

# Potencial Solar en techumbres de los edificios del Campus Central de la Universidad de Cuenca y sus implicancias arquitectónicas

Trabajo previo a la obtención del título de Arquitecto



Universidad de Cuenca  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Autores:

Fabián Mauricio Durán Guambaña  
Pablo Javier Vazquez Campoverde

Tutor:

Esteban Felipe Zalamea León

Cuenca-Ecuador | 19 Octubre 2022



# UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Carrera de Arquitectura

Potencial Solar en techumbres de los edificios del Campus Central de la Universidad de Cuenca  
y sus implicancias arquitectónicas

*Trabajo previo a la  
obtención del título de Arquitecto*

**Autores:**

Fabián Mauricio Durán Guambaña  
CI: 0106625106  
fabian.duranarq@gmail.com  
Pablo Javier Vazquez Campoverde  
CI: 0104545306  
pablovazquez0802@gmail.com

**Tutor:**

Arq. Esteban Felipe Zalamea León, PhD  
CI: 0102125952

Cuenca-Ecuador

19 Octubre 2022

## Resumen

El cambio climático y el calentamiento global han sido consecuencia de la producción de energía a través de combustibles fósiles a lo largo de todos estos años. Por lo tanto, surge la necesidad de incluir en las edificaciones y contextos urbanos sistemas de energía renovable. El Ecuador, al igual que el resto de países en desarrollo, se encuentra en un proceso de incremento en consumo energético, además el uso de sistemas de energía renovable se enfoca primordialmente en las hidroeléctricas las cuales provocan afecciones al medio natural, pese a que las condiciones climáticas de ciudades ecuatoriales andinas poseen características adecuadas para alcanzar un margen significativo de autogeneración *in situ*.

Involucrar a las instituciones educativas en el uso de energías renovables puede crear oportunidades de aprendizaje a través de la experiencia para los futuros profesionales y ciudadanos. Por lo antes mencionado

este trabajo tiene como objetivo determinar el potencial solar en las techumbres de los edificios del campus central de la Universidad de Cuenca. Con ese fin, se planteó emplear en las cubiertas tecnologías fotovoltaicas y solar térmicas, para alcanzar la máxima producción energética y analizar los niveles de integración arquitectónica.

Para ello se realizó: la recolección de datos de demanda energética a partir de las planillas mensuales de consumo eléctrico, gas licuado de petróleo y diésel. Luego se analizó el emplazamiento, el estado actual de los faldones y cubiertas planas de los edificios; después, con la ayuda de la tecnología BIM se obtiene el área de ocupación teórica de las tecnologías solares, luego se simula la producción energética que podría alcanzarse con la radiación medida en el año 2019 por medio de herramientas informáticas, finalmente se determinó los niveles de la integración arquitectónica.

El campus central de la Uni-

versidad de Cuenca en el 2019 consumió 1,776,136.84kWh, además, el Centro de Recreación y Deporte de la Universidad de Cuenca (CREDU) registró un consumo de 43,100.20 kg de GLP y 3,045.79 galones de Diésel en ese mismo año lo que equivale a 554,509.00kWh por lo que se estima que se genera un total de 871.77 tn de CO<sub>2</sub>.

Los resultados obtenidos muestran que es posible autoabastecer el 96.03 % de la demanda energética con 3,077 paneles fotovoltaicos de 400WP y 125 colectores solares, distribuidos en 13 edificaciones ocupando el 25.03% del área total de techumbre. En cuanto a los niveles de integración arquitectónica se alcanza una superposición que guarda relación en dimensión y aspecto con las cubiertas.

**Palabras clave:** Energía solar. Fotovoltaicos. Solar térmicos. Cubierta solar. Autoabastecimiento energético.

## Abstract

Climate change and global warming have been a consequence of the production of energy through fossil fuels throughout all these years. Therefore, there is a need to include renewable energy systems in buildings and urban contexts. Ecuador, like other developing countries, is in a process of increasing energy consumption, and the use of renewable energy systems focuses primarily on hydroelectric plants, which cause environmental damage, despite the fact that the climatic conditions of equatorial Andean cities have adequate characteristics to achieve a significant margin of self-generation *in situ*.

Involving educational institutions in the use of renewable energies can create experiential learning opportunities for future professionals and citizens. For the aforementioned reasons, this work aims to determine the solar potential of the roofs of the buildings of the central campus of the University of Cuenca. To this end, it was proposed to use photovoltaic and solar thermal

technologies on the roofs to achieve maximum energy production and to analyze the levels of architectural integration.

To this end, data on energy demand was collected from monthly electricity, liquefied petroleum gas, and diesel consumption sheets. Then the location and the current state of the buildings' skirts and flat roofs were analyzed; then, with the help of BIM technology, the theoretical occupancy area of the solar technologies was obtained, then the energy production that could be achieved with the radiation measured in 2019 was simulated by means of computer tools, and finally the levels of architectural integration were determined.

The central campus of the University of Cuenca in 2019 consumed 1,776,136.84kWh, in addition, the Center for Recreation and Sports of the University of Cuenca (CREDU) recorded a consumption of 43,100.20 kg of GLP and 3,045.79 gallons of Diesel in the same year which is equivalent to 554,509.00kWh so it is estimated that

a total of 871.77 t of CO<sub>2</sub> is generated.

The results obtained show that it is possible to self-supply 96.03% of the energy demand with 3,077 photovoltaic panels of 400WP and 125 solar collectors, distributed in 13 buildings occupying 25.03% of the total roof area, with regard to the levels of architectural integration, an overlapping that is related in size and appearance with the roofs is achieved.

