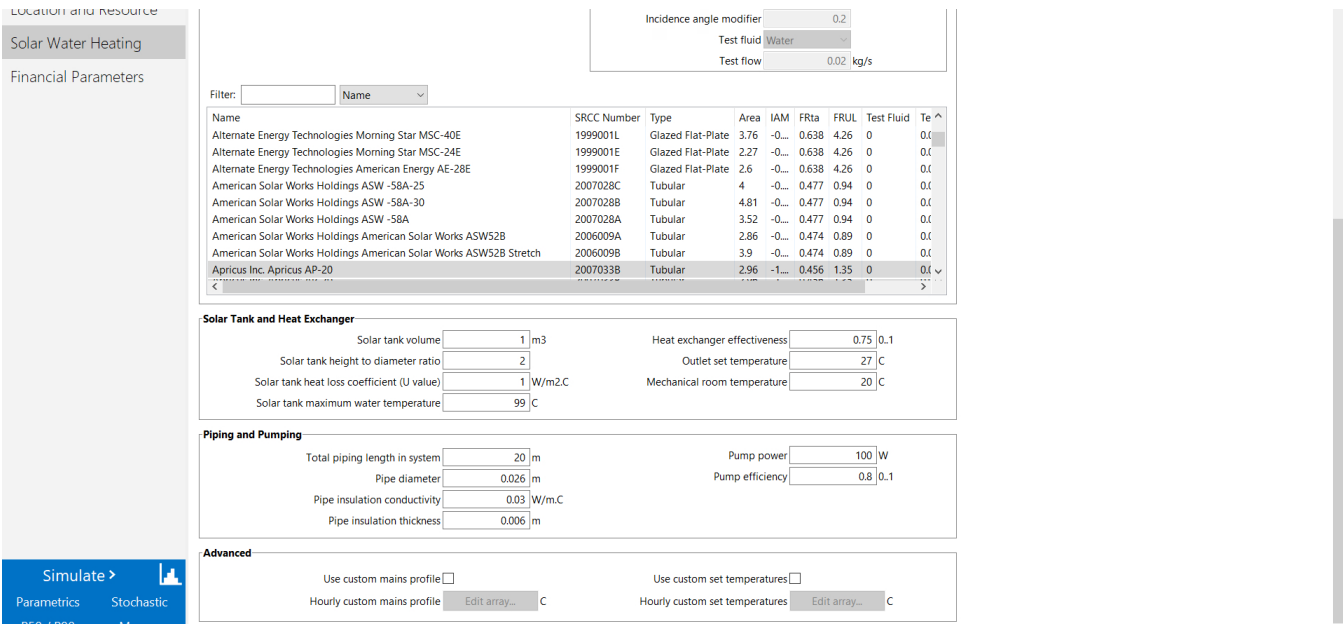
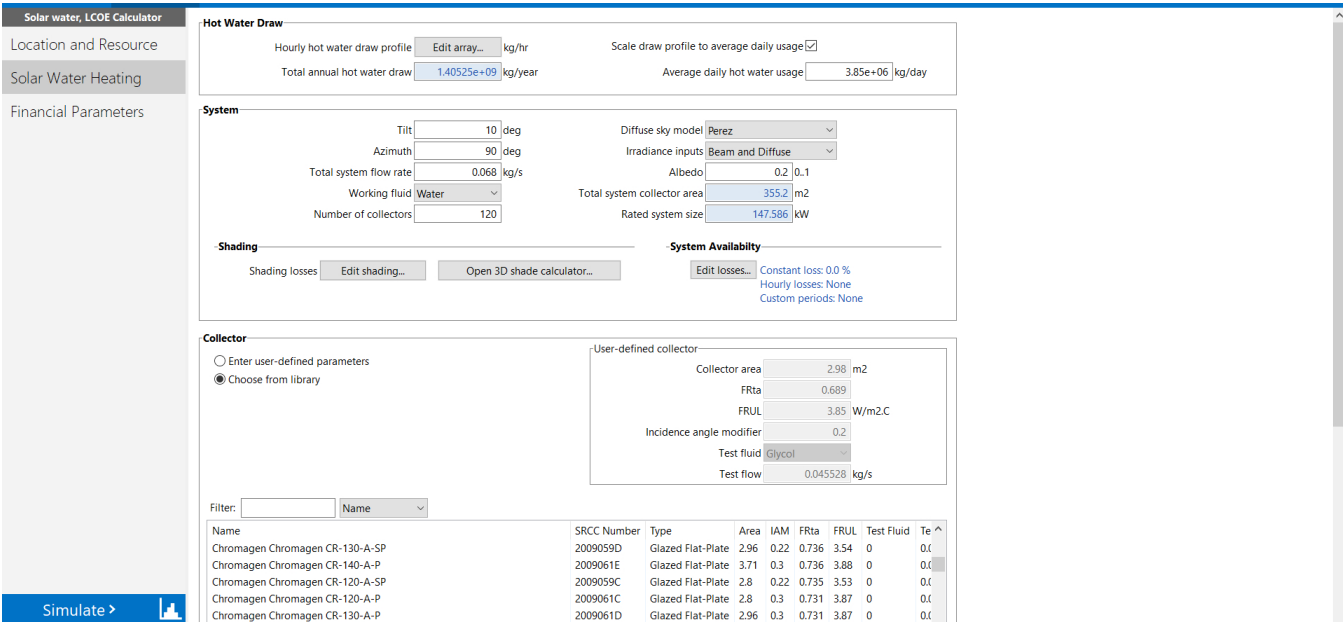


5. Se procede a editar en “Solar Water Heating” en la sección de Hot Water Draw, con el water usage a calentar, posteriormente en System, los campos del azimut con respecto al norte y la inclinación del CST, y su cantidad correspondiente (ver Imagen 5.07).

Imagen 5.07: Edición sección “Hot Water Draw”.
Fuente: Elaboración propia.

6. Se elige en la selección Collector, el colector a utilizarse y la definición de sus parámetros, además, se edita los datos correspondientes a la bomba de calor, tanque acumulador en la sección de “Solar Tank and Heat Exchanger”. Posteriormente, en la sección de “Piping and Pumping” se procede a editar la longitud del sistema y su diámetro a usar así como su conductividad y datos de la bomba de impulsión (ver Imagen 5.08).

Imagen 5.08: Localización del CST.
Fuente: Elaboración propia.



7. Finalmente, se realiza la simulación, obteniendo el reporte, figuras y tablas correspondientes, respecto a la cantidad de energía en kWh (ver Imagen 5.09).

Imagen 5.09: Resultados de energía producida en kWh.
Fuente: Elaboración propia.



5.3 PRODUCCIÓN - PROMEDIO MENSUAL POR AÑO CON CST

Previo a los cálculos se realiza la distribución de los colectores en toda el área útil de la cubierta. Para obtener una mejor distribución se reorganiza las entradas de luz en tres filas al costado este y tres al costado oeste (ver Figura 5.03); de esta forma se logra obtener 976 CST en toda la cubierta y siete inclinaciones, simétricas a cada lado.

Se procede al análisis de los datos obtenidos del software SAM, la energía producida con los CST, es considerada en una pendiente promedio de 37 °C; esto debido a que las diferentes pendientes a las que se instalan los paneles, complican el análisis en el SAM. Además según Astudillo et al., (2021) las pérdidas por pendiente cuando el CST está orientado al este y al oeste no son significativas, y un análisis de cada pendiente no se traduce en una mejor precisión. La orientación de los paneles se considera en dirección este con 90° y oeste con 270°. En el estudio se toma en cuenta los paneles emplazados al este para la producción en la mañana y los paneles

colocados al oeste para la tarde. Se decide dividir el número de paneles para los cálculos, ya que como se había visto en el estudio solar, por la forma del techo la incidencia solar es menor en determinadas horas del día, esto impide el aprovechamiento homogéneo de toda la cubierta (Tabla 5.01).

La instalación de CST consta de 976 unidades, distribuidos un 50% con dirección este y el restante 50% al oeste, las inclinaciones y las alturas son simétricas a cada lado. En la parte superior de la cubierta se encuentra instalados la mayor cantidad de CST, representando el 25% con una inclinación de 10° y una altura de 20.5 metros (Tabla 5.01) desde el nivel cero indicado en el levantamiento arquitectónico del capítulo 3.

En la cubierta se obtuvo siete inclinaciones a cada lado (azimut), las pendientes se dieron con base en la curvatura de la cubierta y a las dimensiones de los paneles (ver Figura 5.03). La primera inclinación se propone en 10°, ya que según la NEC (2020) la pen-

diente mínima que debe tener una instalación solar térmica debe ser de 10°.

El área ocupada por los paneles en la primera inclinación es de 732 m² y en cada una de las inclinaciones restantes es de 366 m², esto considerado en ambas orientaciones.

NÚMERO DE CST POR INCLINACIÓN Y AZIMUT					
#	Inclinaciones	Altura(m)	Azimut 90°	Azimut 270°	Área m²
			Número de colectores	Número de colectores	
1	10°	20.5	122	122	732
2	16°	19.7	61	61	366
3	25°	18.7	61	61	366
4	38°	16.2	61	61	366
5	52°	12.8	61	61	366
6	57°	11.1	61	61	366
7	61°	9.7	61	61	366
Promedio	37°	TOTAL	488	488	2,928
			976		

Tabla 5.01: Número de CST por inclinación y azimut. Fuente: Elaboración Propia.

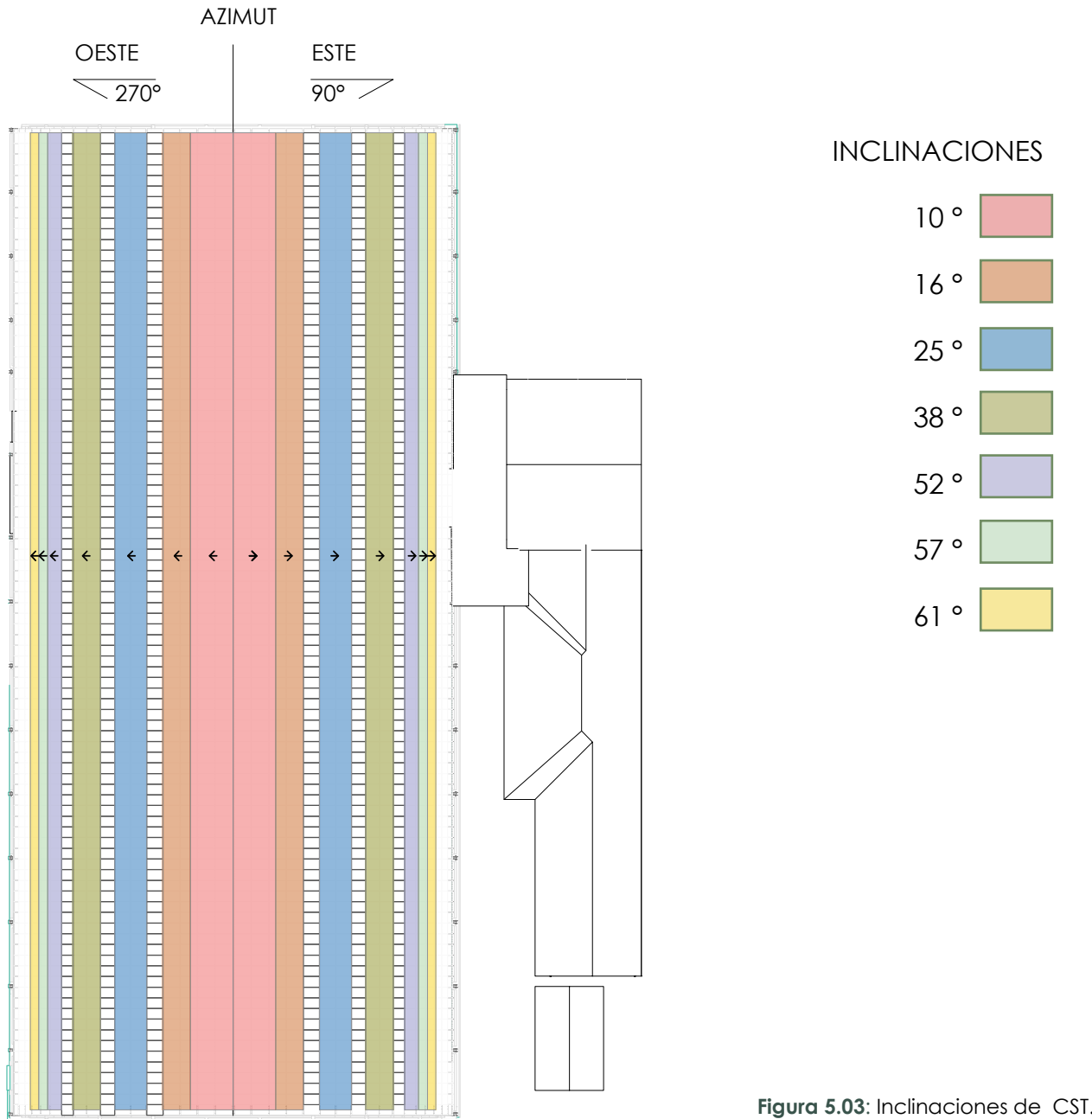
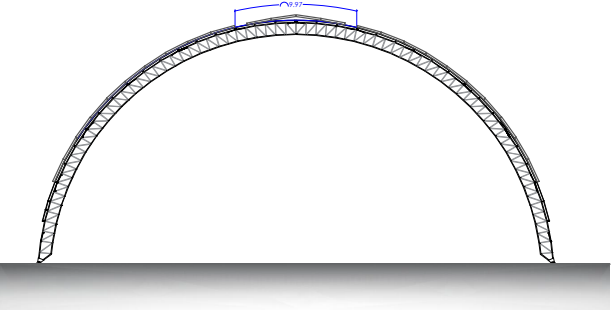


Figura 5.03: Inclinaciones de CST. Fuente: Elaboración Propia.

La energía producida por los captadores solares de forma mensual posee algunas variaciones con respecto a cada mes. En el grupo de captadores orientados al este, se tiene una producción con valores entre los 110,000 y 155,000 kWh (ver Figura 5.04). En cambio, en los captadores ubicados al oeste se puede observar una ligera reducción de la energía, consiguiendo valores que están entre los 110,000 y 145,000 kWh (ver Figura 5.05).

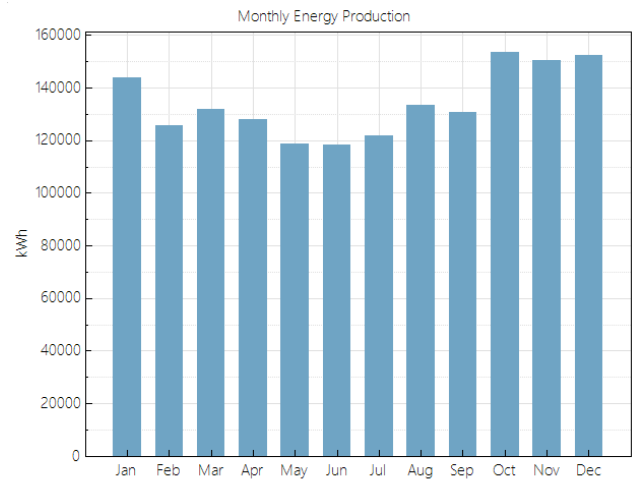


Figura 5.04: Energía mensual azimut 90° e inclinación 37°. **Fuente:** Elaboracion Propia.

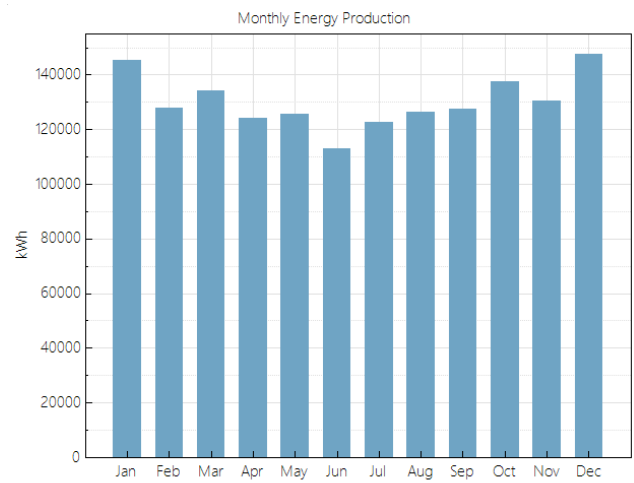


Figura 5.05: Energía mensual azimut 270° e inclinación 37°. **Fuente:** Elaboracion Propia.

En la tabla 5.02 se muestra la producción mensual tanto en sentido este como hacia el oeste. El mes de mayor producción en dirección este es en octubre con 154,049.00 kWh y en dirección oeste es el mes de diciembre con 148,081.00 kWh mensual.

En dirección este (90°) se obtiene la cantidad más alta de energía con valores de 1,614,339.00 kWh al año y en sentido oeste se tiene 1,567,248.00 kWh anual. El total de energía producida por la instalación solar térmica es de 3,181,587.00 kWh en un año.

PRODUCCIÓN MENSUAL			
Meses	kWh-90°	kWh-270°	Total (kWh)
Enero	144,400.0	145,719.0	290,119.0
Febrero	126,086.0	128,211.0	254,297.0
Marzo	132,345.0	134,598.0	266,943.0
Abril	128,349.0	124,465.0	252,814.0
Mayo	119,084.0	126,103.0	245,187.0
Junio	118,866.0	113,431.0	232,297.0
Julio	122,460.0	123,177.0	245,637.0
Agosto	133,735.0	126,686.0	260,421.0
Septiembre	131,163.0	127,828.0	258,991.0
Octubre	154,049.0	138,191.0	292,240.0
Noviembre	150,877.0	130,758.0	281,635.0
Diciembre	152,925.0	148,081.0	301,006.0
TOTAL	1,614,339.0	1,567,248.0	3,181,587.0

Tabla 5.02: Producción mensual con CST, azimut 90° y 270°. **Fuente:** Elaboración Propia.

La demanda-producción es el análisis entre la demanda energética total (demanda actual) y la producción de los colectores. En cada mes y para ambos azimuts se calcula un porcentaje de aprovisionamiento. Se realiza 2 comparaciones de producción energética con las demandas calculadas en la tabla 4.04 del apartado 4.1.1.

En el primer caso en donde se pretende temperar todo el volumen (3522 m³) de agua en solo un día, se obtiene un rendimiento anual del sistema de 28 %. El menor porcentaje de aprovisionamiento es del 25% en el mes de junio y el mayor porcentaje es del 32% en el mes de diciembre (ver Tabla 5.03).

En el segundo caso en el cual se prevé calentar toda el agua en 3 días (el mismo tiempo que se tarda el sistema actual), se obtiene un porcentaje promedio del 67% . Al igual que el caso anterior el mes de menor porcentaje es junio con 60% y el que presenta mayor porcentaje es diciembre con el 75% en 3 días de funcionamiento (ver Tabla 5.04).

Este análisis permitió demostrar que la misma cantidad de CST en un mayor tiempo pueden subir considerablemente la eficiencia del sistema.

Como ya se mencionó anteriormente, la instalación solar térmica trabaja con la mitad de los paneles al este y la otra parte al oeste. Para el aprovechamiento de toda la energía que pueda proporcionar los Colectores Apricus ETC-20, ya que estos pueden absorber la radiación difusa; se propone que trabajen de forma independiente en todo el día. Esto daría como resultado la suma de las eficiencias de ambos azimuts, lo que se traduce en una capacidad de abastecimiento del 28 % (1.60 °C) en un día y 67% (4 °C) en 3 días. El calentamiento total de las piscinas se da en aproximadamente cinco días de funcionamiento del sistema colector térmico, esto bajo condiciones ideales.

Cabe recalcar que los cálculos están hechos para un calentamiento inicial (desde 20 °C) de un día y de tres días en cada uno de los meses del año.

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA UN DÍA			
MES	DEMANDA	PRODUCCIÓN	%
Enero	30,740.42	9,358.68	30%
Febrero	30,740.42	9,082.04	30%
Marzo	30,740.42	8,611.06	28%
Abril	30,740.42	8,427.13	27%
Mayo	30,740.42	7,909.26	26%
Junio	30,740.42	7,743.23	25%
Julio	30,740.42	7,923.77	26%
Agosto	30,740.42	8,400.68	27%
Septiembre	30,740.42	8,633.03	28%
Octubre	30,740.42	9,427.10	31%
Noviembre	30,740.42	9,387.83	31%
Diciembre	30,740.42	9,709.87	32%
TOTAL	368,885.04	104,613.69	28%

Tabla 5.03: Demanda - Producción en un día con CST.
Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La demanda tiene su cálculo en la tabla 4.04 y la producción se obtiene dividiendo el total de la tabla 5.02 para los días de cada mes.