**Keywords:** Solar energy. Photovoltaic. Solar thermal. Solar roof. Energy self-supply.

## INDICE

## CAPÍTULO 1

1.1 Introducción	18
Planteamiento de la Investigación	20
1.2 Problemática	20
1.3 Hipótesis	22
1.4 Objetivos	23
1.4.1 Objetivo General	23
1.4.2 Objetivos Específicos	23
1.5 Metodología	24

## CAPÍTULO 2

2.1 Marco Legal y Normativo	28
2.1.1 Normas Internacionales	28
2.1.1.2 Normativa en Latinoamérica	29
2.1.2 Normas Nacionales	30
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)	30
Plan Maestro de Electricidad (PME):	30
Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE)	30
Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL	30
Regulación ARCERNNR 001/2021	31
Regulación ARCERNNR 002/2021	31

Norma Ecuatoriana de la Construcción - Energías Renovables (NEC-HS-ER)	31
2.2 Radiación Solar e Incidente	32
2.2.1 Radiación solar	32
2.2.2 Radiación incidente	32
2.3 Demanda y consumo energético: Electricidad, GLP y Diesel.	32
2.4 Autoabastecimiento energético y Sustentabilidad.	36
2.4.1 Energías Renovables	36
2.4.2 Autoabastecimiento energético.	36
2.4.3 Sustentabilidad	37
2.5 Estrategia de captación solar	38
2.5.1 Energía Solar	38
2.5.2 Arquitectura Bioclimática y estrategias solar pasivas.	38
2.5.3 Captación Solar Activa	39
Solar fotovoltaica	39
2.5.4 Energía solar térmica	41
2.6 Integración morfológica.	42
2.6.1 Colectores simplemente colocados	42
2.6.2 Colectores superpuestos en edificación	43
2.6.3 Colectores Integrados	43
2.7 Casos de Estudios	44
2.7.1 Uso de Fotovoltaicos en Instituciones Educativas.	44
2.7.1.2 Campus de Dayton.	46
2.7.1.3 Universidad Nacional Pukyong	47

Integración morfológica de fotovoltaicos en Instituciones Educativas	48
2.7.1.4 Instituto Jacobs para la Innovación en el Diseño	48
2.7.1.5 Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership	49
2.7.1.6 Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente	50
2.7.1.7 Centro cultural para las Artes Mason	51
2.7.2 Uso de energía solar térmica	52
2.7.2.1 Municipio de Archena, España	52
2.7.2.1 Calefacción de piscinas en el estadio Pancretan, Creta, Grecia	53
2.8 Introducción a las Tecnologías de Simulación.	54
2.8.1 Solar Advisor Model (SAM)	54
2.8.2 SunPath 3D	55

## CAPÍTULO 3

3.1 Análisis de Sitio	58
3.2 Evaluación Geométrica de cubiertas	61
3.3 Análisis de sombra de las techumbres de los edificios del Campus Central	74
3.4 Consumo y Demanda Energética	82

## CAPÍTULO 4

## Potencial Solar del Campus Central de la Universidad de Cuenca

4.1 Análisis, Simulaciones y Resultados	90
4.1.1 Requerimientos y parámetros para el diseño PV	90
4.1.1.1 Orientación e inclinación	90
4.1.1.2 Sombras	90
4.1.1.3 Temperatura y ventilación	90
4.1.1.4 Suciedad	90
4.1.1.5 Mantenimiento	91
4.1.1.6 Aspectos Constructivos	91
4.2 Descripción de la tecnología a utilizar	92
4.2.1 Panel monocristalino SPR-A400-BLK	92
4.2.3 Colector Solar plano FKT-2W horizontal	93
4.3 Rediseño de cubiertas según tecnologías solares.	94
4.3.1 Panel SPR-A400-BLK	94
4.3.2 Estructura de soporte y anclaje de paneles solares.	95
4.4 Simulación y rendimiento de paneles solares y colectores solares.	102
4.4.1 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 1.	104

4.4.2 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 2.	106
4.4.4 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 4.	110
4.4.5 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 5.	112
4.4.6 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 6.	114
4.4.7 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 7.	116
4.4.8 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 8.	118
4.4.9 Simulación y rendimiento de colectores solares del CRELU.	120
4.4.10 Demanda y producción del campus central de la Universidad de Cuenca	122
4.5 Implicaciones Arquitectónicas.	124
4.5.1 Impacto visual al entorno inmediato	128
4.5.2 Percepción estética del sistema energético solar	134
4.5.3 Niveles de integración arquitectónica de las tecnologías	140
4.6 Análisis Financiero	150
4.6.1 Análisis de paneles fotovoltaicos	150
4.6.2 Análisis de paneles colector solar	152

## CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones	156
5.2 Recomendaciones	158
5.3 Referencias Bibliográficas	162

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Fabián Mauricio Durán Guambaña en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**POTENCIAL SOLAR EN TECHUMBRES DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA Y SUS IMPLICANCIAS ARQUITECTÓNICAS**", 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.

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.

Cuenca, 19 de octubre de 2022



\_\_\_\_\_  
Fabian Mauricio Durán Guambaña  
C.I: 0106625106

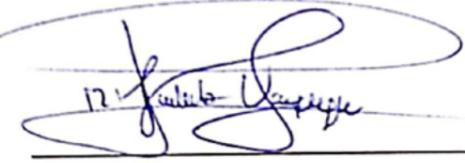
## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Pablo Javier Vázquez Campoverde en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**POTENCIAL SOLAR EN TECHUMBRES DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA Y SUS IMPLICANCIAS ARQUITECTÓNICAS**", 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.

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.

Cuenca, 19 de octubre de 2022



\_\_\_\_\_  
Pablo Javier Vázquez Campoverde  
C.I: 0104545306

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Fabián Mauricio Durán Gaumbaña autor del trabajo de titulación "POTENCIAL SOLAR EN TECHUMBRES DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA Y SUS IMPLICANCIAS ARQUITECTÓNICAS" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 19 de octubre de 2022



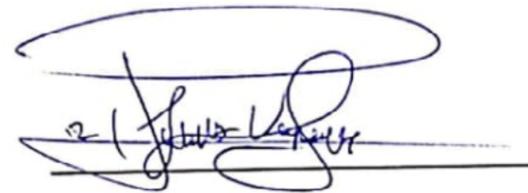
Fabián Mauricio Durán Gaumbaña  
C.I: 0106625106

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Pablo Javier Vázquez Campoverde autor del trabajo de titulación "POTENCIAL SOLAR EN TECHUMBRES DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA Y SUS IMPLICANCIAS ARQUITECTÓNICAS" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 19 de octubre de 2022



Pablo Javier Vázquez Campoverde  
C.I: 0104545306

## Acrónimos

**ACS:** Agua Caliente Sanitaria

**ARCERNNR:** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables

**ARCONEL:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad

**BIM:** Modelado de información para la construcción

**CO<sub>2</sub>:** Dioxido de carbono

**CSTs:** Solar térmicos

**CREDU:** Centro de Recreación y Deporte de la Universidad de Cuenca

**DNI:** radiación normal directa

**DHI:** radiación horizontal difusa

**GAD:** Gobierno autónomo descentralizado

**GHI:** radiación global horizontal

**GLP:** Gas licuado de petróleo.

**GN:** Gas Natural

**IDEA:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

**IEA:** Agencia Internacional de la Energía

**IRENA:** Agencia Internacional de las Energías Renovables

**Kwh:** Kilovatio hora

**MEER:** Ministerio de Electricidad y Energías Renovables.

**NREL:** National Renewable Energy Laboratory.

**ODS:** Objetivos del Desarrollo Sostenible

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas

**PLANEE:** Plan Nacional de Eficiencia Energética

**PME:** Plan Maestro de Electricidad

**PPA:** (Power Purchase Agreement por sus siglas en inglés)

**PVs:** fotovoltaicos

**SAM:** System Advisor Model.

**SVG:** Gráficos vectoriales escalables

**tn:** Tonelada

**TFUE:** Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea

**UE:** Union Europea

**Dedicado a:**

Esta tesis la dedico a mis padres **Huilmer y Ana** Por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años y a mis hermanos Wilmer, Andrea y Samara por su incondicional apoyo.

También la dedico de manera especial a mis abuelos **Luis, Imelda, Aurelio y Teresa** por su cariño y su deseo de verme alcanzar mis sueños.

A mi tía **Carmen** por los consejos y sabiduría que me impartió lo que me permitió llegar hasta aquí, aunque no estén conmigo siento que este momento hubiera sido tan especial para ellos como lo es para mí.

**Pablo**

A mi angel **María de Jesús**

Por enseñarme el valor del sacrificio, la dedicación, la constancia y hacer de mí un hombre de bien, ¡te amo infinito mamá!

A mi familia en especial a mis tios **Carlos y Angelita** por brindarme el calor de su hogar.

**Fabián**

**Agradecimiento a:**

De manera especial a nuestro director de tesis el **Arq. Esteban Zalamea** por el apoyo y la guía a lo largo este trabajo.

A la Dirección de Planificación Física y Obras Menores, al CREU y al Arq Andrés Cárdenas por la ayuda brindada.

CAPÍTULO  
01

## 1.1 Introducción

La producción de energía a través de combustibles fósiles y de recursos no renovables ha generado un impacto negativo en el ambiente. El sector de la construcción representa aproximadamente el 36% del consumo energético y el 39% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (IEA & UNEP, 2018). Con el fin de hacer frente a este problema se ha hecho necesario recurrir a distintas fuentes energéticas alternativas para solventar la creciente demanda energética, así surge la necesidad de incluir en las edificaciones y contextos urbanos sistemas de energía renovable como lo es la energía solar.

Este trabajo surge para promover en climas ecuatoriales andinos proyectos orientados a la investigación de energía renovable dentro de instituciones educativas. En el caso del campus central de la Universidad de Cuenca, el recurso solar viene tomando fuerza como un elemento que contribuye a la sostenibilidad y reducción del consumo energético, debido a que las condiciones climáticas de la ciudad poseen características adecuadas para alcanzar un

margen de autogeneración significativo a través de sistemas de energía renovables.

Para este estudio se considera el año 2019 puesto que no está influenciado por la pandemia del Covid-19, en este año la operabilidad del campus central de la Universidad de Cuenca generó una demanda energética de 1,776,136.84 kWh, además, el Centro de Recreación y Deporte de la Universidad de Cuenca (CREDU) registró un consumo de 43,100.20 kg de GLP y 3,045.79 galones de Diesel en ese mismo año. Para cubrir dicha demanda es necesario determinar el potencial solar del campus central de la Universidad de Cuenca.

Para lograr el objetivo planteado el trabajo se dividió en cinco capítulos. En el presente capítulo se plantea la introducción, problemática, hipótesis, objetivos y la metodología aplicada; en el capítulo dos se revisa un marco teórico sobre la demanda energética en el Ecuador, también, se revisa normativa nacional e internacional y los sistemas de energía seleccionados.