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA TRES DÍAS			
MES	DEMANDA	PRODUCCIÓN	%
Enero	38,919.30	28,076.03	72%
Febrero	38,919.30	27,246.11	70%
Marzo	38,919.30	25,833.19	66%
Abril	38,919.30	25,281.40	65%
Mayo	38,919.30	23,727.77	61%
Junio	38,919.30	23,229.70	60%
Julio	38,919.30	23,771.32	61%
Agosto	38,919.30	25,202.03	65%
Septiembre	38,919.30	25,899.10	67%
Octubre	38,919.30	28,281.29	73%
Noviembre	38,919.30	28,163.50	72%
Diciembre	38,919.30	29,129.61	75%
TOTAL	467,031.60	313,841.07	67%

Tabla 5.04: Demanda - Producción en tres días con CST.
Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La demanda tiene su cálculo en la tabla 4.04 y la producción se obtiene dividiendo el total de la tabla 5.02 para los días de cada mes y multiplicando por tres.

En la Figura 5.06 se puede observar la comparación energética, en donde la demanda promedio para el calentamiento en un día supera a la producción en un 72 %. Se puede observar que la demanda es constante y se encuentra entre los 30,000 y 31,000 kWh mientras que la producción tiene pequeñas variaciones con respecto a cada mes alcanzando valores entre 5,000 y 10,000 kWh.

En la Figura 5.07 se puede evidenciar que la demanda promedio para el calentamiento en tres días es mayor a la producción en un 33 %. En este caso al igual que el anterior la demanda es constante y se encuentra entre los 38,000 y 40,000 kWh y la producción presenta algunas variaciones alcanzando valores entre 20,000 y 30,000 kWh.

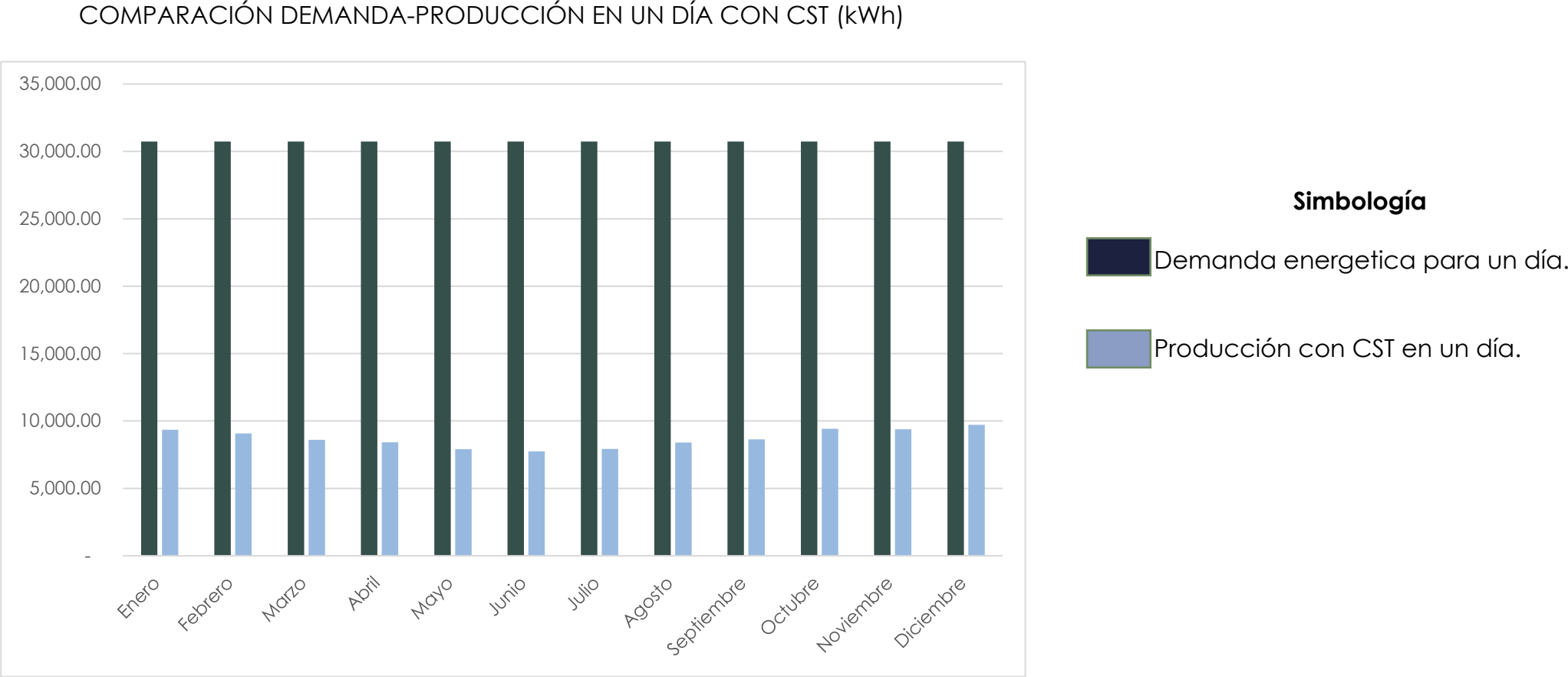
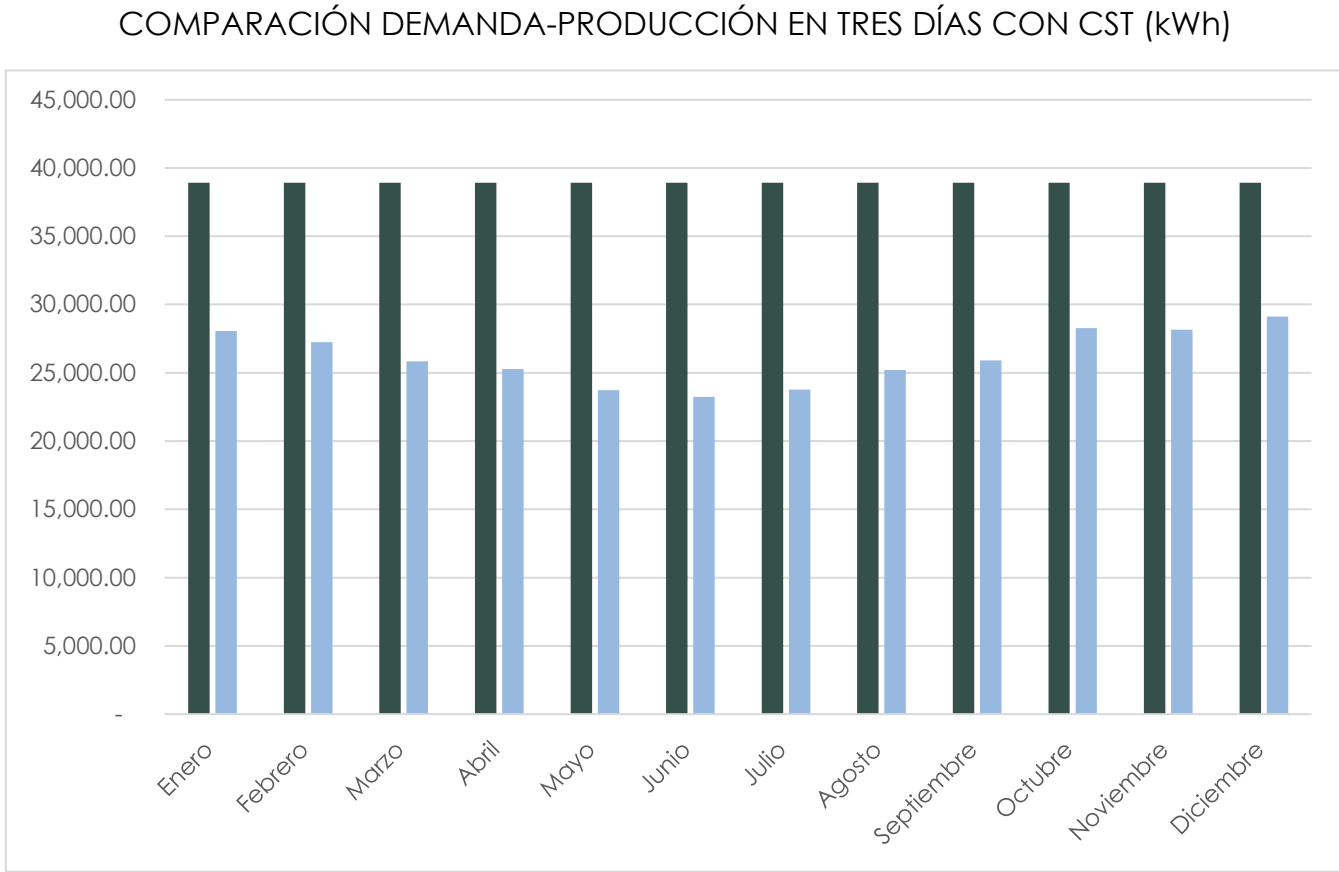


Figura 5.06: Comparación Demanda - Producción en un día con CST.
Fuente: Elaboración Propia.



Simbología

Demanda energética en tres días.

Producción con CST en tres días.

Figura 5.07: Comparación Demanda - Producción en tres días con CST.
Fuente: Elaboración Propia.

5.4 MONTAJE Y PROPUESTA DE CST

Para el montaje de los CST sobre la cubierta se hace uso del sistema de anclaje expuesto en la imagen 4.02. Los paneles se adaptan a la envolvente y se sujetan en las planchas de placa metálica ondulada, la distribución se da en orden lineal, de acuerdo a cada inclinación. Se plantean nuevas entradas de luz en forma horizontal que permiten organizar de mejor manera los colectores (Imagen 5.10).

Como se puede evidenciar en la imagen 5.11, vista desde el punto del observador, ubicado en el acceso desde la parte sur-este, muestra una integración absoluta a la cubierta. El principal aspecto que se ve modificado en la quinta fachada y en las fachadas laterales es la tonalidad de la cubierta, puesto que se resalta franjas de color azul oscuro.

Los sistemas estructurales que se ven afectados por la implementación de los CST no se analizan en este estudio debido a que van más allá de los objetivos de este trabajo, . En la cubierta se emplazan un total de 976 unidades de CST Apricus ETC-20 de

los cuales 488 se orientan en sentido este y 488 en dirección oeste con inclinaciones variables conforme se van adaptando a la cubierta. Como dato adicional se estima que los 976 CST aportaran a la estructura de la cubierta una carga adicional en seco de 61,976 kg.

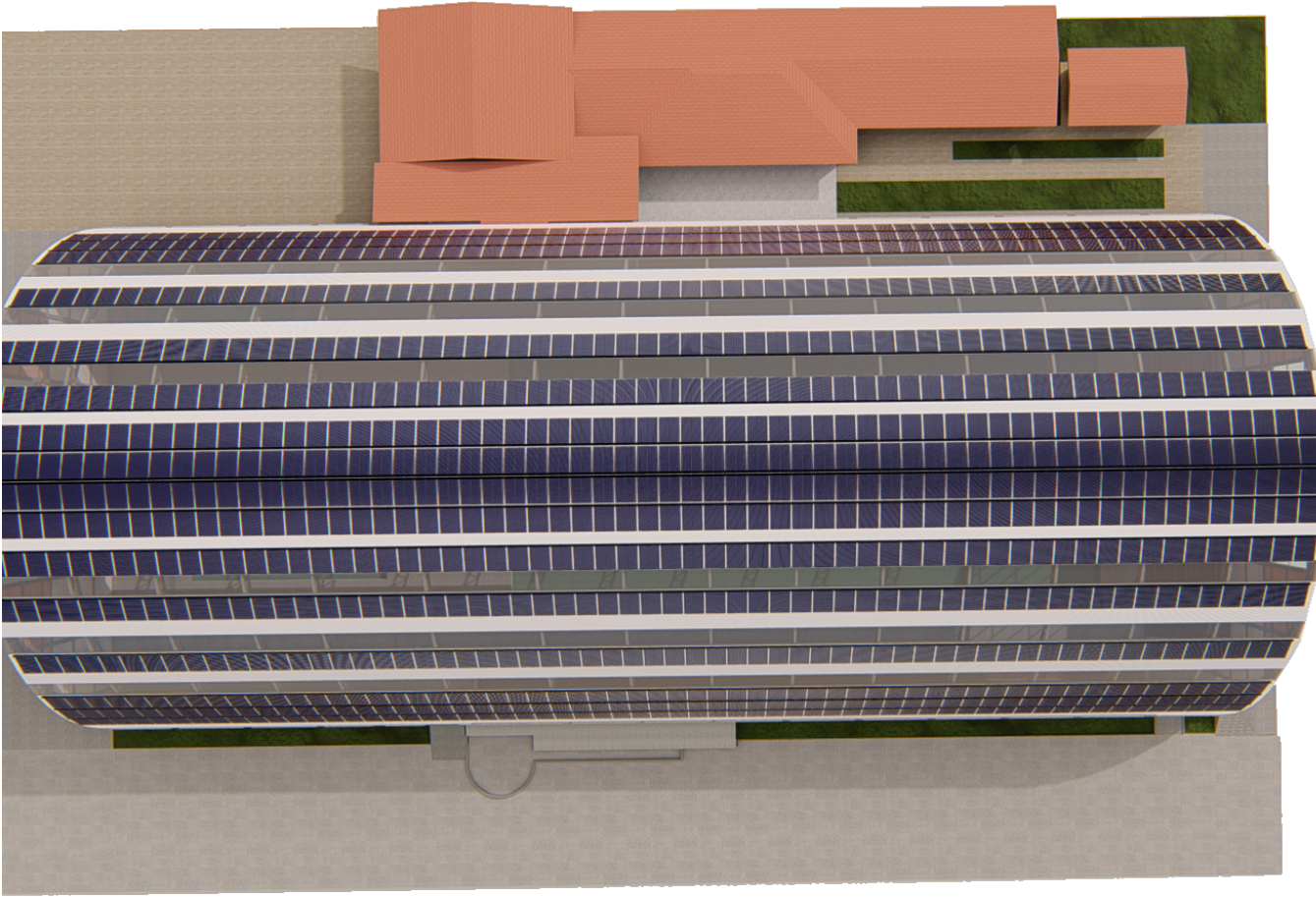
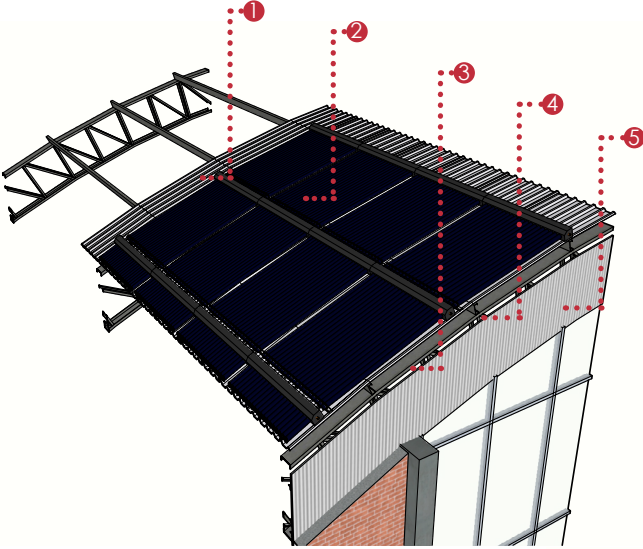


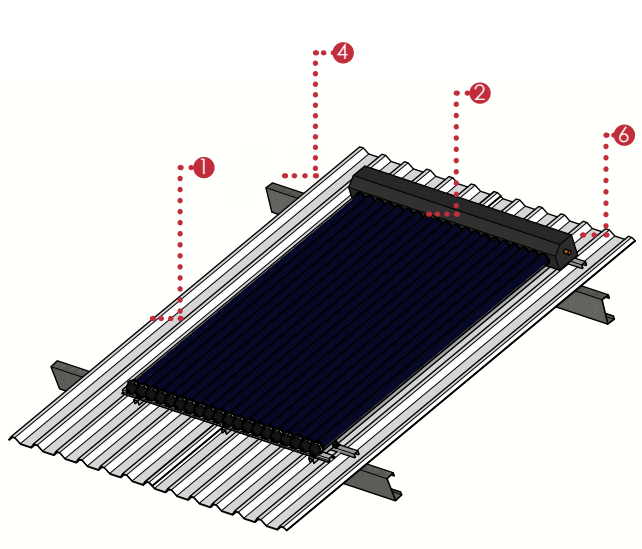
Imagen 5.10: Vista aérea de los CST.
Fuente: Elaboración Propia.

5.5 DETALLES DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y VISUALIZACIÓN ARQUITECTÓNICA DE CST

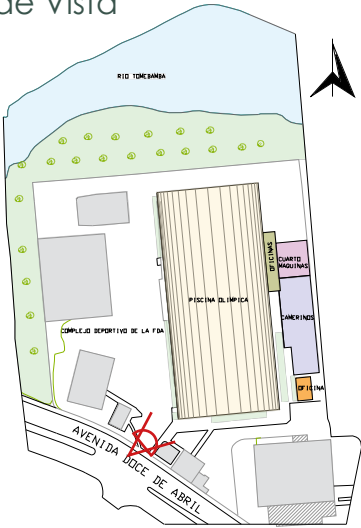
Detalle 01



Detalle 02



Ubicación de Vista



Leyenda

- 1.- Planchas de placa metálica ondulada.
- 2.- CST Apricus ETC-20.
- 3.- Cerchas estructurales.
- 4.- Perfil G 150*50*20*2 mm.
- 5.- Planchas de Zinc.
- 6.- Sistema de anclaje cubierta

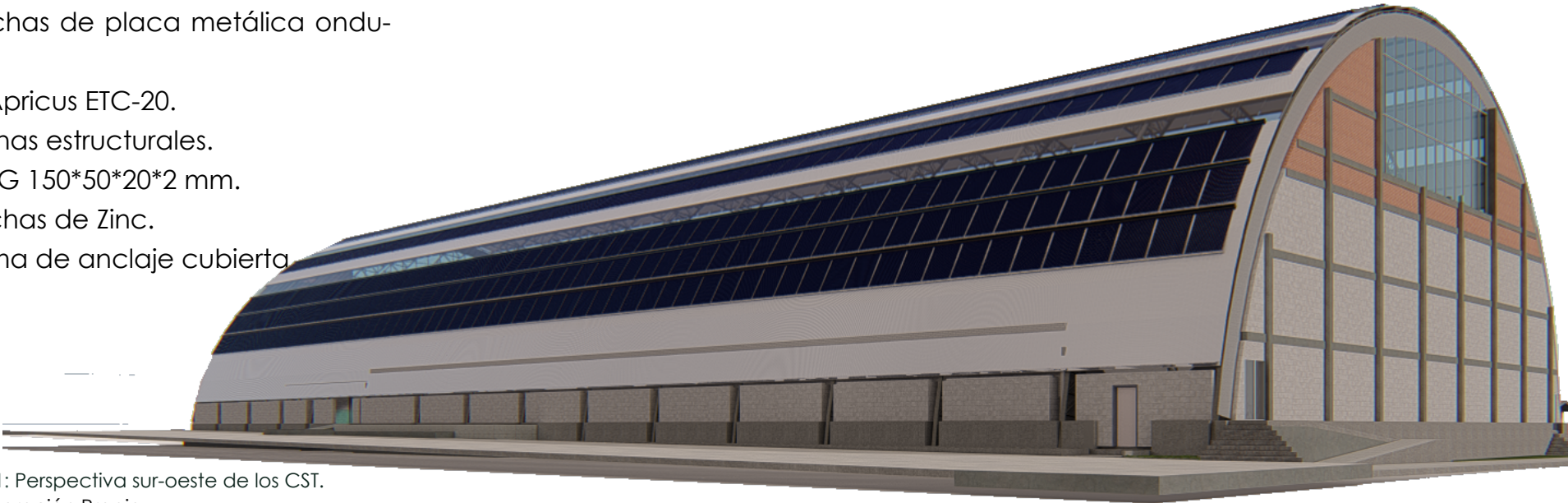


Imagen 5.11: Perspectiva sur-oeste de los CST.

Fuente: Elaboración Propia.



5.6 SIMULACIÓN DE RENDIMIENTO CON PFV

Se expone el procedimiento a realizar en el desarrollo de la simulación de rendimientos de las tecnologías de PFV, BIPV (Building Integrated Photovoltaic) y se llevó a cabo una estimación de producción energética en base a la propuesta de colocación de los paneles en la cubierta del complejo deportivo “FDA”.

5.6.1 Procedimiento

1.- Se selecciona el fichero climático descargado, en el ítem “Solar Resource Library” (ver Imagen 5.12)

Imagen 5.12: Selección del fichero climático de Cuenca.
Fuente: Elaboración Propia.