Luego, se estudian las estrategias de diseño, se analiza las tecnologías solares activas y casos de estudio. En el capítulo tres se establece 8 grupos de edificaciones y se analiza el estado actual del área de estudio: ubicación, áreas y evaluación geométrica de cubiertas, además, se realiza un estudio de incidencia de sombra en los faldones y cubiertas planas de techumbre, finalmente se analiza demanda energética del campus. En el capítulo cuatro se presentan parámetros y pautas de diseño para fotovoltaicos y solar térmicos, luego se describen las tecnologías a utilizar y el rediseño de cubiertas según las mismas; posterior a esto se presentan los resultados de las simulaciones y se los compara con la demanda energética, por consiguiente se analiza la integración morfológica de los sistemas en las edificaciones, el último apartado de este capítulo es el análisis financiero de los PVs y CSTs para determinar su factibilidad. Para finalizar en el capítulo cinco se presenta las respectivas conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

# Planteamiento de la Investigación

## 1.2 Problemática

A lo largo del tiempo, el ser humano ha concebido a la naturaleza como fuente proveedora de bienes y servicios. Esta concepción ha dado lugar a una extracción desmedida de recursos naturales hasta sobrepasar los límites de reposición natural a causa del crecimiento poblacional a nivel mundial (Haddad et al., 2015). Por lo tanto, se ha hecho necesario recurrir a distintas fuentes energéticas para solventar esta creciente demanda y afrontar problemáticas de interés global (IRENA, 2020). La producción de energía a través de combustibles fósiles y de recursos no renovables ha alterado el clima del planeta e impactado negativamente en el ambiente. El sector de la construcción representa

el 36% del consumo energético y el 39% de las emisiones CO<sub>2</sub> (IEA & UNEP, 2018).

Por lo antes mencionado, se requiere buscar energías alternativas. En esta investigación se propone incluir en las edificaciones y contextos urbanos sistemas de energía renovable como lo es la energía solar, que está adquiriendo una importancia en el mundo a tal punto que podría sustituir el uso de los recursos fósiles que eventualmente desaparecerán. Ciertamente, la tendencia mundial a la integración energética y a la eficiencia de los edificios está muy avanzada en la inclusión de paneles fotovoltaicos (PVs) y solar térmicos (CSTs) (Velasco et al., 2017). La integración de sistemas PVs ha crecido rápidamente y seguirá aumentando su participación en la producción de energía renovable (Zomer et al., 2020). Por esta razón, existe una necesidad apremiante de que los arquitectos se involucren en este campo. Cabe anotar que el creciente uso de sistemas PVs y CSTs en los edificios plantea grandes desafíos en los entornos construidos existentes,

especialmente cuando la calidad arquitectónica es un problema. El gran tamaño de los sistemas solares a escala de edificios requiere una planificación cuidadosa, ya que pueden afectar ambientalmente a contextos construidos (Munari Probst & Roecker, 2019).

Ecuador, al igual que el resto de países en desarrollo, se encuentra en un proceso de incremento del consumo energético de combustibles fósiles, lo que afecta significativamente en la emanación de gases de efecto invernadero (Zalamea-León et al., 2017). El país ha recurrido principalmente a la construcción de hidroeléctricas como fuentes de energía renovable, sin embargo, su presencia está en discusión: se debate su limpieza, su seguridad y si realmente respeta el medio ambiente, puesto que la construcción de las centrales hidroeléctricas afectan grandes cantidades de agua dulce en comparación con otras fuentes renovables que posibilitan el autoaprovisionamiento (Vacca-Jiménez et al., 2019).

Además, la construcción y ocupación de hidroeléctricas provoca grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, lo que, desde la perspectiva ambiental, afecta al ecosistema del entorno, ya que modifica de forma radical las condiciones del medio (Sánchez & Yacoub, 2015). A todo ello se debe agregar el coste elevado de la construcción, mantenimiento y de los sistemas de transmisión de electricidad que requieren tales equipamientos (Bult & Özcan, 2021).

En el país están planificadas centrales hidroeléctricas de gran potencia para alcanzar un abastecimiento eléctrico de hasta el 93 % (Ponce-Jara et al., 2018), pero, por circunstancias de dimensionamiento, esto no se ha concretado. Según el Plan Maestro de Electricidad (2017), el país posee 71 hidroeléctricas en funcionamiento, 11 proyectos que están en proceso de construcción y 9 proyectos con título habilitante.

La demanda de energía eléctrica entre 2009 y 2019 experimentó un crecimiento del 71.8 %, mientras que el

consumo del gas licuado de petróleo (GLP) creció durante el mismo período en un 29.5 % (MEER, 2017). En el caso de la ciudad de Cuenca, el consumo de energía incremento el 3.6 % per cápita en el periodo 2008 y 2015 (Barragán, 2018).

En el campus central de la Universidad de Cuenca se ha determinado que las principales actividades productoras de CO<sub>2</sub> son, de manera directa, la combustión de GLP, diésel y gasolina por otro lado, de manera indirecta, el consumo de energía eléctrica (Illescas, Muentes, 2019). La operabilidad de la universidad genera una alta demanda energética: en 2019 consumió 1,776,136.84 kWh (Centrosur), y el CREDU registró un consumo de 43,100.20 kg de GLP y 3,045.79 galones de diésel para mantener las condiciones óptimas de temperatura en la piscina.

Debido a la falta de información, tecnologías, y empoderamiento social (Zalamea-León et al., 2017) existen pocos proyectos dentro de las instituciones educativas orientados a

investigación de energía renovable en la región andina ecuatorial. En el caso del campus central, el recurso solar viene tomando fuerza como un elemento que contribuye a la sostenibilidad y reducción del consumo energético, el campus central cuenta con una superficie de techo de 26,470.0 m<sup>2</sup> en donde recae 44,032,845.0kWh de radiación pues la ciudad de Cuenca posee un promedio anual de radiación de 1,663.0kWh/m<sup>2</sup> (Solargis, 2017).

En consecuencia, es una oportunidad el analizar y medir el potencial solar de las edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca para dimensionar la posibilidad de autogeneración de energía. Al mismo tiempo, esto puede impactar positivamente a nivel económico, ambiental y académico, ya que la integración de energía solar en el campus es una alternativa significativa que debe difundirse entre los estudiantes, la sociedad en general y alcanzar en buena medida la autosuficiencia energética y la reducción de gastos por concepto de compra de energía.