2.- Seguidamente, se ejecuta el SAM, en la opción Module se utilizan los datos obtenidos en la investigación preliminar del PFV monocristalino TSM-DE09.08 Vertex S de Trina Solar que tiene 120 celdas y entrega un máximo de 405 Wp, con una área de 1.9 m² y eficiencia del 21%, considerando parámetros de integración arquitectónica (ver Imagen 5.13).

Imagen 5.13: Información PFV de 120 celdas.
Fuente: Elaboración Propia.

Location and Resource

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Grid Limits

Financial Parameters

Simulate >

Solar Resource Library

The Solar Resource library is a list of weather files on your computer. Choose a file from the library and verify the weather data information below.

The default library comes with only a few weather files to help you get started. Use the download tools below to build a library of locations you frequently model. Once you build your library, it is available for all of your work in SAM.

Filter: Name

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID	Source
tucson_az_32.116521_-110.933042_psmv3_60_tmy	32.13	-110.94	-7	773	67345	NSRDB
cuenca_-2.897375_-79.004449_psm3-tmy_60_tmy	-2.91	-79.02	-5	2546	1087776	NSRDB
-2.293308_-79.021034_36.579840_36.136520_msg-l...	36.57	36.14	2	1	1941983	NSRDB
-2.293308_-79.021034_36.579840_36.136520_msg-l...	36.57	36.14	2	1	1941983	NSRDB
-2.293308_-79.021034_36.579840_36.136520_msg-l...	36.57	36.14	2	1	1941983	NSRDB

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing valid weather files.

C:/Users/Usuario/SAM Downloaded Weather Files
C:/Users/Usuario/SAM Downloaded Weather Files/-2.293308_-79.021034

Add/remove weather file folders...
Refresh library

Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library. Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or P50/P90 analyses. See Help for details.

☒ One location ☐ Multiple locations ☐ Advanced download

Type a location name, street address, or lat/lon in decimal degrees Default TMY file

For locations not covered by the NSRDB, click here to go to the SAM website Weather Page for links to other data sources.

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file C:/Users/Usuario/SAM Downloaded Weather Files/cuenca_-2.897375_-79.004449_psm3-tmy_60_tmy.csv

Header Data from Weather File

Latitude -2.91 DD Station ID 1087776

Location and Resource

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Grid Limits

Financial Parameters

Simulate >

General Information

Module name: PanelesTesis

Cell type: monoSi

Module area: 1.92 m²

Nominal operating cell temperature: 43 °C

Electrical Specifications

Maximum power point voltage (Vmp): 34.4 V

Maximum power point current (Imp): 11.77 A

Open circuit voltage (Voc): 41.4 V

Short circuit current (Isc): 12.34 A

Temperature coefficient of Voc: -0.25 %/°C

Temperature coefficient of Isc: 0.04 %/°C

Temperature coefficient of max. power point: -0.34 %/°C

Number of cells in series: 120

The model assumes a reference bandgap voltage Eg_ref = 1.121 eV, and temperature coefficient for bandgap of -0.0002677 eV/K.

Copy module specs from currently selected CEC database module

Bifacial Specifications

☐ Module is bifacial

Transmission fraction: 0.013 0-1

Bifaciality: 0.65 0-1

Ground clearance height: 1 m

Mounting Configuration

Standoff height: Less than 0.5 in

Approximate installation height: Two story building height or higher

Nominal Maximum Power Point Ratings at STC

Power: 404.888 Wdc

Efficiency: 21.0879 %

Current-Voltage (I-V) Curve at STC

Calculate and plot

IV curves

Current (A)

Voltage (V)

1000 W/m², 25 °C 800 W/m², 25 °C 600 W/m², 25 °C 400 W/m², 25 °C 200 W/m², 25 °C

Calculated STC Single Diode Model Parameters

a: 1.53366 V Adjust: 14.1877 %

II: 12.8786 A Temperature coefficient of Voc: -0.1035 V/°C

Io: 2.3122e-11 A Temperature coefficient of Isc: 0.004936 A/°C

Rs: 0.187367 Ohm

3.- A continuación, se edita el inversor, se utiliza de tipo PFV 18-5048 VHM, que tiene una potencia de 5000W, 240 Vca, 48Vcc (ver Imagen 5.14).

Imagen 5.14: Asignación de datos del inversor.
Fuente: Elaboración Propia.

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Grid Limits

Financial Parameters

Simulate >

Parameters

Stochastic

Power Ratings

Maximum AC output power: 5000 Wac

Weighted efficiency: 93

Manufacturer efficiency: 96

Maximum DC input power: 5376.34 Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges

Nominal AC voltage: 220 Vac

Maximum DC voltage: 48 Vdc

Maximum DC current: 20 Adc

Minimum MPPT DC voltage: 48 Vdc

Nominal DC voltage: 54 Vdc

Maximum MPPT DC voltage: 60 Vdc

Number of MPPT inputs: 1

Losses

Power consumption during operation: 0 Wdc

Power consumption at night: 1 Wac

Suggested value: 0 1.25

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

Save / Load Data

Save data to file...

Load data from file...

C:/Users/Usuario/Documents/U_CUENCA/Decimo Cido/TESIS/Elaborac...

Inverter Temperature Derate Curves

Import...

Export...

Copy

Paste

Rows: 1

Cols:

Vdc(V) Tstart(C) Slope(1/C)

1 .55 -0.021

Max Power / Rated Power

@ 1 Vdc

4.- Se procede a editar en la sección “Tracking & Orientation”, los campos del azimuth con respecto al norte y la inclinación del panel (ver Imagen 5.15).

Imagen 5.15: Asignación de azimuth e inclinación de PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

Location and Resource

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Grid Limits

Financial Parameters

Simulate >

Parameters

Stochastic

Number of inverters: 14

DC to AC ratio: 0.98

Desired array size: 69 kWdc

Desired DC to AC Ratio: 0

Estimate Subarray 1 configuration

Nameplate DC capacity: 68.868 kWdc

Total AC capacity: 70.000 kWac

Total inverter DC capacity: 75.269 kWdc

Number of modules: 255

Number of strings: 255

Total module area: 413.1 m²

DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

Electrical Configuration

Subarray 1 Subarray 2 Subarray 3 Subarray 4

(always enabled) ☐ Enable ☐ Enable ☐ Enable

Modules per string in subarray: 1

Strings in parallel in subarray: 255

Number of modules in subarray: 255

String Voc at reference conditions (V): 38.5

String Vmp at reference conditions (V): 31.4

Tracking & Orientation

☒ Fixed ☐ 1 Axis ☐ 2 Axis ☐ Azimuth Axis ☐ Seasonal Tilt

☐ Tilt=latitude

Tilt (deg): 9.6

Azimuth (deg): 90

Ground coverage ratio (GCR): 0.3

Tracker rotation limit (deg): 45

5.- Finalmente, se realiza la simulación, obteniendo el reporte, figuras y tablas correspondientes (ver Imagen 5.16).

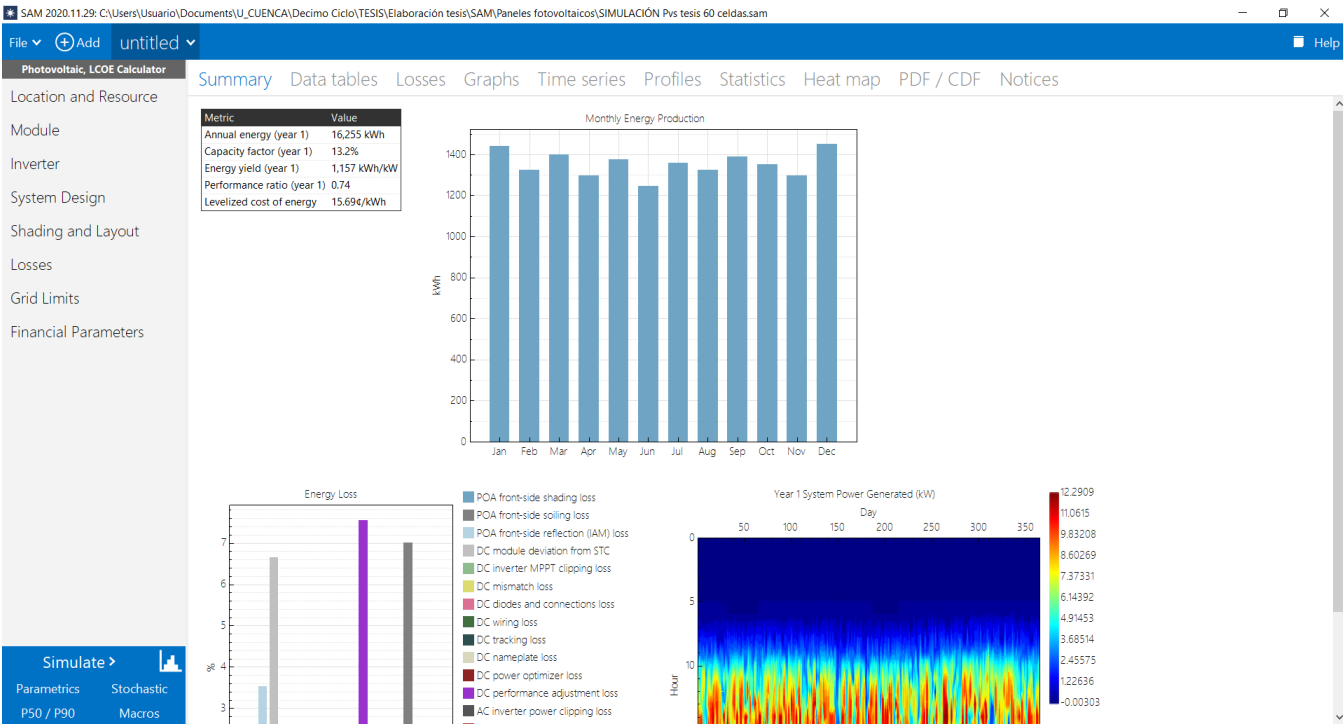


Imagen 5.16: Resultados de simulación con PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

5.7 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MENSUAL POR AÑO CON PFV

De forma similar al caso anterior, antes de los cálculos se conforma una distribución de paneles en toda el área útil de la cubierta. Para obtener una mejor distribución se proponen nuevas entradas de luz manteniendo un nivel de iluminación similar al existente previo a la modificación de cobertura. Se conforman con tres filas al costado este y tres al lado oeste (ver Figura 5.08); de este modo se logra ubicar 1872 PFV en toda la cubierta y nueve inclinaciones, simétricas a cada lado.

La simulación en el software SAM se realiza considerando la orientación e inclinación de los paneles. Para estimar la capacidad de generación energética de la cubierta se analiza cada inclinación y se obtiene una determinada cantidad de energía, dichas inclinaciones se conformaron de acuerdo a la curvatura de la cubierta como se puede observar en la imagen 5.18.

Los módulos se organizan en filas de 52 unidades de PFV que da un área de 98.8 m², en la mayoría de los casos

una inclinación contiene más de una fila. La pendiente con más paneles es la de 10° que consta de 208 unidades de PFV a cada lado. Cada inclinación se conecta a un determinado número de inversores (ver Tabla 5.05)

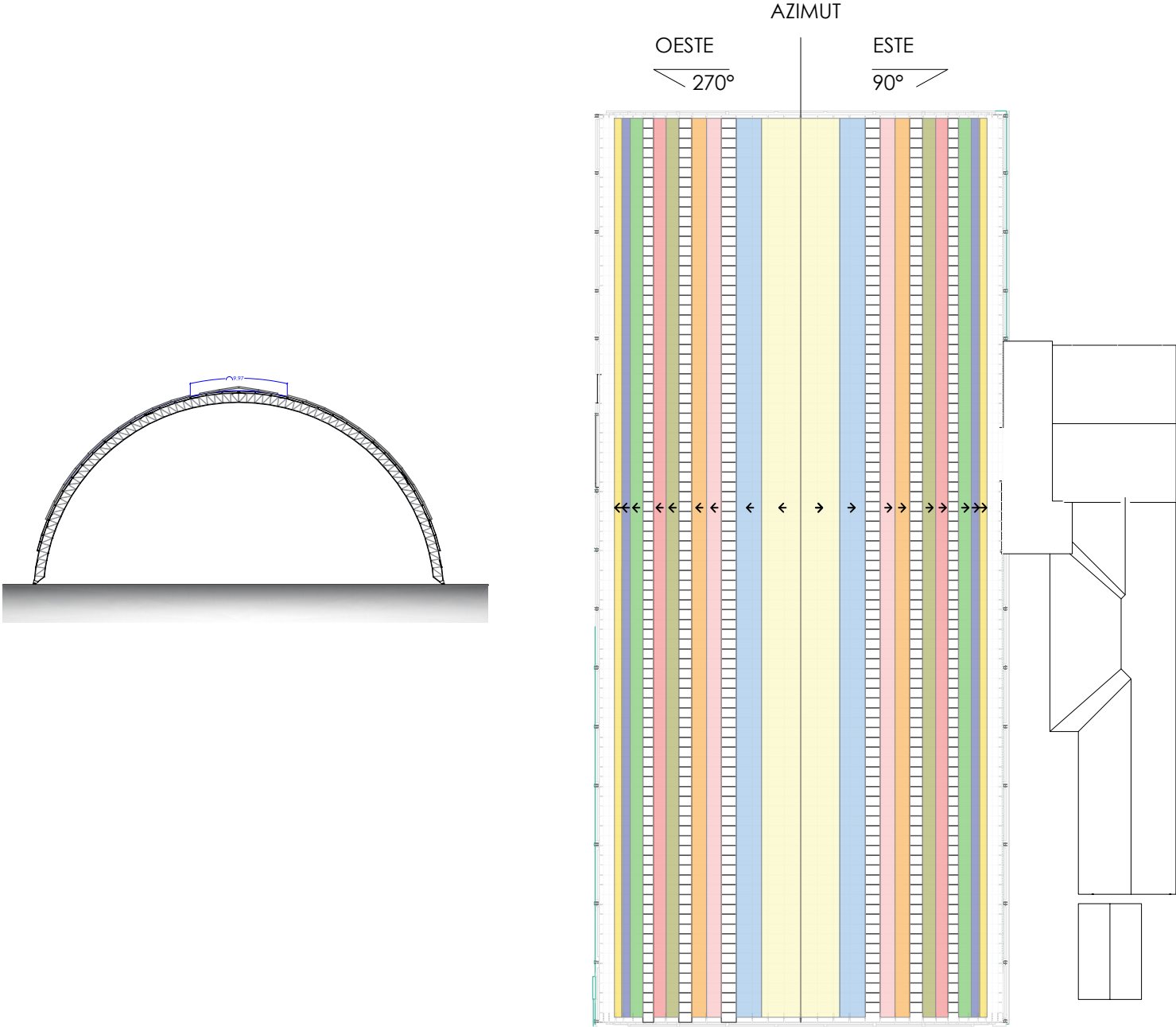
La mayor producción se da a menor inclinación, ya que los paneles que se emplazan a 16° tienen los valores un poco más altos; estos se encuentran en su mayoría sobre los 4,000 kWh al mes tanto a 90° como a 180° (ver Figura 5.09 y 5.10). Sin embargo, conforme va aumentando la pendiente se observa que la producción disminuye ligeramente, a los 38° de inclinación se tiene que la energía producida ronda los 4,000 kWh al mes en ambas orientaciones (ver Figura 5.11 y 5.12). De igual forma, mientras se acerca a la inclinación más pronunciada, de 61°, se tiene alrededor de 3,500 kWh al mes, en ambas orientaciones sucede algo similar (ver Figura 5.13 y 5.14).

Cabe recalcar que en los tres tipos de inclinaciones se tiene la misma cantidad de colectores como se puede

verificar en la tabla 5.05.

Superficie de Paneles Fotovoltaicos				
Orientación (Azimut)	Inclinaciones	Número de paneles	Inversores	Área(m2)
90°	10°	208	17	395.2
	16°	104	9	197.6
	25°	104	9	197.6
	29°	52	5	98.8
	38°	104	9	197.6
	43°	52	5	98.8
	52°	104	9	197.6
	57°	104	9	197.6
270°	61°	104	9	197.6
	10°	208	17	395.2
	16°	104	9	197.6
	25°	104	9	197.6
	29°	52	5	98.8
	38°	104	9	197.6
	43°	52	5	98.8
	52°	104	9	197.6
	57°	104	9	197.6
	61°	104	9	197.6
Área total		1872	162	3556.8

Tabla 5.05: Área de los PFV por su inclinación.
Fuente: Elaboración Propia.



INCLINACIONES

- 10 °
- 16 °
- 25 °
- 29 °
- 38 °
- 43 °
- 52 °
- 57 °
- 61 °

Figura 5.08: Inclinações de PVF.
Fuente: Elaboración Propia.

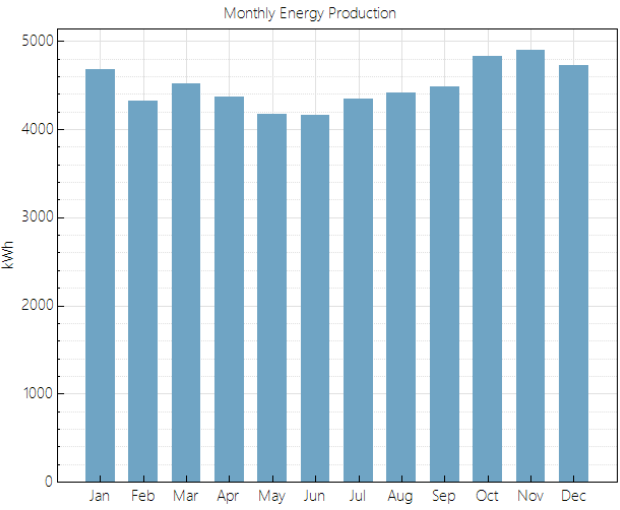


Figura 5.09: Energía mensual azimut 90° e inclinación 16°.
Fuente: Elaboración Propia.

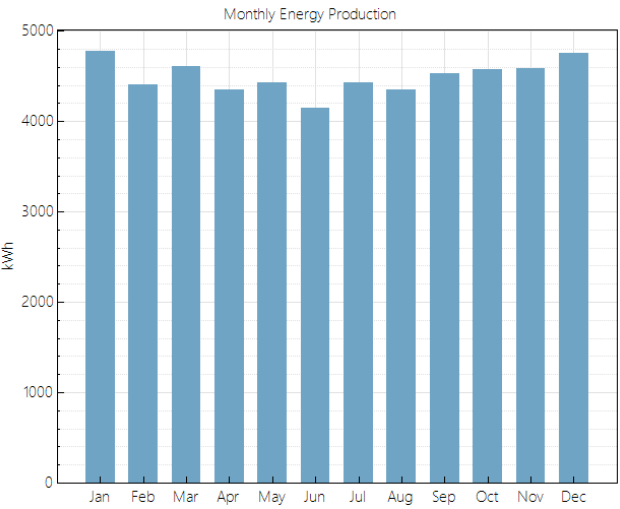


Figura 5.10: Energía mensual azimut 270° e inclinación 16°.
Fuente: Elaboración Propia.

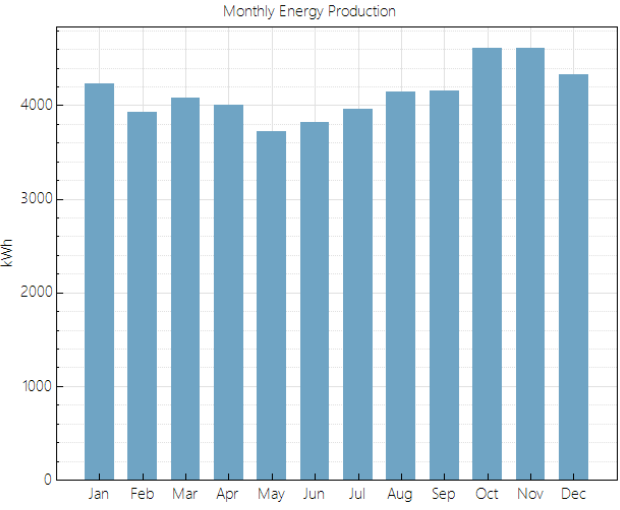


Figura 5.11: Energía mensual azimut 90° e inclinación 38°.
Fuente: Elaboración Propia.