### 1.3 Hipótesis

El potencial solar fotovoltaico y solar térmico en las techumbres de las edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca permite reducir la dependencia del aprovisionamiento energético externo en una proporción significativa sin que tal implementación dé lugar a una afectación arquitectónica, ambiental o funcional.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 Objetivo General

Calcular el potencial solar de las techumbres de las edificaciones emplazadas en el campus central de la Universidad de Cuenca.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar el área adecuada en las techumbres de los edificios existentes en el campus central de la Universidad de Cuenca para la instalación de paneles solares fotovoltaicos y colectores solares térmicos.
- Analizar las implicancias arquitectónicas de los sistemas de captación solar en el campus central de la Universidad de Cuenca.
- Realizar simulaciones que permitan detectar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos y solares térmicos.
- Evaluar la capacidad de auto-generación energética.

## 1.5 Metodología

Con el propósito de determinar la capacidad solar de las edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca, se obtuvo información del consumo energético del año 2019 y planos arquitectónicos de sus edificaciones. Posteriormente, con la herramienta BIM Archicad de Graphisoft®, se reconstruyó volumétricamente el área de estudio. Para el despliegue de los sistemas PVs, se decidió usar el formato típico de placas de sílice monocristalino, y para el sistema CSTs, el colector solar plano. Con la herramienta vectorial de textura o *hatch* del BIM, se estableció el margen de ocupación de PVs y CSTs en cada uno de los faldones y cubiertas planas para determinar las superficies de captación para colectores y las condiciones de inclinación y orientación. Para determinar la afectación por sombras, se utilizó la herramienta SunPath3D, sin embargo, se consideró una ocupación de PV en la totalidad de superficies de techumbre, a pesar de que por horas se encuentren zonas sombreadas, anotando que al transcurrir el día, todas las superficies reciben irradiación directa, como

ocurre en la latitud ecuatorial (debido a que las oscilaciones climáticas estacionales son mínimas) (Marín et al., 2018).

En el análisis virtual se obtuvo la superficie de PVs disponible en distintas orientaciones e inclinaciones. Con base en ello, fue factible determinar el rendimiento eléctrico a través del software SAM® (NREL, 2020) a partir del modelo y archivo climático validado localmente. Las simulaciones efectuadas detectaron el rendimiento global de toda una posible instalación PVs y CSTs en producción horaria y establecer comparaciones de producción-demanda anual, mensual y en días característicos y extremos, según máxima y mínima irradiación. Y, por último, se expuso la integración morfológica de los sistemas solares en la edificación mediante fotomontajes.

Es conveniente aplicar esta metodología y adaptarla al contexto del campus central de la Universidad de Cuenca, y así, determinar el potencial solar del campus para contribuir a la investigación de sistemas renovables

de energía, además de alentar e inspirar a las instituciones de educación superior al uso de estos sistemas.

CAPÍTULO  
02

# Bases Teóricas

## 2.1 Marco Legal y Normativo

El abordaje del tema del desarrollo sostenible se inició en la Conferencia sobre el Medio Humano de las Naciones Unidas (Estocolmo 1972), la primera vez que a nivel mundial se manifestó la preocupación por la problemática ambiental global. Esta iniciativa se consolidó en la Conferencia de Río 1992, la Cumbre de la Tierra, cuando el desarrollo sostenible fue también el tema central del debate. Más tarde, en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en New York en 2015, ratificó esas preocupaciones, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, celebrada en Quito en octubre de 2016, se reforzó el compromiso global con la urbanización sostenible (Chavarro et al., 2017).

### 2.1.1 Normas Internacionales

#### 2.1.1.1 Parlamento Europeo

La legislación Europea relativa a la promoción de las energías renovables estableció en 2009 el objetivo de una cuota del 20 % de energías renovables en el consumo de energía total de la Unión a más tardar en 2020. En 2018 acordó que este objetivo fuera del 32 % para 2030.

#### Base jurídica y objetivos

El artículo 194 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE) deja percibir que su política energética pretende fomentar el desarrollo de fuentes energéticas alternativas y renovables. (Parlamento Europeo, 2020).

#### Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo

El artículo 32, apartado 2, garantiza la participación efectiva y

no discriminatoria de todos los participantes en el mercado, incluidos quienes ofrezcan energía procedente de fuentes renovables (PARLAMENTO EUROPEO & CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 2019).

#### Real Decreto de Autoconsumo 900/2015 en España

En España, el Real Decreto de Autoconsumo 900/2015 determinó que el autoconsumo y los acuerdos de compra y venta de energía (PVs) están estrechamente relacionados. Entre los requerimientos de esta norma, se destaca; firmar contratos de acceso con la red de distribución en que la potencia instalada no podrá ser superior a la contratada. En el caso de que el consumidor fuera autosuficiente, no estaría expuesto a esta normativa.

En el artículo 7, apartado 1 de la misma ley, se regula que los excedentes energéticos de la instalación pueden verterse a las redes siempre y cuando cumplan con las condiciones

establecidas por las redes de distribución y transporte (Ministerio de Industria Energía Turismo, España, 2015)

#### 2.1.1.2 Normativa en Latinoamérica

En Chile, la ley 20.571 de la Generación Distribuida normó que los usuarios o clientes finales sujetos a fijación de precios serán quienes dispongan para su propio consumo de equipamiento de generación de energía eléctrica por medios renovables, y tendrán derecho a inyectar los excedentes de energía y con ello podrían generar energía para la red de distribución a través de los respectivos empalmes. La capacidad instalada no debe superar los 100 kilowatts.

En Argentina, la Ley Nro. 27.424 de Generación Distribuida, Art 1º., tiene por objeto fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para generar energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establece la obligación de

los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicios.

## 2.1.2 Normas Nacionales

La Constitución de la República del Ecuador (2008), entre sus articulados, estipula la promoción y uso de las energías renovables:

El Artículo 15 señala que el Estado promueve “en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanza en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afecta el derecho al agua”.

### Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)

Es el ente rector del sector eléctrico ecuatoriano y de la energía renovable, responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, ha formulado una normativa, planes de desarrollo y políticas sectoriales con el fin de aprovechar de manera eficiente de sus recursos. Entre los planes elaborados se pueden nombrar el Plan Maestro de Electrici-

dad (PEM) y el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) (Correa Álvarez et al., 2016).

### Plan Maestro de Electricidad (PME):

Es el instrumento de planificación que contiene los objetivos, políticas, metas, estrategias, planes, programas y proyectos para la expansión de la generación, la transmisión, la distribución/ comercialización y el alumbrado público. El fin es abastecer la demanda con criterios de eficiencia, seguridad, confiabilidad, calidad, responsabilidad social y ambiental en la prestación del servicio público de energía eléctrica (PME, 2017b).

### Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE)

Fomenta la sustitución de combustibles y fuentes de energía con alto impacto ambiental por otros con bajo o sin contenido de carbono incluyendo fuentes de energía (PLANEE, 2017).

### Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL

Este organismo emitió la Regulación Nro. ARCONEL-003/18 “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica” para la generación PVs y autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica. El plan establece los aspectos que los consumidores deben cumplir en relación con la implementación del sistema, la autorización y disposición comercial de la energía consumida y los excedentes resultantes en el sistema de distribución (ARCONEL, 2018).

Cabe recalcar que este organismo en 2020 se reemplazó por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR).

### Regulación ARCERNNR 001/2021

Se refiere a un marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. Establece las disposiciones para el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de sistemas de generación distribuida basados en fuentes de energía renovable para el autoabastecimiento de consumidores regulados (ARCERNNR, 2021a).

### Regulación ARCERNNR 002/2021

Se refiere al Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación. Establece las condiciones técnicas y comerciales a cumplirse con respecto al desarrollo y operación de centrales de generación distribuida, de propiedad de empresas que sean habilitadas por el Ministerio Rector para ejecutar la actividad de generación (ARCERNNR, 2021b).

### Norma Ecuatoriana de la Construcción - Energías Renovables (NEC-HS-ER)

El objetivo principal consiste en conseguir que una parte del consumo energético proceda de fuentes de energía renovable como consecuencia de las características de construcción, uso y mantenimiento de su proyecto, en función de la previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización, mediante la incorporación de mecanismos y sistemas de captación, almacenamiento y utilización de fuentes de energías renovables.

## 2.2 Radiación Solar e Incidente

### 2.2.1 Radiación solar

La radiación solar incide sobre la Tierra con distinto grado en función de la latitud geográfica, época del año y hora del día. La radiación fuera de la atmósfera es constante, sin embargo, al atravesar la atmósfera terrestre parte de esta radiación es absorbida y otra es direccionada. La radiación normal directa (DNI) es aquella que atraviesa la atmósfera sin interactuar con ella, mientras que la radiación horizontal difusa (DHI) es aquella que ha sido redireccionada por la atmósfera; la suma de estos componentes se conoce como Radiación Global Horizontal (GHI) (Vaca et al., 2019).

### 2.2.2 Radiación incidente

Se conoce como radiación solar incidente a la radiación que, al entrar a la atmósfera, ha encontrado cualquier obstáculo que incide en toda o parte de su energía. Existen dos factores de incidencia: (a) la pérdida de intensidad de la radiación por el ángulo de incidencia sobre la superficie; y (b) la inclinación del sol respecto a la Tierra, que produce que el espesor del filtro atmosférico sea mayor; la radiación pierde intensidad cuando el sol está más inclinado sobre la superficie terrestre, lo que provoca las variaciones diarias, anuales y latitudinales en la irradiación (Izquierdo & Pacheco, 2017).

## 2.3 Demanda y consumo energético: Electricidad, GLP y Diesel.

La tendencia de crecimiento de emisiones es mayor en países en vías de desarrollo. Las ciudades ocupan el 3% de la superficie de la Tierra y producen entre el 70% y el 80% de los gases de efecto invernadero como consecuencia de la alta demanda energética, que sobrepasa los dos tercios de las necesidades energéticas mundiales (Keirstead et al., 2012).

En Ecuador, la proyección poblacional para 2050 es de 23,377,412 millones de personas (INEC, 2012), este crecimiento poblacional tendrá como consecuencia un incremento de emisiones significativo, si no existe un cambio sustancial en el tipo de fuente de energía.

En el país la demanda energética se incrementó en un 36.2% durante el período de 2009-2019. El 49.2 % de la demanda provino del sector del transporte, el 14% del sector industrial y resi-

dencial y el 13.4 % de otros sectores. El 98.3 % de la energía consumida por el sector de transporte provino de diésel y gasolina, en el sector industrial la electricidad fue la fuente de mayor uso, con el 48.6 %, seguido por el diésel con 17.2 %. En el sector comercial y servicio público, la electricidad y el diésel se constituyeron en las fuentes energéticas de mayor demanda, con el 60.2 % y 31.3 % respectivamente. Por último, en el sector residencial el mayor consumo energético provino del GLP con el 52.1% del total, seguido por la electricidad con el 37.4 % (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019) (ver Gráfico 1).