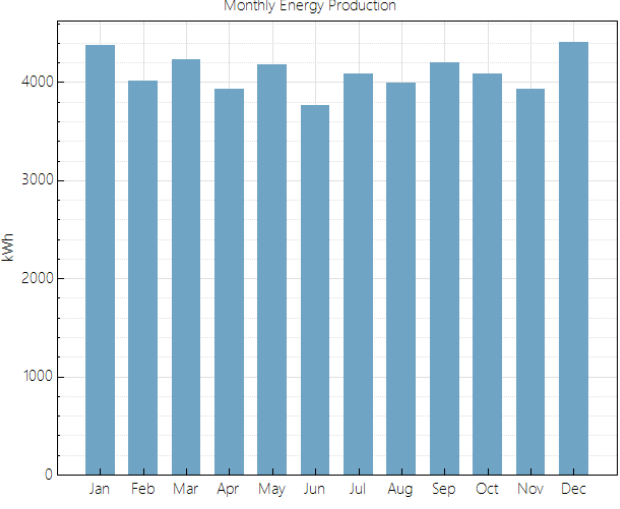


Figura 5.12: Energía mensual azimut 270° e inclinación 38°.
Fuente: Elaboración Propia.

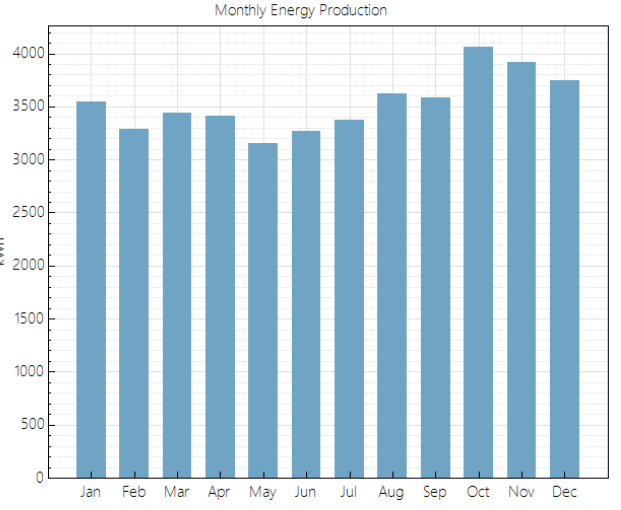


Figura 5.13: Energía mensual azimut 90° e inclinación 61°.
Fuente: Elaboración Propia.

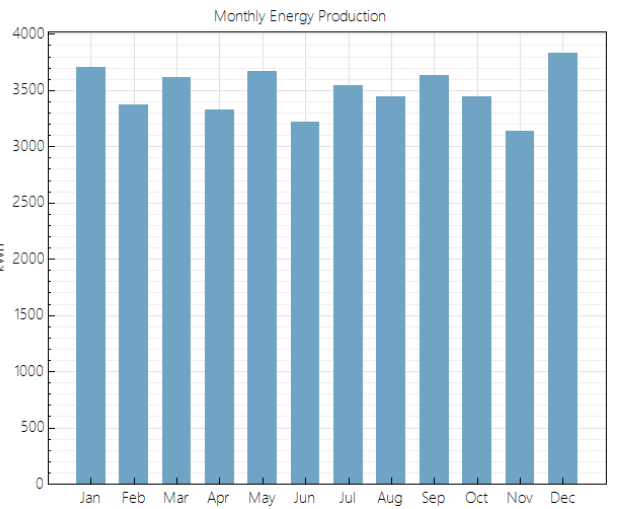


Figura 5.14: Energía mensual azimut 270° e inclinación 61°.
Fuente: Elaboración Propia.

Los datos obtenidos desde el SAM permiten un acercamiento a la producción real del sistema, aunque se debe tener en cuenta que la forma de la cubierta representa un reto de cálculo. Se prevé obtener magnitudes de predimensionamiento como una estimación.

La simulación se realiza desde las 6:00 a.m. hasta las 18:00 p.m., la misma, se ejecuta con cada pendiente y azimut por separado para luego sumar y obtener un total (ver Tabla 5.06).

Como anteriormente se mencionó, la producción se ve afectada por las pendientes muy pronunciadas. Se tiene valores más altos en una inclinación más baja, pero conforme se incrementa la inclinación, disminuye la energía producida. En cuanto a la orientación se produce ligeras variaciones de energía respecto a cada mes, en algunos casos aumenta y en otros disminuye la producción. El total de la energía anual es mayor en dirección este con valores de 446,616.70 kWh (ver Tabla 5.06).

Tabla 5.06: Resultados obtenidos por inclinación y azimut de PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

Azimut 90° (este)										
Inclinación	10°	16°	25°	29°	38°	43°	52°	57°	61°	Total
Meses	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	9,500.11	4,676.07	4,524.36	2,219.90	4,229.38	2,045.49	3,833.10	3,673.53	3,547.62	38,249.56
Febrero	8,796.82	4,327.04	4,187.62	2,055.26	3,927.85	1,901.72	3,561.51	3,409.46	3,286.05	35,453.33
Marzo	9,180.37	4,519.83	4,366.85	2,142.54	4,078.05	1,973.03	3,704.66	3,557.84	3,444.97	36,968.14
Abril	8,830.02	4,369.23	4,247.45	2,091.91	4,001.94	1,945.01	3,661.25	3,524.65	3,415.95	36,087.41
Mayo	8,511.68	4,171.30	4,005.65	1,964.43	3,725.48	1,807.20	3,387.59	3,258.89	3,151.75	33,983.97
Junio	8,411.71	4,162.48	4,048.58	1,994.88	3,819.86	1,858.94	3,503.73	3,374.57	3,268.23	34,442.98
Julio	8,818.00	4,350.53	4,212.94	2,072.15	3,956.34	1,920.70	3,617.34	3,481.53	3,375.91	35,805.44
Agosto	8,886.70	4,418.75	4,331.52	2,142.26	4,141.97	2,024.34	3,852.76	3,724.81	3,620.22	37,143.33
Septiembre	9,053.97	4,480.39	4,368.99	2,157.74	4,150.98	2,023.77	3,826.41	3,695.98	3,586.63	37,344.86
Octubre	9,646.31	4,826.16	4,776.77	2,369.44	4,606.10	2,259.38	4,309.49	4,177.14	4,058.37	41,029.16
Noviembre	9,801.10	4,894.88	4,825.07	2,387.48	4,607.35	2,245.30	4,227.79	4,065.56	3,922.83	40,977.36
Diciembre	9,548.63	4,721.86	4,587.40	2,259.59	4,327.07	2,105.90	3,983.76	3,851.23	3,745.72	39,131.16
TOTAL	108,985.42	53,918.52	52,483.20	25,857.58	49,572.37	24,110.78	45,469.39	43,795.19	42,424.25	446,616.70

Azimut 270° (oeste)										
Inclinación	10°	16°	25°	29°	38°	43°	52°	57°	61°	Total
Meses	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	9,641.04	4,772.97	4,650.51	2,287.01	4,378.78	2,122.95	3,993.29	3,836.01	3,706.64	39,389.20
Febrero	8,908.90	4,405.05	4,277.07	2,101.04	4,015.61	1,944.24	3,647.29	3,496.62	3,375.62	36,171.44
Marzo	9,306.76	4,606.13	4,485.80	2,206.17	4,230.29	2,053.38	3,875.36	3,731.66	3,614.20	38,109.75
Abril	8,819.42	4,346.62	4,208.20	2,063.65	3,934.81	1,904.78	3,579.34	3,439.91	3,323.38	35,620.11
Mayo	8,862.85	4,424.63	4,363.34	2,157.00	4,182.50	2,043.54	3,896.72	3,774.89	3,668.24	37,373.71
Junio	8,406.13	4,143.71	4,013.59	1,969.40	3,764.80	1,825.69	3,448.00	3,321.83	3,215.49	34,108.64
Julio	8,929.48	4,425.53	4,321.97	2,128.20	4,090.40	1,989.39	3,778.24	3,650.93	3,545.59	36,859.73
Agosto	8,820.88	4,351.54	4,231.72	2,080.19	3,988.96	1,937.83	3,672.39	3,546.57	3,441.36	36,071.44
Septiembre	9,150.12	4,534.34	4,431.75	2,182.77	4,197.93	2,043.80	3,872.71	3,743.83	3,631.89	37,789.14
Octubre	9,323.88	4,570.36	4,398.18	2,154.27	4,083.84	1,977.78	3,700.63	3,564.18	3,445.48	37,218.60
Noviembre	9,414.67	4,584.55	4,350.20	2,115.48	3,936.11	1,886.14	3,452.30	3,283.84	3,141.64	36,164.93
Diciembre	9,610.91	4,756.09	4,645.13	2,288.84	4,404.94	2,146.93	4,073.24	3,942.80	3,828.04	39,696.92
TOTAL	109,195.04	53,921.52	52,377.46	25,734.02	49,208.97	23,876.45	44,989.51	43,333.07	41,937.57	444,573.61

La demanda - producción analiza el abastecimiento energético de las piscinas con PFV. La estimación de energía realizada en el SAM permite conocer el porcentaje de abastecimiento en cada uno de los meses del año. La comparación se realiza al igual que en los CST, en un día de calentamiento y en tres días de calentamiento. La demanda en ambos tiempos de calentamiento está calculada con las pérdidas y la energía necesaria. La producción de PFV se obtiene dividiendo el total de energía en cada mes para el número de días del respectivo mes, en el caso de la comparación en tres días únicamente se multiplica por tres el valor de producción diario.

En la demanda-producción para un día, los meses con menor producción de energía son mayo y junio, estos presentan un 30 % de abastecimiento de energía térmica para el calentamiento de las piscinas en ambos casos. En cambio, los meses que presentan un mayor porcentaje son: febrero y noviembre con

el 34 %, en ambos casos lo que representa una sexta parte del año. El porcentaje de abastecimiento total en el año es del 32 % lo que equivale a subir la temperatura, un promedio de 1.9 °C de 6 °C, (ver Tabla 5.07).

En la demanda-producción para tres días, los meses de menor producción son: mayo y junio con un porcentaje del 71 %, y los meses con un mayor porcentaje son: enero, febrero, septiembre, octubre, noviembre, y diciembre con 78 %, 79 %, 78 %, 78 %, 80 % y 79 % respectivamente, es decir que corresponde a la mitad del año. El porcentaje de abastecimiento total es del 76 % (4.5 °C), (ver Tabla 5.08). El sistema fotovoltaico abastece a la demanda de las bombas de calor que calientan las piscinas en un aproximado de 5 días (funcionando las 12 horas de día).

En estas dos comparaciones se puede ver que al igual que los CST el porcentaje de abastecimiento en un día es bajo, pero al aumentar el tiempo de producción este porcentaje aumenta.

DEMANDA-PRODUCCIÓN EN UN DÍA			
MESES	DEMANDA	PRODUCIÓN PFV	%
Enero	7,603.20	2,504.48	33%
Febrero	7,603.20	2,558.03	34%
Marzo	7,603.20	2,421.87	32%
Abril	7,603.20	2,390.25	31%
Mayo	7,603.20	2,301.86	30%
Junio	7,603.20	2,285.05	30%
Julio	7,603.20	2,344.04	31%
Agosto	7,603.20	2,361.77	31%
Septiembre	7,603.20	2,504.47	33%
Octubre	7,603.20	2,524.12	33%
Noviembre	7,603.20	2,571.41	34%
Diciembre	7,603.20	2,542.84	33%
TOTAL	91,238.40	29,310.18	32%

Tabla 5.07: Demanda - producción en un día con PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La demanda en un día tiene su cálculo en la tabla 4.05 y la producción se obtiene dividiendo la suma del total de ambas inclinaciones de la tabla 5.06 para los días de cada mes.

DEMANDA-PRODUCCIÓN EN TRES DÍAS			
MESES	DEMANDA	PRODUC- CIÓN PFV	%
Enero	9,676.80	7,513.43	78%
Febrero	9,676.80	7,674.08	79%
Marzo	9,676.80	7,265.60	75%
Abril	9,676.80	7,170.75	74%
Mayo	9,676.80	6,905.58	71%
Junio	9,676.80	6,855.16	71%
Julio	9,676.80	7,032.11	73%
Agosto	9,676.80	7,085.30	73%
Septiembre	9,676.80	7,513.40	78%
Octubre	9,676.80	7,572.36	78%
Noviembre	9,676.80	7,714.23	80%
Diciembre	9,676.80	7,628.52	79%
TOTAL	116,121.60	87,930.54	76%

Tabla 5.08: Demanda - producción en tres días con PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

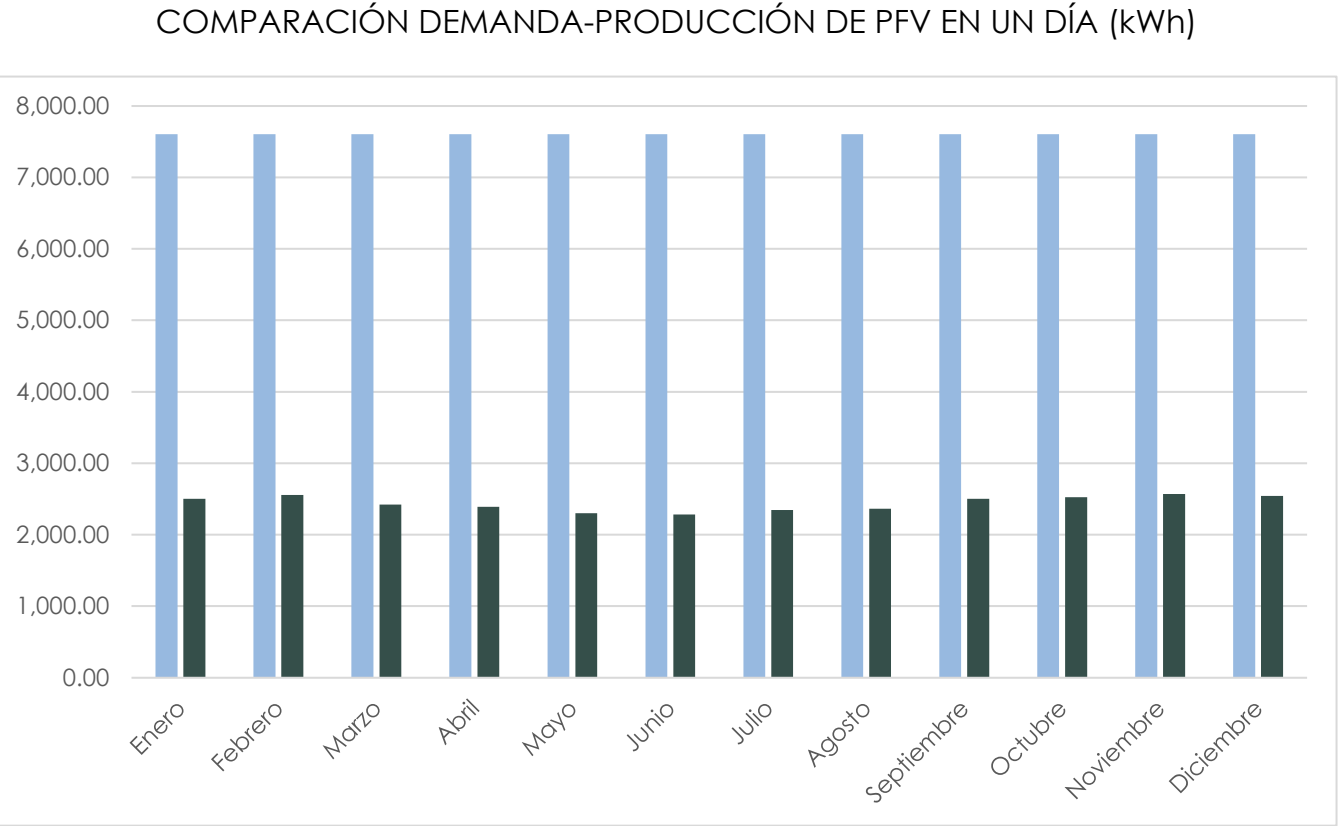
Nota: La demanda en tres días tiene su cálculo en la tabla 4.05 y la producción se obtiene dividiendo la suma del total de ambas inclinaciones de la tabla 5.06 para los días de cada mes y multiplicando este valor por tres.

En la Figura 5.15 se puede observar más claramente la comparación demanda- producción, en donde se evidencia la capacidad de abastecimiento del sistema fotovoltaico en un día. La demanda en un día está entre los 7,000 kWh y 8,000 kWh y la producción entre los 2,000 kWh y 3,000 kWh.

En la Figura 5.15 se evidencia la capacidad de abastecimiento del sistema fotovoltaico en tres días. La demanda en tres días se encuentra cerca a los 10,000 kWh, mientras que la producción está entre los 6,000 kWh y 8,000 kWh.

El abastecimiento energético analizado es para el calentamiento inicial (desde los 20 °C) más las pérdidas diarias durante el tiempo de calentamiento por lo tanto se deduce que el sistema fotovoltaico puede abastecer las demandas energéticas basadas en pérdidas diarias. En los resultados se puede ver que para alcanzar un abastecimiento del 100% es necesario solamente más tiempo, para alcanzar la temperatura deseada de 6 °C es necesario un funcionamiento apro-

ximado de 4 días. Se debe tener presente que para el funcionamiento el sistema debe contar con bombas de impulsión para circular todo el volumen de agua en 12 horas, las mismas que tendrán una considerable demanda eléctrica que no se contempla en este estudio. Para hacer la comparación entre los sistemas de CST y PFV se necesitan que tengan similares condiciones por lo tanto un cálculo de consumo eléctrico para bombas de impulsión no es posible con los CST ya que en ese caso se produce energía térmica.



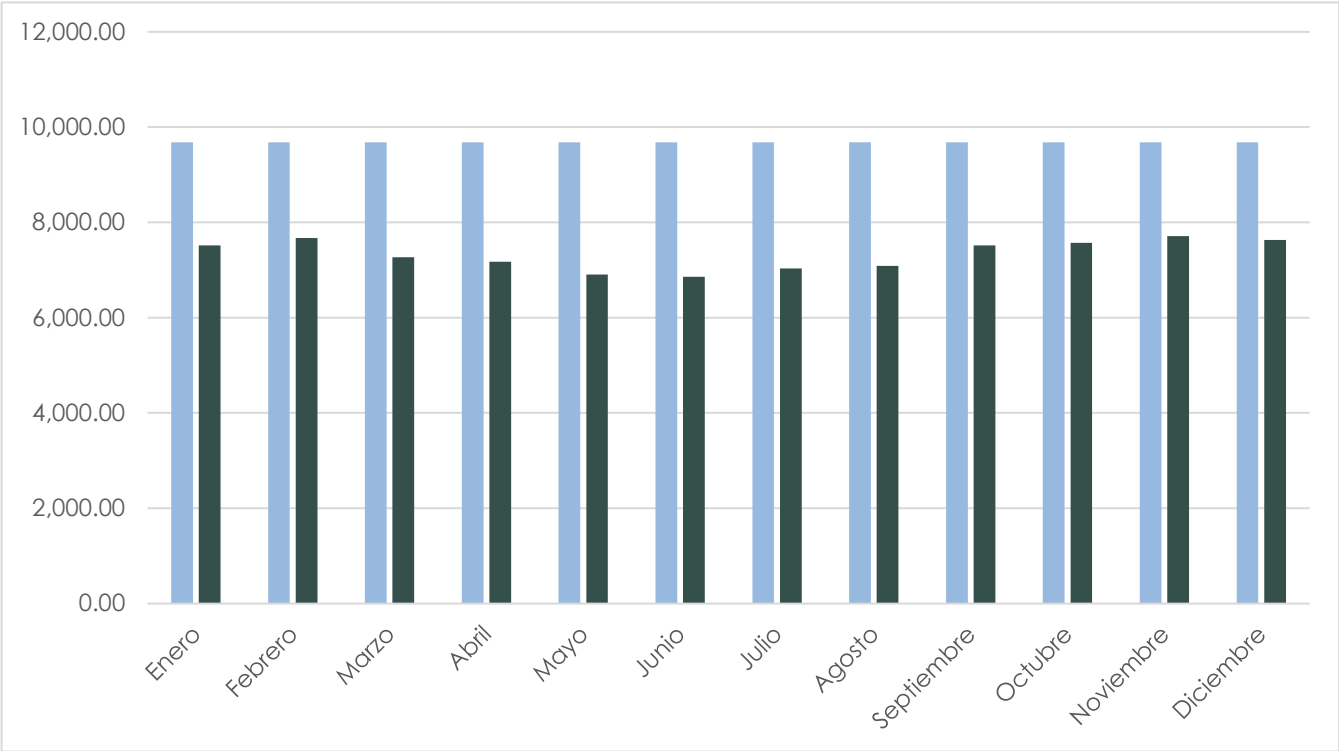
Simbología

Demanda

Producción con PFV

Figura 5.15: Comparación Demanda - Producción PFV en un día.
Fuente: Elaboración Propia.

COMPARACIÓN DEMANDA-PRODUCCIÓN DE PFV EN TRES DÍAS (kWh)



Simbología

Demanda

Producción con PFV

Figura 5.16: Comparación Demanda - Producción PFV en tres días.
Fuente: Elaboración Propia.