Cuenca, en el año 2014 generó 89,200.0 tn de emisiones contaminantes de las cuales el mayor responsable es el sector del transporte y la industria. En el año 2015 la ciudad de Cuenca requirió un consumo per cápita de 40.33 GJ/habitante/año o lo que equivale a 11,205.49 kWh. Este consumo es mayor que el promedio ecuatoriano de 35.44 GJ/habitante/año, lo que corresponde a una tasa

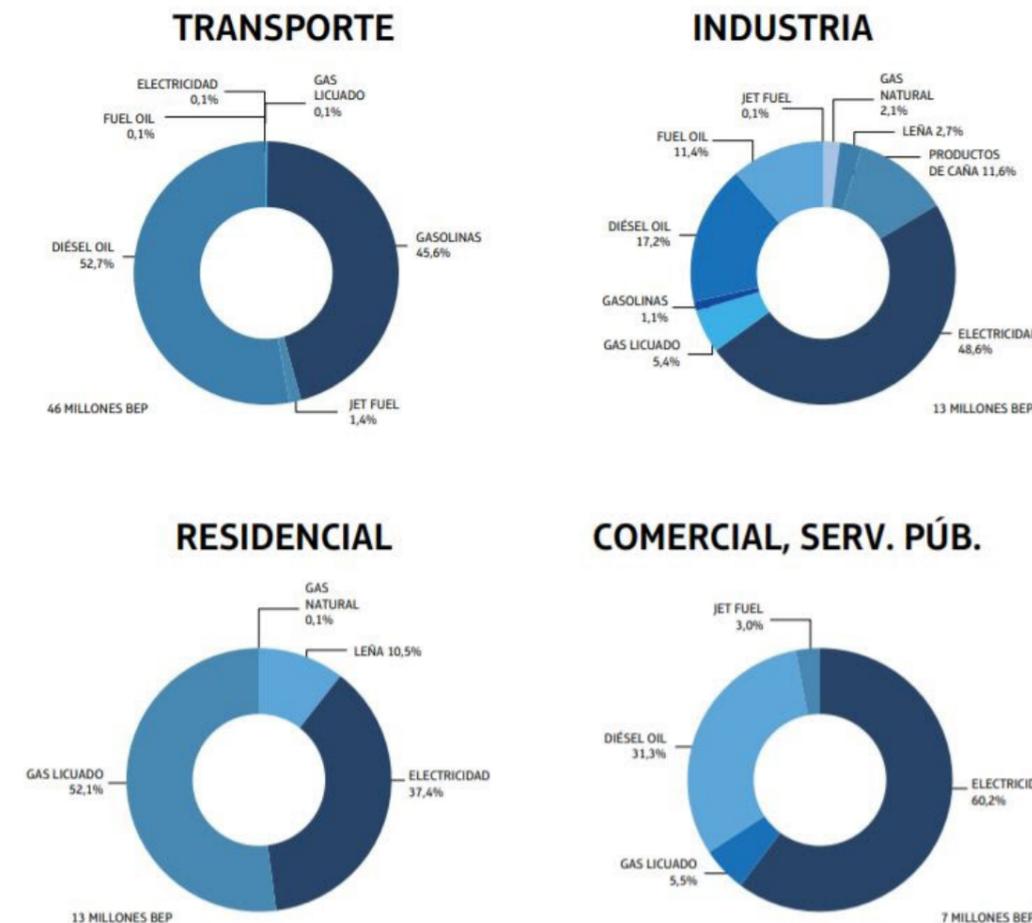


Gráfico 1 Consumo de energía por fuente (%)

Fuente: Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2019. Elaboración: Instituto de Investigación Geológica y Energético - IIGE.

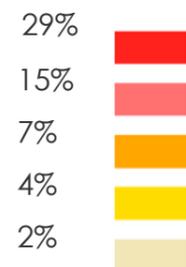
de incremento de 3.6 % (Ver Gráfico 2). Este consumo de energía está básicamente influenciado por el sector del transporte que representa el 60 % del consumo total de energía, seguido por el 20.76 %, 13.72 % y 3.15 % de la industria, residencial y comercial, respectivamente.

Las principales fuentes de energía son los combustibles fósiles (gasolina 36.25 %, diésel 29.05 %, 14.81 % GLP, 8.04 % fueloil y 2.19 % GN), mientras que la electricidad aporta el 10 %. Esta estructura es similar al consumo del país (MERNNR, 2019).

En el 2019, el Campus Central de la Universidad de Cuenca tubo un consumo energético total de 2,330,645.70kWh, para el consumo eléctrico se utilizó el factor de emisión equivalente a 0.41 tn de CO<sub>2</sub> por MWh (CENACE, 2018), así mismo se identificó el factor de emanación por kilogramo de gas es 3.19 kgCO<sub>2</sub> y por galón de diesel 10.85 kgCO<sub>2</sub> (Illescas Mauricio; Muentes Josselyn, 2019), lo que generó un total 871,771.26 kg de CO<sub>2</sub>. Los edificios con mayor porcentaje de emisiones son: el Teatro, Administración y Biblioteca con un 29% los cuales comparten medidor, luego el

CREDU con un 15%, al igual que las Facultades de Ingeniería, Ciencias Químicas y el Laboratorio de suelos, del mismo modo que los bloques anteriores comparten un medidor. Por otro lado, la facultad de Arquitectura genera el 2% de emisiones, esta facultad posee un medidor exclusivo de la misma manera que la Facultad de Filosofía B y Monjas, las emisiones de CO<sub>2</sub> que generan son del 4% y 3% respectivamente (ver Imagen 1).

**Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>**



**Imagen 1** Emisiones CO<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa CentroSur y CREDU.

**Gráfico 2:** Demanda de energía en Cuenca urbana

Fuente: El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador 2018. Elaborado: Barragán Antonio.