5.8 MONTAJE Y PROPUESTA DE PFV

La aplicación de los PFV sobre la cubierta se realizó con el sistema de anclaje de rieles. Se coloca siguiendo una distribución similar al sistema de CST, ocupando 2 PFV en sentido vertical, por cada panel térmico, esto debido a que los fotovoltaicos son más pequeños que los térmicos.

En la imagen 5.17 se observa la vista aérea con la integración de los paneles, en la que se destaca las filas de PFV y las entradas de luz que fueron reorganizadas. En la imagen 5.18 se evidencia la integración de los PFV en la envolvente desde un punto de vista del observador, se puede apreciar cómo se visualiza la cubierta con los paneles. El aspecto que más resalta con la intervención es la percepción de colores desde la quinta fachada y las fachadas laterales, llegando a notar franjas horizontales de color azul oscuro.

En la cubierta se ubicaron un total de 1872 paneles monocristalinos TSM-DE09.08 Vertex S de 395 a 405 Wp y sus dimensiones son de 1754 x 1096 x 30 mm, con un peso de 21.0 Kg por unidad. Se disponen de 936 unidades en dirección

este y 936 en dirección oeste con inclinación variable de acuerdo a la forma de la cubierta. De igual manera como en el caso de los CST se estima que las 1872 unidades de PFV aportaran una carga adicional de 39,312 kg.

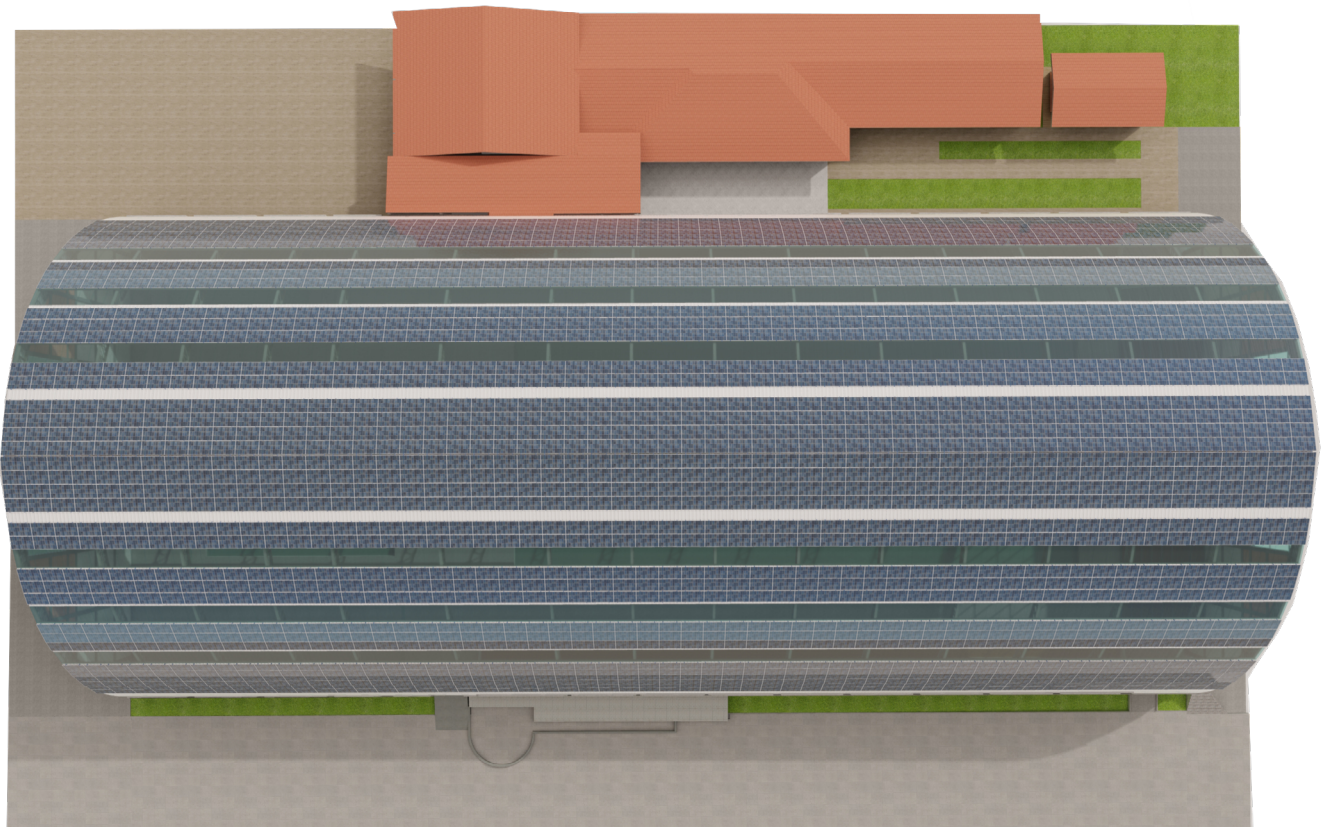
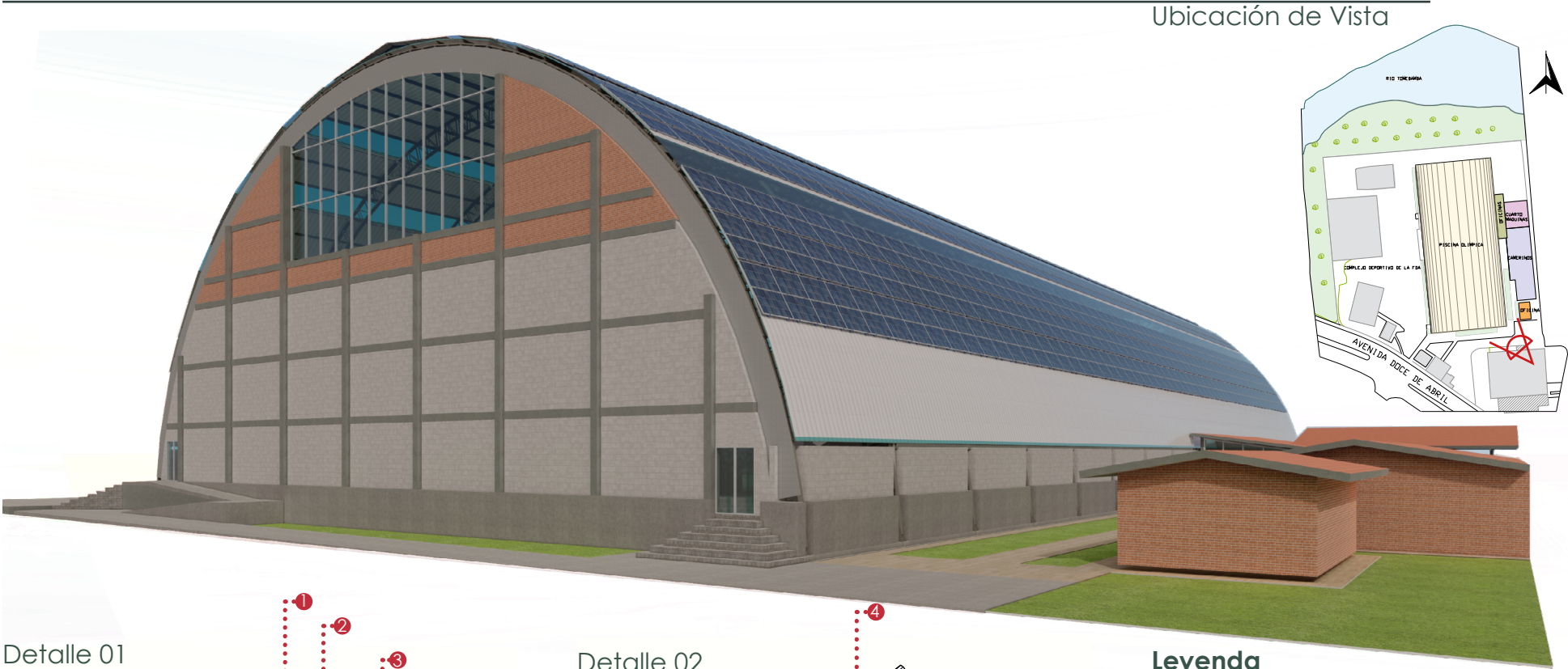
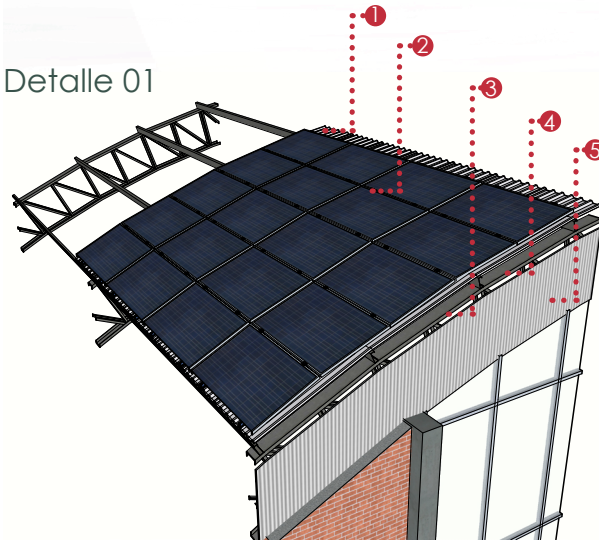


Imagen 5.17: Vista aérea de los PFV.
Fuente: Elaboración Propia.

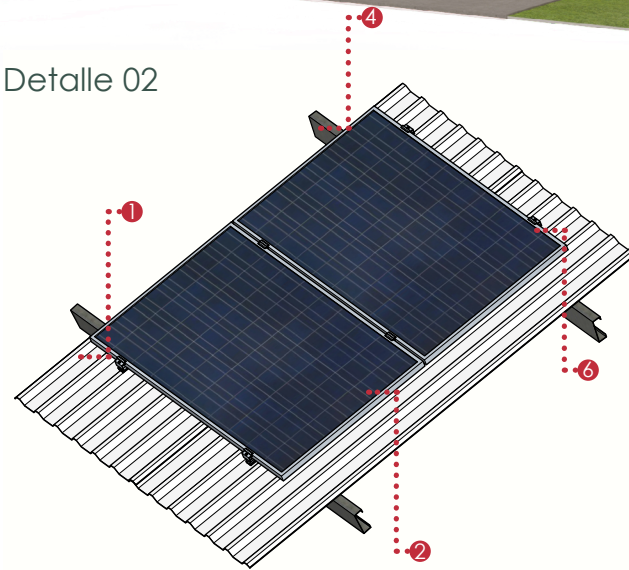
5.9 DETALLES DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y VISUALIZACIÓN ARQUITECTÓNICA DE PFV



Detalle 01



Detalle 02



- Leyenda**
- 1.- Planchas de placa metálica ondulada.
 - 2.- PFV TSM-DE09.08 Vertex S.
 - 3.- Cerchas estructurales.
 - 4.- Perfil G 150*50*20*2 mm.
 - 5.- Planchas de Zinc.
 - 6.- Sistema de anclaje cubierta.

Imagen 5.18: Perspectiva de propuesta PFV.
Fuente: Elaboración Propia.



CAPÍTULO

6

CONCLUSIONES
Y

RECOMENDACIONES

La elaboración del presente trabajo de titulación se centró en el análisis de la situación energética mundial, dentro del cual se observó los problemas medioambientales que producen el uso de los actuales recursos energéticos mayormente usados (combustibles fósiles). Por lo tanto, se estudian fuentes de energía limpias, bajo esta premisa muchos países se han sumado a la causa con el tratado de París. Entre las energías que se consideran limpias se tiene la energía solar, que en los últimos años se ha hecho uso para la producción de electricidad y ACS para los hogares. En la actualidad, con los avances tecnológicos, estos sistemas se han vuelto más eficientes, permitiendo su empleo a gran escala.

De acuerdo a los objetivos planteados, en la presente investigación se analiza el autoabastecimiento energético para el calentamiento de las piscinas de la FDA a través de CST y PFV. Para lo cual se analizaron proyectos similares en los que se hace uso de la energía solar.

Luego de las investigaciones se

concluye que mediante la integración de CST se puede abastecer energéticamente hasta un 28% (equivale aproximadamente a 1.68 °C) cuando el calentamiento inicial se da a lo largo de un día y hasta un 67% (equivale a un aproximado de 4 °C) si el calentamiento inicial se da en tres días. En la cubierta se emplazaron 976 colectores Apricus ETC 20. En la ubicación se tomó en cuenta la inclinación, orientación y las entradas de luz al recinto interno. La inclinación cumplió un papel determinante debido a la forma de la cubierta, por esta razón se consideró tomar una pendiente promedio de 37°, tanto en la orientación este como oeste se prevé una estimación cercana a la realidad. Los cálculos se realizaron en dos partes, en dirección este y en dirección oeste, considerando que el azimut de 90° proporciona energía en la mañana y el azimut de 270° en la tarde. Se considera que ambos grupos de colectores proporcionan energía durante todo el día, por lo que funcionan de manera independiente para evitar las pérdidas de calor.

Referente a los PFV, se efectuó un análisis mediante la ubicación de 1872 paneles monocristalinos TSM-DE09.08 Vertex S que proporcionan un máximo de 405 Wp. Se instalan en toda parte aprovechable de la cubierta para analizar la capacidad de producción energética de la misma. Esta energía producida se analiza en relación con el consumo de bombas de calor Ultra-temp Pentair 140. Las bombas de calor entregan una potencia térmica de 26 kW y consumen 6.4 kW cada una.

La simulación ejecutada en el SAM proporcionó datos que indican una capacidad de producción energética similar a los CST. Los PFV alcanzan un abastecimiento del 32% (equivale a un aproximado de 1.9 °C) si funcionan solo un día al mes para el calentamiento inicial y un 76% (equivale a un aproximado de 4.5 °C) si funcionan 3 días al mes para el calentamiento inicial, esto representa en el primer caso un 4% mayor y en el segundo caso un 9% mayor que el sistema de CST.

Se debe tener presente que el abastecimiento en función de la temperatura es un aproximado, debido a que cada piscina presenta su propia temperatura este dato se calcula con la temperatura de la piscina más grande.

El consumo energético de las bombas de impulsión, sistemas de iluminación y ventilación no están consideradas dentro de la demanda (anteriormente se explicó la razón), únicamente se hace el cálculo de la demanda para calentamiento del agua, esto debido a que un análisis más detallado sobrepasa los alcances de este estudio. Se debe considerar que se trata de un predimensionamiento de los equipos, que permiten ejecutar los cálculos, tanto con los CST como con los PFV. Esto posibilita el desarrollar el presente trabajo de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente. Por consiguiente, no se considera ningún tipo de costos de instalación que podría convertir al sistema de PFV o CST en menos eficiente.

En ambos sistemas se considera-

ron las mismas entradas de luz y se ocupan áreas muy similares a la cubierta actual, en cuanto a los CST se emplazaron 61 unidades por cada fila y se distribuyeron 8 filas en dirección este y 8 en dirección oeste, dando un total de 16 filas. Con los PFV sucedió algo similar, se lograron emplazar 52 unidades en una fila, y debido a que los PFV son más pequeños que los CST se distribuyeron en 18 filas en dirección este y 18 filas en dirección oeste, dando un total de 36 filas.

Después de los análisis se puede concluir que de acuerdo a las características de la cubierta entre estas, la forma, la ubicación y el emplazamiento, la hipótesis planteada es correcta; a pesar de que el porcentaje de abastecimiento con CST y PFV en un día es relativamente bajo, este porcentaje sube al aumentar el tiempo de funcionamiento. Los CST y PFV alcanzan a calentar las piscinas en un tiempo aproximado de 5 días (con una temperatura inicial de 20°C), para las pérdidas diarias de aproximadamente 1 °C cumplen ambos sistemas.

Por lo tanto, desde la parte arquitectónica ambos sistemas se pueden superponer en la envolvente de las piscinas. En cuanto al abastecimiento energético ambos sistemas son similares con una pequeña diferencia a favor de los PFV que puede ampliarse debido a que el excedente de la energía producida para el calentamiento se puede utilizar en otros sistemas como de iluminación y bombeo, además, funcionarían con un sistema conectado a la red, dando lugar a un calentamiento nocturno con las bombas de calor para compensar las pérdidas en menor tiempo. De la misma forma, las placas solares resultan ser más livianas que las térmicas, por lo que resultan ser la mejor opción sin considerar los costos de los equipos y la instalación en ambos sistemas, que podrían modificar el resultado.

6.2 RECOMENDACIONES

Con la finalidad de que este trabajo y proyectos similares se puedan seguir implementando y fomentando en la sociedad, se recomienda que las instituciones de educación superior se enfoquen más en temas de investigación de eficiencia energética en general; más aún aplicados en la arquitectura, esto debido a que en nuestro país existe poca información o está desactualizada referente a temas del uso de energías renovables.

Además, se debería fomentar la creación y actualización de manuales de aplicación vinculados con softwares de simulaciones y reglamentos que permitan un mejor y eficaz empleo de energías renovables en las edificaciones.

La tecnología fotovoltaica ha experimentado un mayor desarrollo en los últimos años, por ende, se espera mejoras superiores a los solar térmicos.

Es necesario determinar los excedentes, luego del calentamiento inicial y en días que no se usan las piscinas considerando la posibilidad de venta a la red pública, sin embargo, se debe conside-

rar que estos excedentes pueden ser muy altos y podrían afectar la red. Finalmente es necesario un análisis económico a futuro, considerando la energía sin valores subsidiados, ya que de este modo esta tecnología implicaría un ahorro al estado por combustibles y electricidad sin subsidio.

Por último, es preciso mencionar que debido a que este trabajo es una simulación y análisis únicamente de la capacidad energética de la cubierta y la integración arquitectónica de paneles CST y PFV, se recomienda que para la instalación de un sistema de calentamiento como los propuestos se realice una valoración y análisis estructural, esto sumado a un diseño completo de un sistema de calentamiento para las piscinas.

BIBLIOGRAFÍA

A
ACCIONA. (2020). Energía solar fotovoltaica. https://www.accionacom.es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894

Acuatroarquitectos. (2020). Paneles solares en cubiertas existentes. <https://www.acuatroarquitectos.com/paneles-solares-en-cubiertas-condicionantes/>

Alfa Laval. (2022). Alfa Laval T6. <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/industrial/alfa-laval-t6.pdf>

Apricus. (2016). ETC Solar Collector Product Overview; Apricus, Australia, September, 1–23. https://inrnrxhopim5p.leadongcdn.com/ETC_Collector_Overview_Int-aidlkBqiKipSRromirmImj.pdf

Arancibia, C., & Best, R. (2010, February 26). La Energía del Sol. Ciencia, 14, 10–17. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf

Arquitectura sustentable. (2015). Programa ECOTECT. <https://arqarquitecturasustentableblogs.blogspot.com/>

Astudillo-Flores, M., Zalamea-Leon, E., Barragán-Escandón, A., Pelaez-Samaniego, M. R., & Calle-Siguencia, J. (2021). Modelling of solar thermal energy for household use in equatorial latitude by using the F-Chart model. Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ) X, 19. <https://doi.org/10.24084/repqj19.273>

AutoSolar. (2021). Paneles solares 24V. <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios>

B
Banco Mundial. (2017). Energía solar. <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/29/solar>

Banco Mundial. (2018, April 5). Reducir la contaminación. <https://www.bancomundial.org/es/topic/environment/brief/pollution>

Barberá, D. (2017). Introduccion a La Energia Fotovoltaica (pp. 1–20). <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>

BIVP. (2012). Three in one Sport Center. <http://www.biPFV.ch/index.php/en/sport-s-en/item/968-sportcenter-fra>

BIVP. (2015). SolarRoof en Speicher. <http://www.biPFV.ch/index.php/en/sport-s-en/item/1250-solarrood-speicher-en>

Bohorquez, A. (2013). La Energía Solar Térmica. Bid, 10.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-energía-solar-térmica-¡Deja-que-entre-el-sol!-Un-recurso-renovable-para-los-procesos-industriales.pdf>

C

Cengel, Y., Boles, M., & Kanoğlu, M. (2019). Termodinámica. https://www.academia.edu/45122402/Termodinámica_YUNUS_A_ÇENGEL_Novena_edición_Mc_Graw_Hill_

Chandler, D. (2011). Shining brightly “Vast amounts of solar energy radiate to the Earth constantly, but tapping that energy cost-effectively remains a challenge.” <https://news.mit.edu/2011/energy-scale-part3-1026>

CONELEC. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, IV Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4->

Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf

ConstruyenPaís. (2020). Paneles solares en los techos: todo lo que debe saber. <https://construyenpais.com/paneles-solares-en-los-techos-todo-lo-que-debe-saber/>

Consuegra, F. (2008). Introducción al diseño solar pasivo Soluciones Bioclimaticas. Reconsost, 1, 1–19. <https://arquieficiencia.files.wordpress.com/2012/07/6-intro-al-disec3blo-solar-pasivo.pdf>

Cordero, X., & Guillén, V. (2013). Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca. Estoa. Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca, 2(2), 61–75. <https://doi.org/10.18537/EST.V002.N002.07>

D

Delgado, G., & Orellana, M. (2015). “ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLO-

BAL Diaria EN EL CANTÓN CUENCA Mediante LA APLICACIÓN DEL MODELO BRISTOW & CAMPBELL” (Vol. 189). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>

Días, T., & Carmona, G. (2020). Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1. 22. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Ecoenergía Falk. (2016). CALEFONES SOLARES-TUBOS AL VACIO SISTEMA HEAT PIPE. <https://docplayer.es/170619850-Calefones-solares-tubos-al-vacio-sistema-heat-pipe.html>

E

EEA. (2021). El rápido cambio hacia tecnologías de energías renovables en evolución plantea un nuevo desafío en materia de residuos para Europa. [europa-situacion-actual](https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-</p>
</div>
<div data-bbox=)

ENDEF. (2020). Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas. <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/>

Enerdata. (2021). Tendencias energéticas Mundiales 2021: estadísticas energéticas consolidadas y previsiones Mundiales 2021 (p. 56). <https://es.enerdata.net/publicaciones/informes-energeticos/tendencias-energeticas-Mundiales.html>

ENERGIE SOLAIRE. (2021a). La piscine de Ilanz (VS) | SYSTEME PLUG & SWIM. <https://www.energie-solaire.com/syst%C3%A8me-plugandswim?pgid=kx9tdq5-e5f-07d5d-50a7-43b7-8852-36c2581d-4fb9>

ENERGIE SOLAIRE. (2021b). La pisci-

ne de Wallenbach à Lenk (BE) alt.1068 m. <https://www.energie-solaire.com/syst%C3%A8me-plugandswim?pgid=ki4ppf6p-654e0103-0e31-417e-9db0-c629ff2a2f0f>

F

Factor energia. (2018). Tipos de energías renovables - Factorenergia. In Factor energia. <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-características-tipos-nuevos-retos/>

FINA. (2021). FACILITIES RULES. https://resources.fina.org/fina/document/2022/02/08/77c3058d-b549-4543-8524-ad51a857864e/210805-Facilities-Rules_clean.pdf

Frontini, F., Munari Probst, M. C., Scognamiglio, A., Roecker, C., Farkas, K., Maturi, L., & Zanetti, I. (2012). Report T.41.A.2: Solar energy systems in architecture. <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/t41da2-solar-energy-systems-in-architectu->

re-28march20131.pdf

G

González, H. (2012). MANUAL TÉCNICO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISCINAS. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_33111.pdf

H

Hogarsense. (2022). panles-solar-forzado-piscina. <https://cdn.daa.net/images/energia-solar/panles-solar-forzado-piscina.jpg>

I

IDAE. (2020). Guía IDAE 022: Guía Técnica de Energía Solar Térmica (edición v1.0). https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-asit_v3.0_20210111_nipo.pdf

IEA. (2020). Data & Statistics: CO2 emissions drivers, Ecuador 1990-2020. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=ECUADOR&fuel=CO2%20emissions&indicator=emissionsDrivers>

- IIGE. (2019). Balance Energético Nacional. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>
- InfoLoja. (2020). Parque Eólico Villonaco. <https://www.facebook.com/infolojaec/photos/pcb.1145982599099089/1145982542432428/>
- Interempresas. (2020). Autoconsumo con paneles solares sin inversión. <https://www.interempresas.net/Autoconsumo/Articulos/308819-Autoconsumo-con-paneles-solares-'sin-inversion'.html>
- IPCC. (2015). Cambio climático 2014 - Mitigación del cambio climático. In Encyclopedía of Corporate Social Responsibility. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG3AR5_SPM_brochure_es-1.pdf
- Lomas, D., & Montalvo, R. (2017). ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINAS, POR MEDIO DE BOMBAS DE CALOR. In Tesis. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13670/3/UPS-KT01357.pdf>
- Long, R. C. (1996). VOLUME ONE THE DESIGN, CONSTRUCTION, AND MONITOR PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM AND SOLAR SYSTEM ON THE GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc711750/m2/1/high_res_d/656880.pdf
- López, J. (2006). ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10374_energia_solar_térmica_06_8a90370e.pdf
- Manos Unidas. (2021). ONG Manos Unidas | Causas del cambio climático. <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/causas-cambio-climatico>
- Márquez, A. (2008). Las energías renovables: características y tipos. https://www.consumoresponde.es/articulos/las_energias_renovables_caracteristicas_y_tipos
- Martinez. (2018). Energías solar pasiva: Ahorro gracias al Sol ? - La Energia Solar. <https://www.laenergiasolar.org/energia-solar-pasiva/>
- MERNNR. (2020). Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- Momentos Piscina. (2021). Momentos Piscina - Bomba Espasilen S 75 M. https://momentospiscina.com/es/bombas-piscina/bomba-espasilen-s-75-m-8421535149491_273
- Moreno, L. E., Palacios, J. C., Buenaño, L. F., & Barrera, O. B. (2019). Diagnóstico energético del sistema de calentamiento de agua en la piscina del Complejo de Natación Carlos Costales de la ciudad de Riobamba. Propuesta de alternativas de solución. Ciencia Digital, 3(2.6), 370–387. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/572/1373>
- Mukuna, J. G., & Gryzagoridis, J. (2020). The effect of different working fluids and internal geometries on the efficiency of evacuated tube heat pipe solar collectors. Journal of Energy in Southern Africa, 31(4), 16–25. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2020/V31I4A8480>
- Muñoz, A. (2020). Tecnologías y tipologías de paneles fotovoltaicos. <https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>
- National Geographic. (2020). Energía renovable para abastecer a todo el planeta. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/energia-renovable-para-abastecer-a-todo-planeta_11706
- NEC. (2020). Energías Renovables (ER). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-ER-Energ%C3%ADas-Renovables.pdf>
- Neira, M. (2013). INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/19420/TFM%20Marta%20Neira%20Artidie-llo.pdf?sequence=6&msclid=d-30c14e1cf2911ecb3230c96f47e92d3>
- NREL. (2018). System Advisor Model (SAM) General Description. www.nrel.gov/publications
- OLADE. (2020). Situación del consumo energético a nivel Mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y sus perspectivas. Olade, August. <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/06/Situacion-del-consumo-energetico-a-nivel-Mundial-y-para-America-Latina-y-el-Caribe-ALC-y-sus-perspectivas.pdf>
- OMM. (2019). Tiempo Clima Agua. 1–4. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5762
- ONU. (2015). Acuerdo de París. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- ONU. (2017). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. In Las Naciones Unidas y la mujer. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-com>

bustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible	ta_Disenio_Innovativo_V2_N2_2.pdf	les-solares	mo. Revista de Urbanismo, 0(12). https://revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/view/6220/6076	https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/12213/pdf	https://suelosolar.com/guiasolares/colectores_solares.asp
Our Word in Data. (2021). Installed solar energy capacity. https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-PFV-capacity	PENTAIR. (2019). UltraTemp High Performance Pool Heat Pump _ Pentair. https://www.pentair.com/en-us/products/residential/pool-spa-equipment/pool-heaters/ultratemp_high_performanceheatpump.html	PFVGIS. (2019). JRC Photovoltaic Geographical Information System (PF-VGIS) - European Commission. In Photovoltaic Geographical Information System. https://re.jrc.ec.europa.eu/PFVg_tools/en/#DR%0Ahttps://re.jrc.ec.europa.eu/PFVg_tools/es/#MR%0Ahttps://re.jrc.ec.europa.eu/PFVg_tools/es/#PFVP%0Ahttps://re.jrc.ec.europa.eu/PFVg_tools/en/tools.html#PFVP%0Ahttp://r	Roviras, J. (2013). Integración arquitectónica de colectores solares térmicos cerámicos para clima mediterráneo. TDX (Tesis Doctorals En Xarxa). http://www.tesisenred.net/handle/10803/336982	Serrano, R. (2017). TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS. https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/	SYGenergy. (2021). Energías Renovables. https://sygenergy.co/energias-renovables/
Our World in Data. (2019). Global fossil fuel consumption. https://ourworldindata.org/grapher/global-fossil-fuel-consumption?country=~OWID_WRL	Pentair. (2021). GUÍA DE INSTALACIÓN Y DEL USUARIO ULTRATEMP ETi® CALENTADOR HÍBRIDO. https://www.pentair.com/content/dam/extranet/nam/pentair-pool/residential/manuals/heaters/ultratemp-eti/ultratemp-eti-heater-manual-spanish.pdf	R	Roviras, J., Sarrablo, V., Casanovas-Rubio, M. D. M., & Armengou, J. (2016). Integración arquitectónica de colectores solares térmicos cerámicos para clima mediterráneo. Informes de La Construcción, 68(544), 350. https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5805/6700	Sflex. (2021). Photovoltaic Mounting Systems. 1–28. https://www.sflex.com/phocadownload/sflex_assemblyinstructions_stak-1-12_en.pdf	Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Kiehl, J. (2009). Climate and Earth's Energy Budget. In Bulletin of the American Meteorological Society (Vol. 90, Issue 3, pp. 311–323). https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page2.php#:~:text=At Earth's average distance from,m,most recent NASA satellite missions
Our World in Data. (2020). Fossil fuel consumption per capita, 2019. https://ourworldindata.org/grapher/fossil-fuels-per-capita	Planas, O. (2021). Colectores solares de tubos de vacío, tipos de captadores. https://solar-energia.net/energia-solar-térmica/colector-solar-termico/colectores-tubos-vacio	REVE. (2019). Eólica en Ecuador: Loja, gran potencial en recurso eólico y en radiación solar. https://www.evwind.com/2019/08/07/eolica-en-ecuador-loja-gran-potencial-en-recurso-eolico-y-en-radiacion-solar/	S	Solar Design. (2022a). The Georgia Tech Aquatic Center (pp. 1–37). http://solar design.com/portfolio/1996-summer-olympiCST/	Trinasolar. (2021). Vertex S Backsheet Monocrystalline Module. https://heliostategiaecuador.com/wp-content/uploads/2022/01/Datasheet_Trina-Solar_VerTEX-S_Mono-module_TSM-DE09.08_390-405W_2021_ENG-2-2.pdf
P	ProViento. (2021). Proviento_Energía Renovable Ecuador. https://proviento.com.ec/10-paneles-solares	Roldán, J. (2010). Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo. Revista Científica, 3(30), 263–277.	Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista Científica, 3(30), 263–277.	Solar Design. (2022b). Trinity - Harvard Square. http://solar design.com/portfolio/trinity-harvard-square/	V
Pacheco, T., Pérez, J., Lieberman, G., & Lozano, L. (2018). Revista del Diseño Innovativo Eficiencia en paneles solares Efficiency in solar panels. Marzo, 2(2), 9–21. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Diseno_Innovativo/vol2num2/Revis				Suelo solar. (2022). Estructura de captadores termicos. https://suelosolar.com/guiasolares/colectores_solares.asp	

Vaca, D., & Ordóñez, F. (2019). Atla Solar Ecuador. Scinergy, 30.
https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf

W

Weather Atlas. (2022). Cuenca, Ecuador - Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual.
<https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/cuenca-clima>

WINDFINDER. (2022). Estadísticas del viento y del tiempo Cuenca/Mariscal Lamar - Windfinder.
https://es.windfinder.com/windstatistics/cuenca_mariscal_lamar_aeropuerto

Z

Zalamea, E., & Quezada, F. (2017). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura - Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales. Revista de Arquitectura, 19, 22.
<https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/1018/>

pdf 07v2

Zalamea-Leon, E., Barragán-Escandón, E. A., Calle-Sigüencia, J., Astudillo-Flores, M., & Juella-Quintuña, D. (2021). Residential Solar Thermal Performance Considering Self-Shading Incidence between Tubes in Evacuated Tube and Flat Plate Collectors. Sustainability 2021, Vol. 13, Page 13870, 13(24), 13870. <https://doi.org/10.3390/SU132413870>

ANEXOS

Cálculo energético

Anexo 01: Cálculo de demanda energética para el calentamiento de las piscinas.

Piscina	Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Área m2	Volúmen m3	Temperatura °C	Diferencial °C	Demanda (kWh)
Olimpica	25	50	1.5	1250	1875	26	6	13,062.50
Clavados	15	15	7	225	1575	28	8	14,630.00
Niños	12	6	1	72	72	32	12	1,003.20
TOTAL					3522			28,695.70

Anexo 02: Cálculo de demanda energética basado en pérdidas por evaporación, radicación y reposición.

Piscina	Área m2	Volúmen m3	Temperatura °C	Perdidas por reposición (kW)	Perdidas por rad. y eva. (kW)	Demanda diaria (kWh)
Olimpica	1250	1875	26	130.63	234.00	364.63
Clavados	225	1575	28	146.30	45.63	191.93
Niños	72	72	32	10.03	17.19	27.23
TOTAL		3522		286.96	296.82	583.78

Anexo 03: Especificaciones técnicas bomba de calor Ultratemp Pentair

Potencia (salida)	BTU/hr	140,000.00
	KW	41
Eficiencia		5.8
KW (entrada)		7.1
Caudal máximo(lpm)		380
Caudal mínimo(lpm)		110

Anexo 04: Especificaciones técnicas CST ETC-20

Dimensiones (L*An*Al)	2005x1496x136 mm
Salida máxima	1342 w
Área	3.00 m2
Peso	63,5 Kilogramos
Tasa de flujo	1.4 l/min (max 15 l/min)
Presión máxima de funcionamiento	800 kPa / bares

Cálculo energético / Demanda energía “CST” y “PFV”

Anexo 05: Pérdidas de energía térmica basadas en el departamento de mantenimiento de las piscinas en kWh.

DEMANDA POR PÉRDIDAS TÉRMICAS			
TIEMPO	Volu- men m3	Dife- rencial °C	Deman- da (kWh)
Pérdidas dia- rias noctur- nas (12 hrs)	3 522	0.5	2 044.72
Pérdidas dia- rias (24 hrs)	3 522	1	4 089.43
Pérdidas en un fin de semana (48 hrs)	3 522	2	8 178.87
Pérdidas en tres días (72 hrs)	3 522	3	12 268.30
Pérdidas en cuatro días (96 hrs)	3 522	4	16 357.73

Anexo 06: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en CST.

DEMANDA ENERGÉTICA EN kWh (CST)		
MES	CALENTA- MIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE UN DIA	CALENTA- MIENTO INI- CIAL Y PÉRDI- DAS DE TRES DIAS
Enero	30 740.42	38 919.30
Febrero	30 740.42	38 919.30
Marzo	30 740.42	38 919.30
Abril	30 740.42	38 919.30
Mayo	30 740.42	38 919.30
Junio	30 740.42	38 919.30
Julio	30 740.42	38 919.30
Agosto	30 740.42	38 919.30
Sep- tiembre	30 740.42	38 919.30
Octubre	30 740.42	38 919.30
Noviem- bre	30 740.42	38 919.30
Diciem- bre	30 740.42	38 919.30
TOTAL	368 885.04	467 031.60

Anexo 07: Demanda energética total en kWh calculada para un día y tres días basada en PFV.

DEMANDA ENERGÉTICA EN kWh (PFV)		
MES	CALENTA- MIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE UN DIA	CALENTA- MIENTO INICIAL Y PÉRDIDAS DE TRES DIAS
Enero	7 603.20	9 676.80
Febrero	7 603.20	9 676.80
Marzo	7 603.20	9 676.80
Abril	7 603.20	9 676.80
Mayo	7 603.20	9 676.80
Junio	7 603.20	9 676.80
Julio	7 603.20	9 676.80
Agosto	7 603.20	9 676.80
Septiem- bre	7 603.20	9 676.80
Octubre	7 603.20	9 676.80
Noviem- bre	7 603.20	9 676.80
Diciem- bre	7 603.20	9 676.80
TOTAL	91 238.40	116 121.60

Anexo 08: Condiciones de funcionamiento de bomba de calor UltraTemp Pentair.

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO			
Ultra-Temp 140	27A-80HR-27W	27A-63HR-27W	10A-63HR-27W
Capacidad Btu/h (kW/h)	145,000 (41)	135,000 (39)	90,000 (26)
Rendimiento	5.80	5.60	4.00
Potencia de entrada (kW)	7.20	7.00	6.40
A: Temperatura del aire(°C)			
HR: Humedad relativa (%)			
W: Temperatura del agua (°C)			

Cálculo energético / Resultados análisis SAM CST

Anexo 09: Número de CST por inclinación y azimut

PANELES SOLARES POR INCLINACIÓN Y AZIMUT				
#	Inclinaciones	Altura(H)	Azimut 90°	Azimut 270°
			N° paneles	N° paneles
1	10	20.5	122	122
2	16	19.7	61	61
3	25	18.7	61	61
4	38	16.2	61	61
5	52	12.8	61	61
6	57	11.1	61	61
7	61	9.7	61	61
TOTAL POR AZIMUT			488	488
TOTAL			976	

Anexo 10: Producción mensual con CST, azimut 90°

PRODUCCIÓN AZIMUT 90°	
Meses	KWh-90°
Enero	144 400.00
Febrero	126 086.00
Marzo	132 345.00
Abril	128 349.00
Mayo	119 084.00
Junio	118 866.00
Julio	122 460.00
Agosto	133 735.00
Septiembre	131 163.00
Octubre	154 049.00
Noviembre	150 877.00
Diciembre	152 925.00
TOTAL	1 614 339

Azimut 90°

Anexo 11: Producción mensual con CST, azimut 270°

PRODUCCIÓN AZIMUT 270°	
Meses	KWh-270°
Enero	145 719.00
Febrero	128 211.00
Marzo	134 598.00
Abril	124 465.00
Mayo	126 103.00
Junio	113 431.00
Julio	123 177.00
Agosto	126 686.00
Septiembre	127 828.00
Octubre	138 191.00
Noviembre	130 758.00
Diciembre	148 081.00
TOTAL	1 567 248.00

Azimut 270°

Anexo 12: Producción mensual con CST, azimut 90° y 270°

PRODUCCIÓN MENSUAL			
MESES	KWh-90°	KWh-270°	TOTAL
Enero	144 400.0	145 719.0	290 119.0
Febrero	126 086.0	128 211.0	254 297.0
Marzo	132 345.0	134 598.0	266 943.0
Abril	128 349.0	124 465.0	252 814.0
Mayo	119 084.0	126 103.0	245 187.0
Junio	118 866.0	113 431.0	232 297.0
Julio	122 460.0	123 177.0	245 637.0
Agosto	133 735.0	126 686.0	260 421.0
Septiembre	131 163.0	127 828.0	258 991.0
Octubre	154 049.0	138 191.0	292 240.0
Noviembre	150 877.0	130 758.0	281 635.0
Diciembre	152 925.0	148 081.0	301 006.0
TOTAL	1 614 339.0	1 567 248.0	3 181 587.0

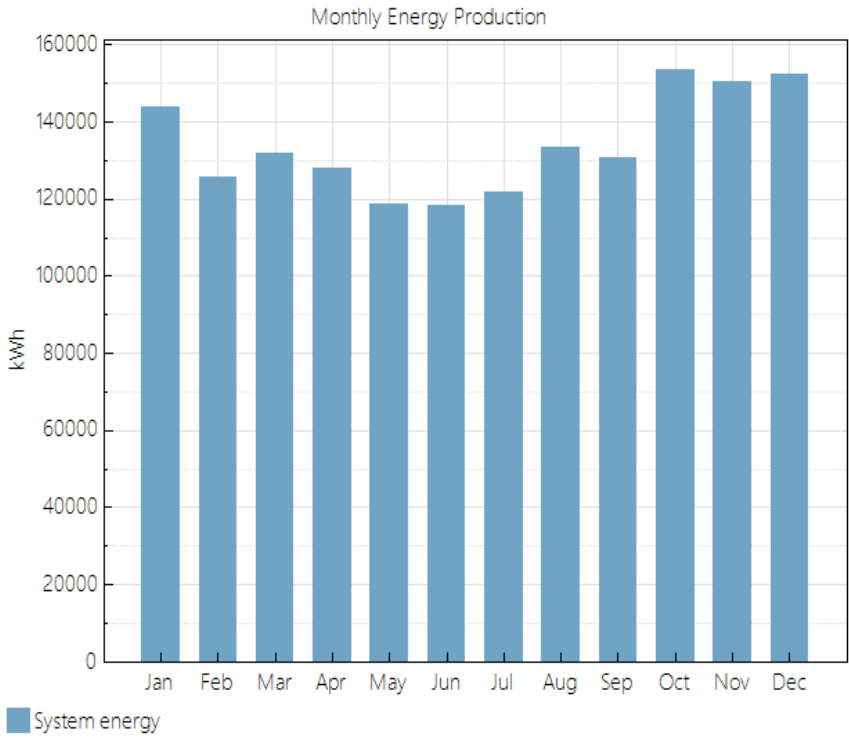
Anexo 13: Demanda - Producción en un día con CST

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA UN DIA			
MES	DEMANDA	PRODUC- CIÓN	%
Enero	30 740.42	9 358.68	30%
Febrero	30 740.42	9 082.04	30%
Marzo	30 740.42	8 611.06	28%
Abril	30 740.42	8 427.13	27%
Mayo	30 740.42	7 909.26	26%
Junio	30 740.42	7 743.23	25%
Julio	30 740.42	7 923.77	26%
Agosto	30 740.42	8 400.68	27%
Septiembre	30 740.42	8 633.03	28%
Octubre	30 740.42	9 427.10	31%
Noviembre	30 740.42	9 387.83	31%
Diciembre	30 740.42	9 709.87	32%
TOTAL	368 885.04	104 613.69	28%

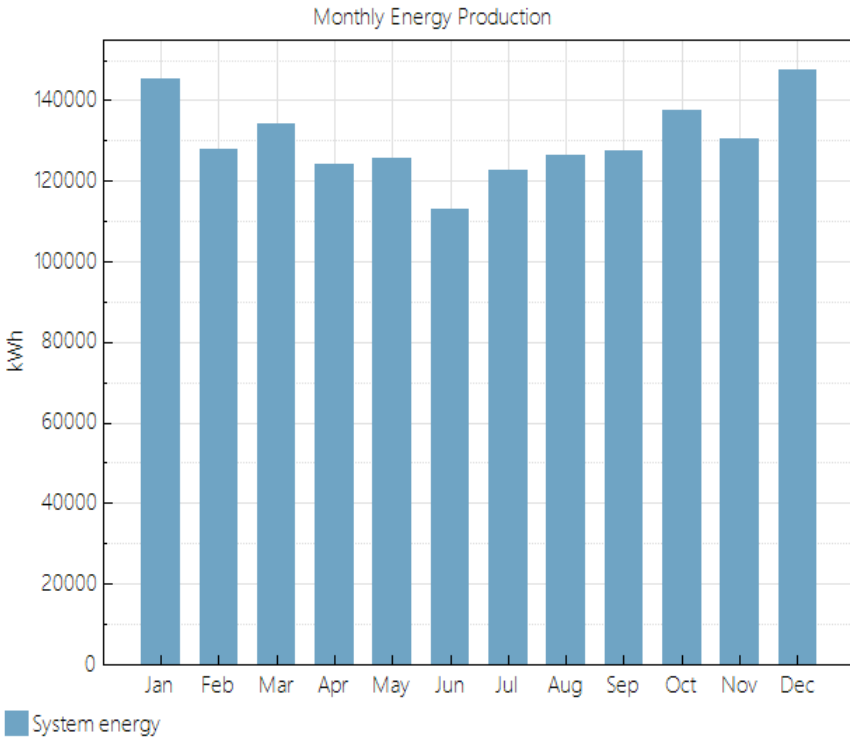
Anexo 14: Demanda - Producción en tres días con CST

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA TRES DIAS			
MES	DEMANDA	PRODUC- CIÓN	%
Enero	38 919.30	28 076.03	72%
Febrero	38 919.30	27 246.11	70%
Marzo	38 919.30	25 833.19	66%
Abril	38 919.30	25 281.40	65%
Mayo	38 919.30	23 727.77	61%
Junio	38 919.30	23 229.70	60%
Julio	38 919.30	23 771.32	61%
Agosto	38 919.30	25 202.03	65%
Septiembre	38 919.30	25 899.10	67%
Octubre	38 919.30	28 281.29	73%
Noviembre	38 919.30	28 163.50	72%
Diciembre	38 919.30	29 129.61	75%
TOTAL	467 031.60	313 841.07	67%

Cálculo energético / Resultados análisis SAM CST
Anexo 15: Resultado Azimut 90°



Anexo 16: Resultado Azimut 270°



Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

Anexo 17: Superficie de los PFV, y número de inversores por inclinación

Superficie de PFV							
	Orientación	Inclinaciones	Nº Paneles	Nº Inversores	Potencia del panel	Potencia total paneles	Area
1	90°	10	208	17	405	84240	399.36
2		16	104	9	405	42120	199.68
3		25	104	9	405	42120	199.68
4		29	52	5	405	21060	99.84
5		38	104	9	405	42120	199.68
6		43	52	5	405	21060	99.84
7		52	104	9	405	42120	199.68
8		57	104	9	405	42120	199.68
9		61	104	9	405	42120	199.68
1	270°	10	208	17	405	84240	399.36
2		16	104	9	405	42120	199.68
3		25	104	9	405	42120	199.68
4		29	52	5	405	21060	99.84
5		38	104	9	405	42120	199.68
6		43	52	5	405	21060	99.84
7		52	104	9	405	42120	199.68
8		57	104	9	405	42120	199.68
9		61	104	9	405	42120	199.68
	Área total		2016	162	7290	13646880	3594.24

Anexo 18: Superficie de los PFV

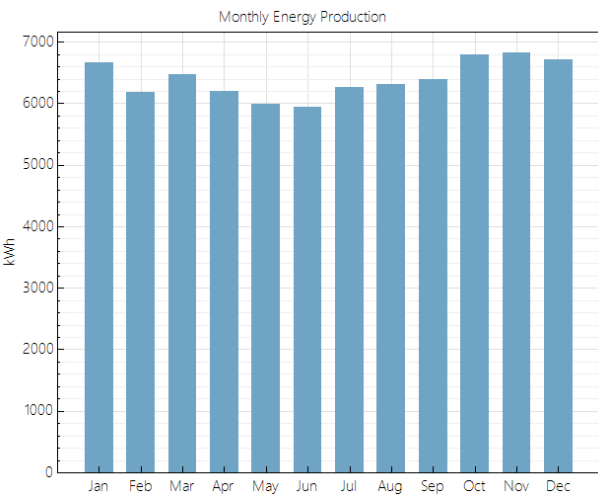
Superficie de PFV		
Orientación	Inclinaciones	Area
90°	10	399.36
	16	199.68
	25	199.68
	29	99.84
	38	199.68
	43	99.84
	52	199.68
	57	199.68
	61	199.68
270°	10	399.36
	16	199.68
	25	199.68
	29	99.84
	38	199.68
	43	99.84
	52	199.68
	57	199.68
	61	199.68

Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

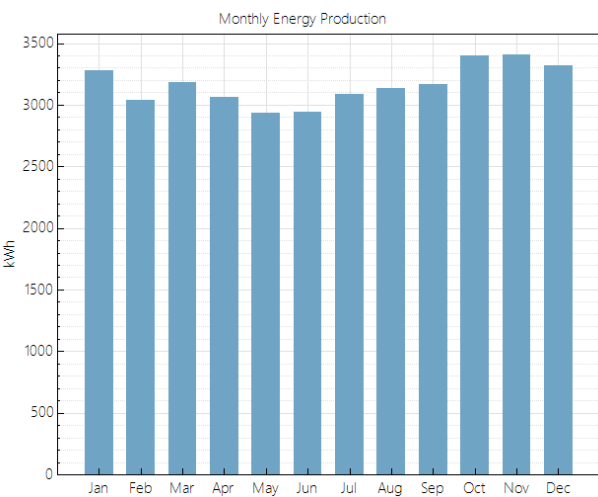
Anexo 19: Resultados obtenidos por inclinación y azimut de 90° de PFV

Azimut 90°										
Inclinación	10	16	25	29	38	43	52	57	61	Total
Meses	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh
Enero	9 500.11	4 676.07	4 524.36	2 219.90	4 229.38	2 045.49	3 833.10	3 673.53	3 547.62	38 249.56
Febrero	8 796.82	4 327.04	4 187.62	2 055.26	3 927.85	1 901.72	3 561.51	3 409.46	3 286.05	35 453.33
Marzo	9 180.37	4 519.83	4 366.85	2 142.54	4 078.05	1 973.03	3 704.66	3 557.84	3 444.97	36 968.14
Abril	8 830.02	4 369.23	4 247.45	2 091.91	4 001.94	1 945.01	3 661.25	3 524.65	3 415.95	36 087.41
Mayo	8 511.68	4 171.30	4 005.65	1 964.43	3 725.48	1 807.20	3 387.59	3 258.89	3 151.75	33 983.97
Junio	8 411.71	4 162.48	4 048.58	1 994.88	3 819.86	1 858.94	3 503.73	3 374.57	3 268.23	34 442.98
Julio	8 818.00	4 350.53	4 212.94	2 072.15	3 956.34	1 920.70	3 617.34	3 481.53	3 375.91	35 805.44
Agosto	8 886.70	4 418.75	4 331.52	2 142.26	4 141.97	2 024.34	3 852.76	3 724.81	3 620.22	37 143.33
Septiembre	9 053.97	4 480.39	4 368.99	2 157.74	4 150.98	2 023.77	3 826.41	3 695.98	3 586.63	37 344.86
Octubre	9 646.31	4 826.16	4 776.77	2 369.44	4 606.10	2 259.38	4 309.49	4 177.14	4 058.37	41 029.16
Noviembre	9 801.10	4 894.88	4 825.07	2 387.48	4 607.35	2 245.30	4 227.79	4 065.56	3 922.83	40 977.36
Diciembre	9 548.63	4 721.86	4 587.40	2 259.59	4 327.07	2 105.90	3 983.76	3 851.23	3 745.72	39 131.16
TOTAL	108 985	53 919	52 483	25 858	49 572	24 111	45 469	43 795	42 424	446 617

Anexo 20: Azimut 90° - Inclinación 10°

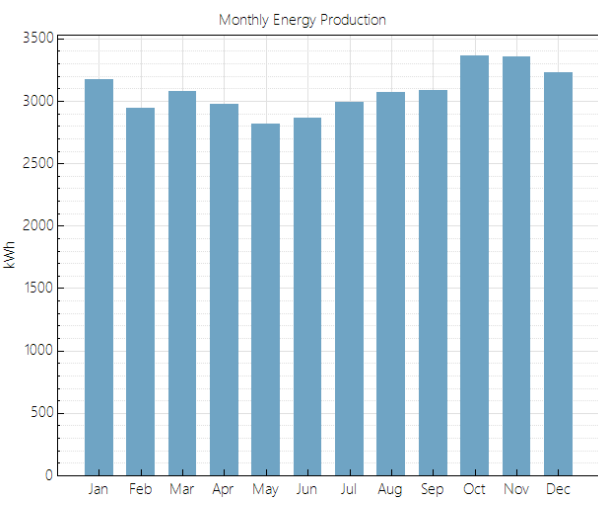


Anexo 21: Azimut 90° - Inclinación 16°

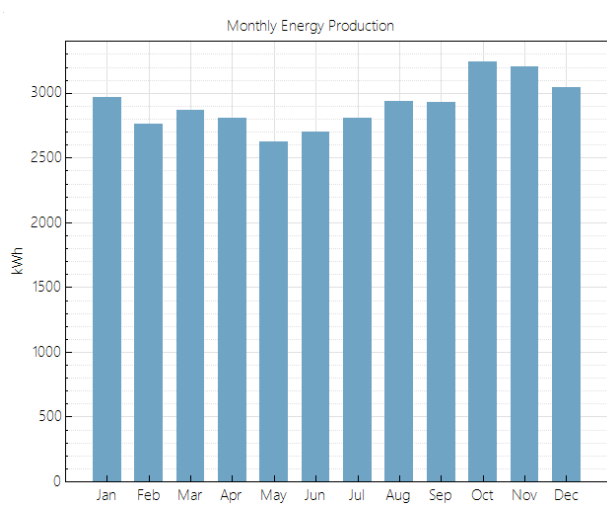


Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

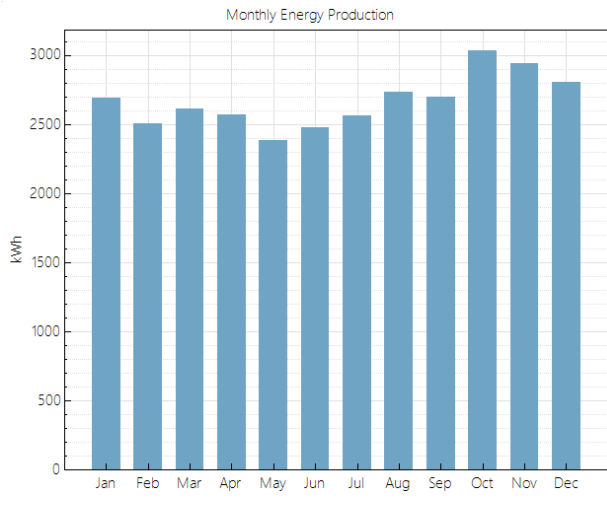
Anexo 22: Azimut 90° - Inclinación 25°



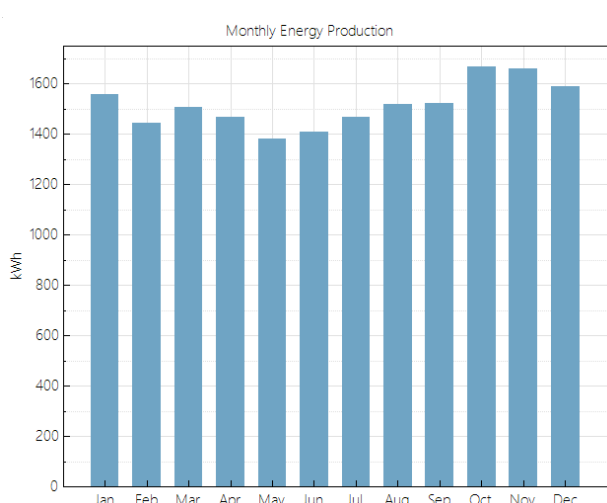
Anexo 24: Azimut 90° - Inclinación 38°



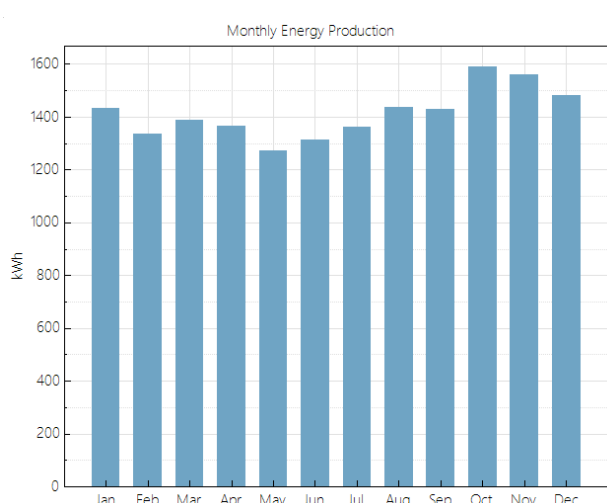
Anexo 26: Azimut 90° - Inclinación 52°



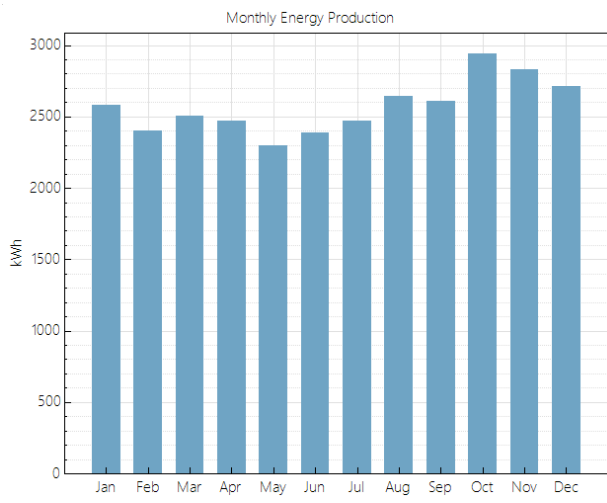
Anexo 23: Azimut 90° - Inclinación 29°



Anexo 25: Azimut 90° - Inclinación 43°



Anexo 27: Azimut 90° - Inclinación 57°

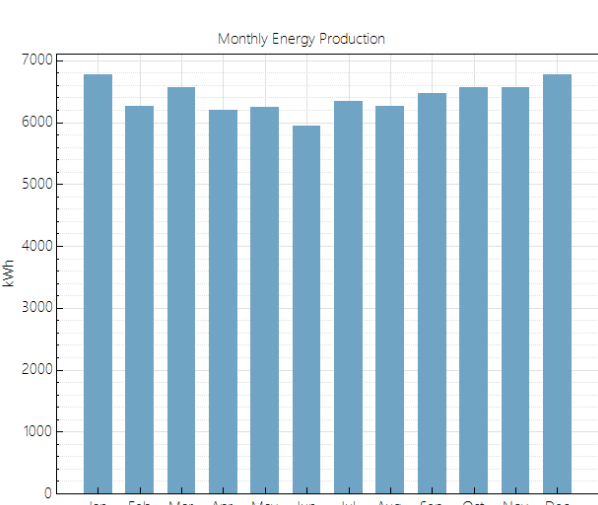


Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

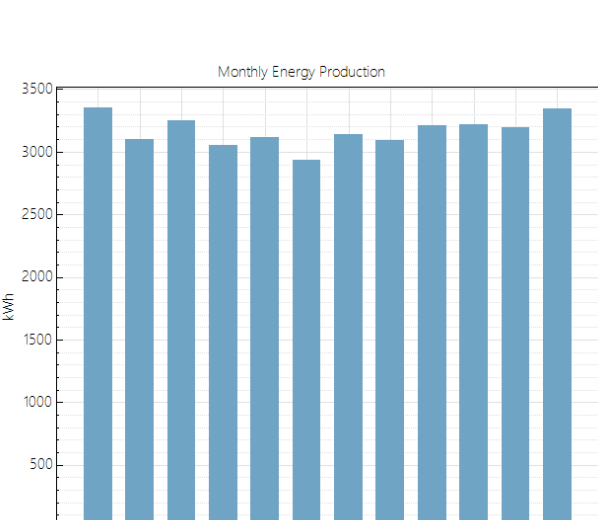
Anexo 28: Resultados obtenidos por inclinación y azimut de 270° de PFV

Azimut 270°										
Inclinación	10	16	25	29	38	43	52	57	61	Total
Meses	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh
Enero	9 641.04	4 772.97	4 650.51	2 287.01	4 378.78	2 122.95	3 993.29	3 836.01	3 706.64	39 389.20
Febrero	8 908.90	4 405.05	4 277.07	2 101.04	4 015.61	1 944.24	3 647.29	3 496.62	3 375.62	36 171.44
Marzo	9 306.76	4 606.13	4 485.80	2 206.17	4 230.29	2 053.38	3 875.36	3 731.66	3 614.20	38 109.75
Abril	8 819.42	4 346.62	4 208.20	2 063.65	3 934.81	1 904.78	3 579.34	3 439.91	3 323.38	35 620.11
Mayo	8 862.85	4 424.63	4 363.34	2 157.00	4 182.50	2 043.54	3 896.72	3 774.89	3 668.24	37 373.71
Junio	8 406.13	4 143.71	4 013.59	1 969.40	3 764.80	1 825.69	3 448.00	3 321.83	3 215.49	34 108.64
Julio	8 929.48	4 425.53	4 321.97	2 128.20	4 090.40	1 989.39	3 778.24	3 650.93	3 545.59	36 859.73
Agosto	8 820.88	4 351.54	4 231.72	2 080.19	3 988.96	1 937.83	3 672.39	3 546.57	3 441.36	36 071.44
Septiem-bre	9 150.12	4 534.34	4 431.75	2 182.77	4 197.93	2 043.80	3 872.71	3 743.83	3 631.89	37 789.14
Octubre	9 323.88	4 570.36	4 398.18	2 154.27	4 083.84	1 977.78	3 700.63	3 564.18	3 445.48	37 218.60
Noviem-bre	9 414.67	4 584.55	4 350.20	2 115.48	3 936.11	1 886.14	3 452.30	3 283.84	3 141.64	36 164.93
Diciem-bre	9 610.91	4 756.09	4 645.13	2 288.84	4 404.94	2 146.93	4 073.24	3 942.80	3 828.04	39 696.92
TOTAL	109 195.04	53 921.52	52 377.46	25 734.02	49 208.97	23 876.45	44 989.51	43 333.07	41 937.57	444 573.61

Anexo 29: Azimut 270° - Inclinación 10°

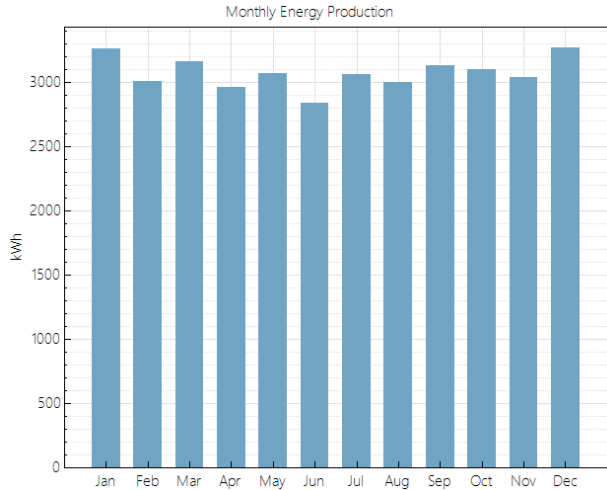


Anexo 30: Azimut 270° - Inclinación 16°

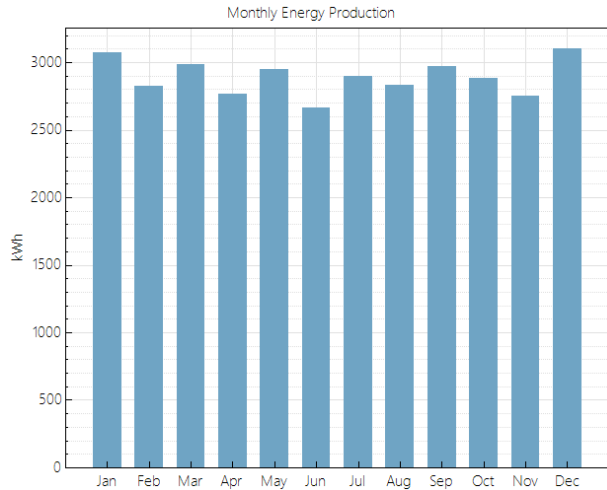


Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

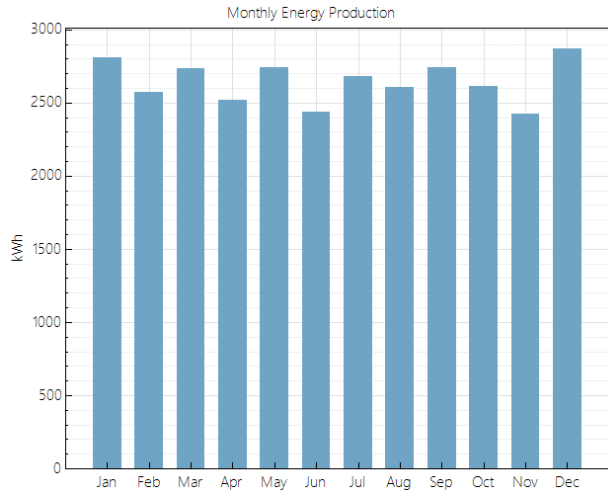
Anexo 31: Azimut 270° - Inclinación 25°



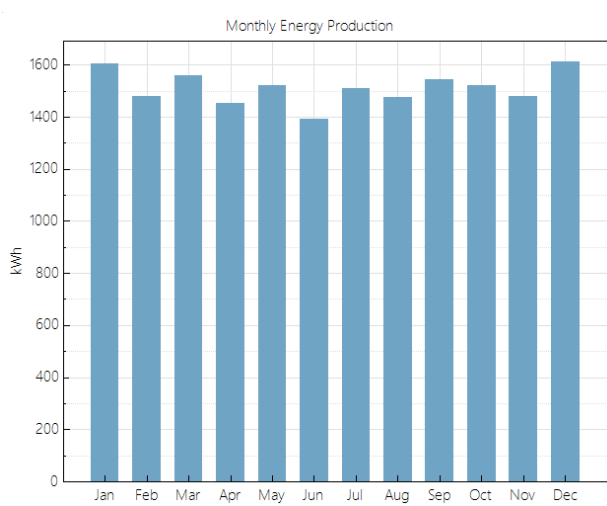
Anexo 33: Azimut 270° - Inclinación 38°



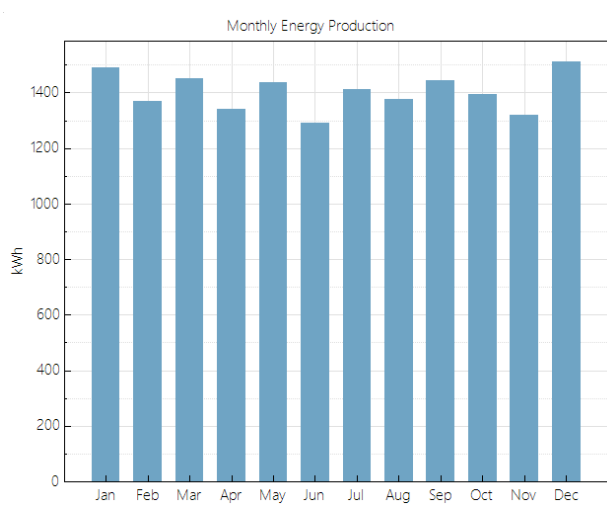
Anexo 35: Azimut 270° - Inclinación 52°



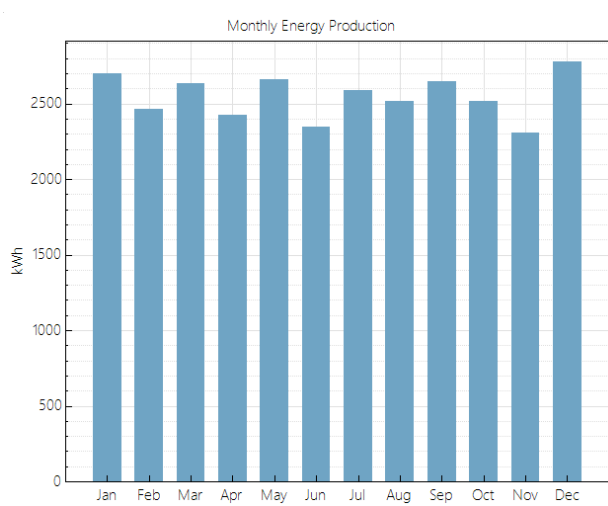
Anexo 32: Azimut 270° - Inclinación 29°



Anexo 34: Azimut 270° - Inclinación 43°



Anexo 36: Azimut 270° - Inclinación 57°



Cálculo energético / Resultados análisis SAM PFV

Anexo 37: Producción total de PFV

PRODUCCIÓN			
Meses	KWh-90°	KWh-270°	Total
Enero	38 249.56	39 389.20	77 638.76
Febrero	35 453.33	36 171.44	71 624.77
Marzo	36 968.14	38 109.75	75 077.89
Abril	36 087.41	35 620.11	71 707.52
Mayo	33 983.97	37 373.71	71 357.68
Junio	34 442.98	34 108.64	68 551.62
Julio	35 805.44	36 859.73	72 665.17
Agosto	37 143.33	36 071.44	73 214.77
Sep-tiembre	37 344.86	37 789.14	75 134.00
Octu-bre	41 029.16	37 218.60	78 247.76
No-viembre	40 977.36	36 164.93	77 142.29
Diciem-bre	39 131.16	39 696.92	78 828.08
TOTAL	446 617	444 574	891 190

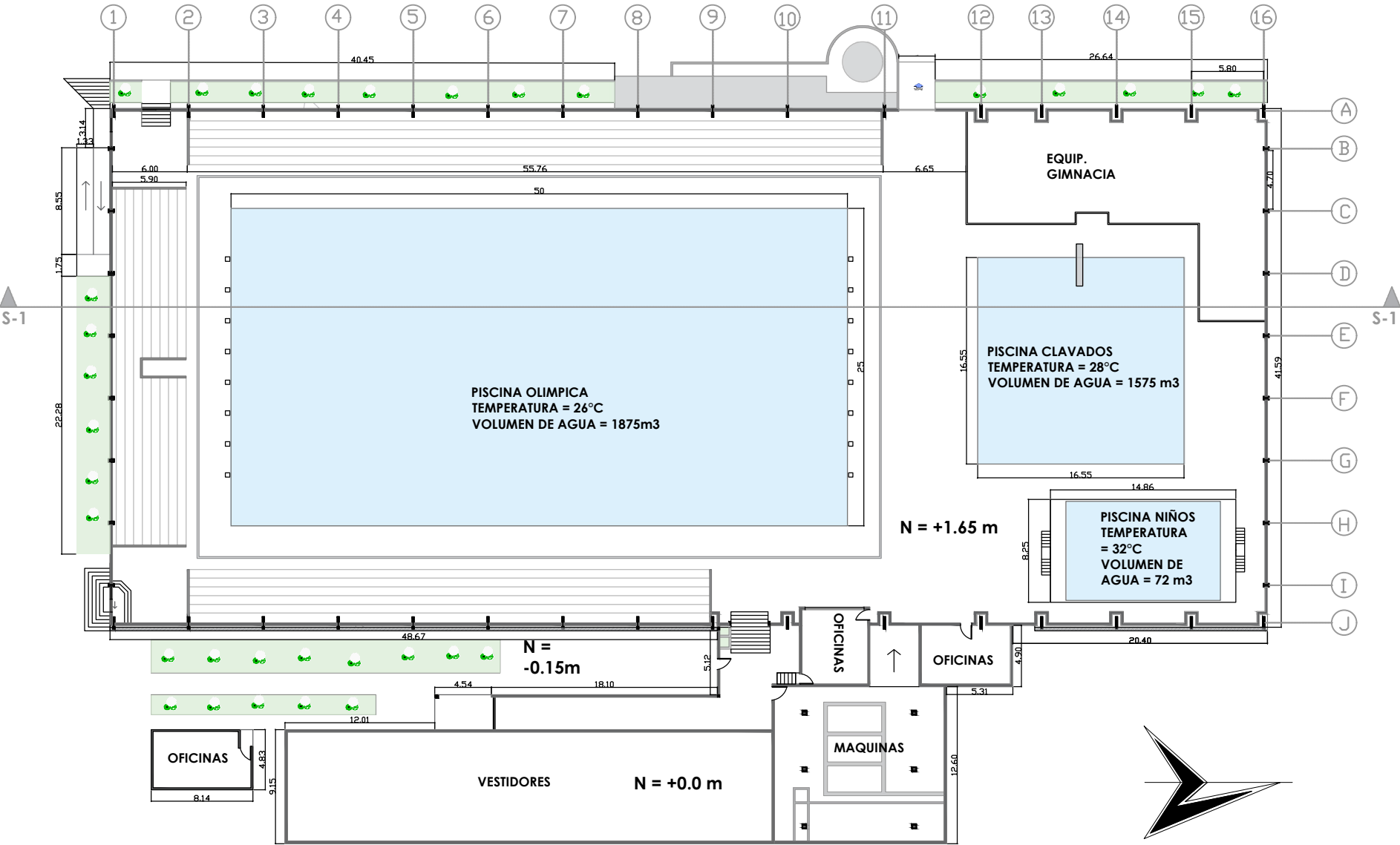
Anexo 38: Demanda - producción en un día con PFV.

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA UN DÍA			
MESES	DEMAN-DA	PRODUC-CIÓN PFV	%
Enero	7 603.20	2 504.48	33%
Febrero	7 603.20	2 558.03	34%
Marzo	7 603.20	2 421.87	32%
Abril	7 603.20	2 390.25	31%
Mayo	7 603.20	2 301.86	30%
Junio	7 603.20	2 285.05	30%
Julio	7 603.20	2 344.04	31%
Agosto	7 603.20	2 361.77	31%
Septiem-bre	7 603.20	2 504.47	33%
Octubre	7 603.20	2 524.12	33%
Noviem-bre	7 603.20	2 571.41	34%
Diciem-bre	7 603.20	2 542.84	33%
TOTAL	91 238.40	29 310.18	32%

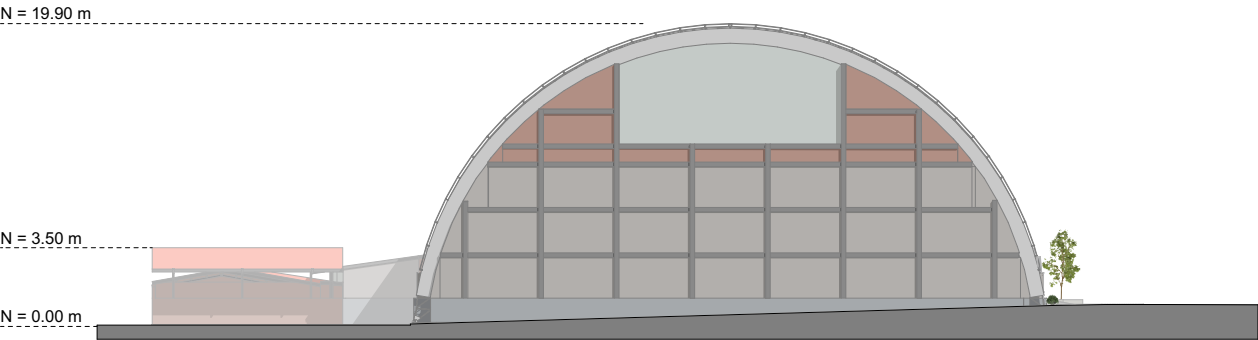
Anexo 39: Demanda - producción en tres días con PFV.

DEMANDA-PRODUCCIÓN PARA TRES DÍAS			
MESES	DEMAN-DA	PRODUC-CIÓN PFV	%
Enero	9 676.80	7 513.43	78%
Febrero	9 676.80	7 674.08	79%
Marzo	9 676.80	7 265.60	75%
Abril	9 676.80	7 170.75	74%
Mayo	9 676.80	6 905.58	71%
Junio	9 676.80	6 855.16	71%
Julio	9 676.80	7 032.11	73%
Agosto	9 676.80	7 085.30	73%
Septiem-bre	9 676.80	7 513.40	78%
Octubre	9 676.80	7 572.36	78%
Noviem-bre	9 676.80	7 714.23	80%
Diciem-bre	9 676.80	7 628.52	79%
TOTAL	116 121.60	87 930.54	76%

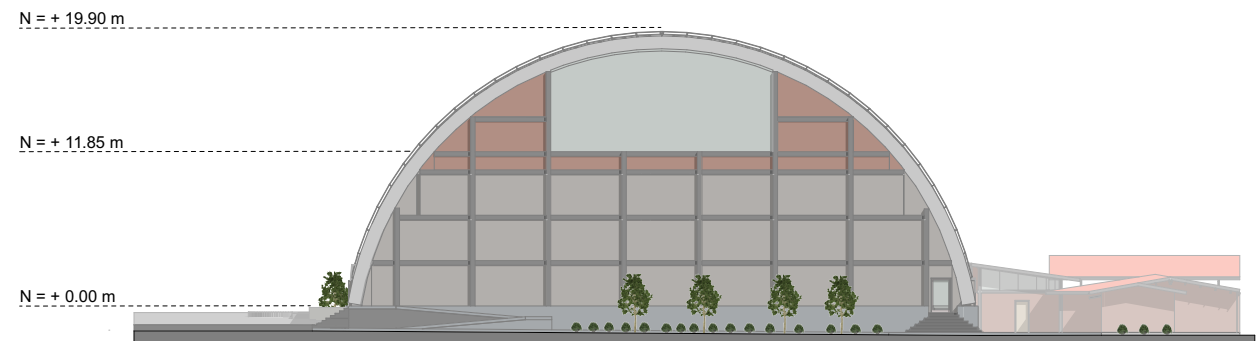
Levantamiento Arquitectónico



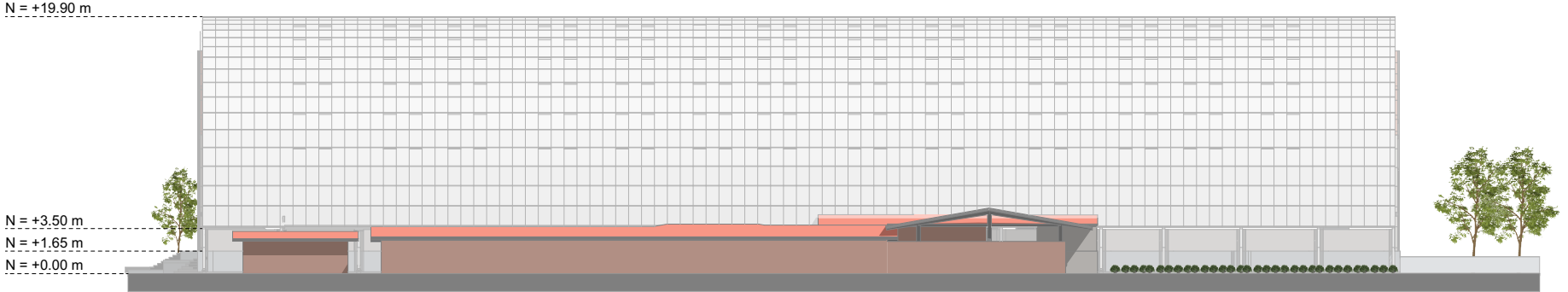
Anexo 40: PLANTA ÚNICA
Esc: 1:450



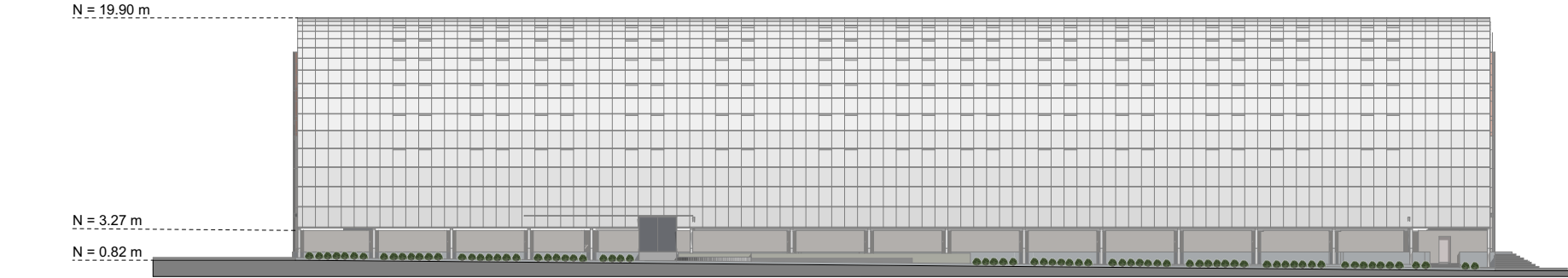
Anexo 41: ELEVACIÓN NORTE
Esc: 1:500



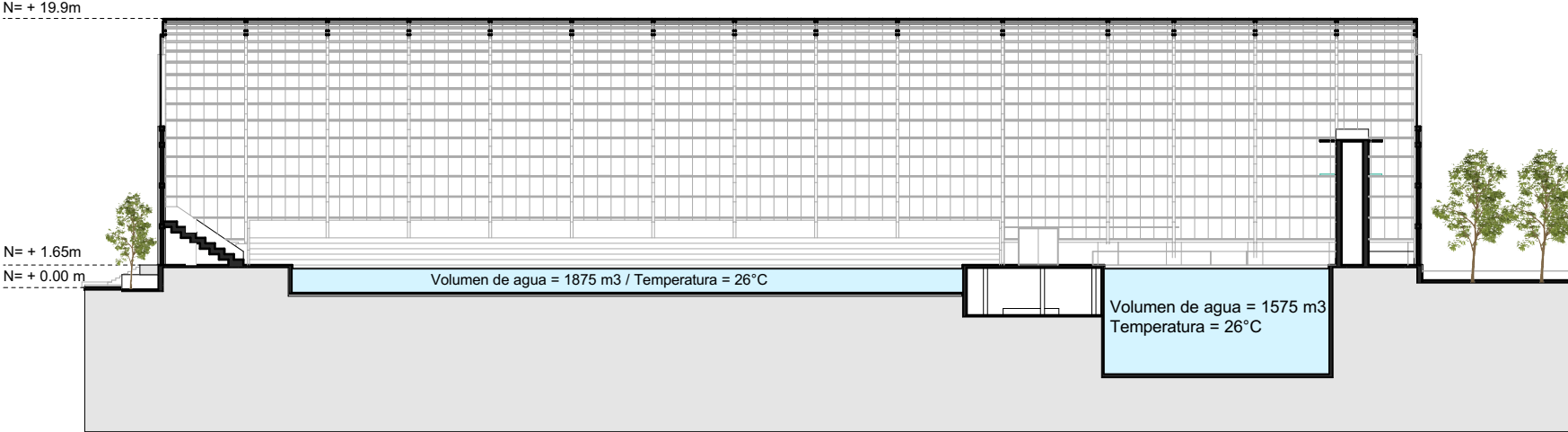
Anexo 42: ELEVACIÓN SUR
Esc: 1:500



Anexo 43: ELEVACIÓN ESTE
Esc: 1:500



Anexo 44: ELEVACIÓN OESTE
Esc: 1:500



Anexo 45: ELEVACIÓN OESTE
Esc: 1:500