**Demanda de energía en Cuenca urbana**

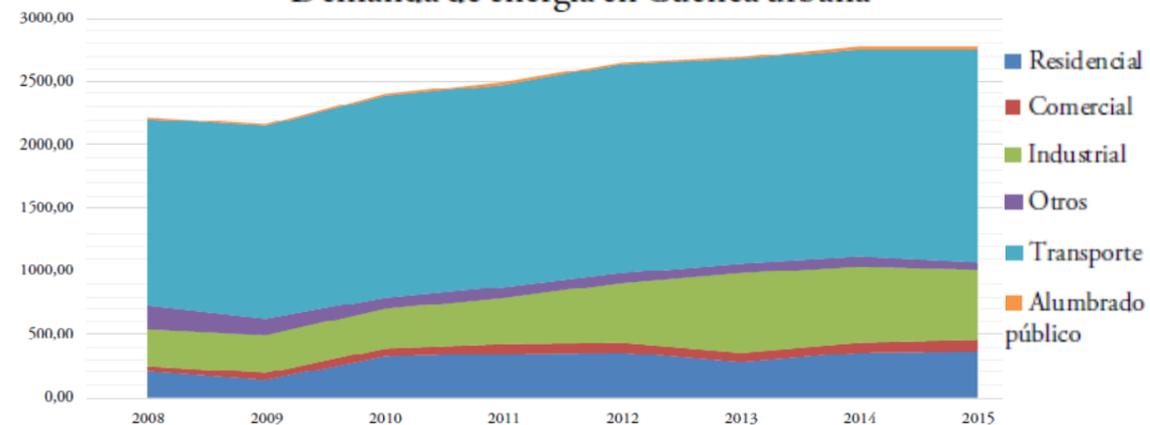


Gráfico 2

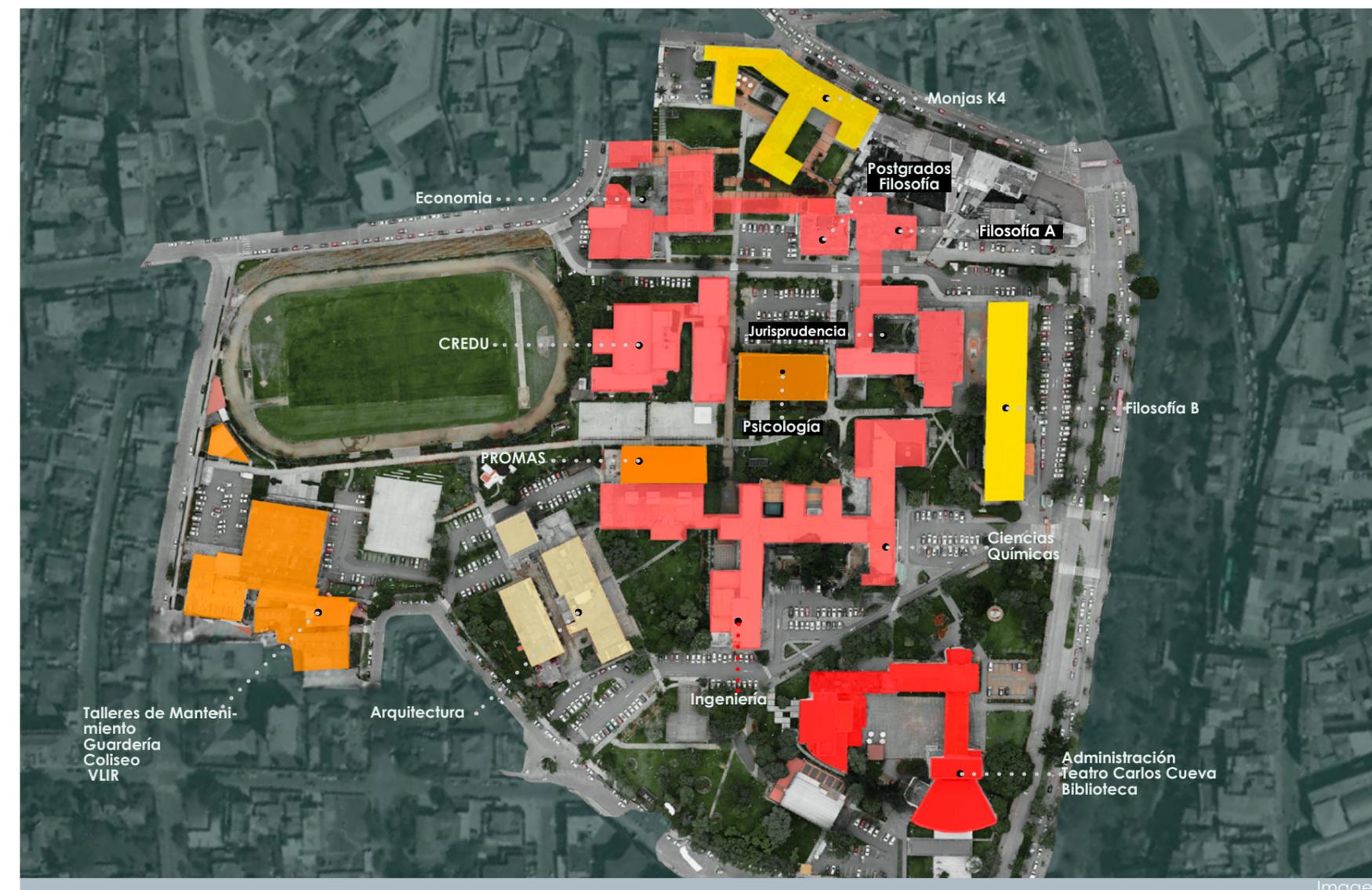


Imagen 1

## 2.4 Autoabastecimiento energético y Sustentabilidad.

### 2.4.1 Energías Renovables

Las energías renovables engloban una serie de energías, que según el IDAE son: biocarburantes, biomasa, biogás, maremotriz, eólica, geotérmica, hidroeléctrica, PVs, CSTs, y solar termoeléctrica que tienen como objetivo reducir las pérdidas de transmisión, y se procura evitar la construcción de infraestructuras de generación de energía y transporte, disminuir la polución, reducir las islas de calor, mejorar la calidad de vida, evitar cortes de energía y cubrir la demanda energética (Barragán Escandón, 2018).

A lo largo de la historia las energías renovables han cubierto prácticamente la totalidad de las necesidades energéticas del ser humano. Solo en los últimos cien años

han sido superadas, primero por el empleo del carbón, y luego por el petróleo y en menor medida, por el gas natural, esto a partir de 1950. En 2004 las energías renovables suministraban un 20% del consumo mundial (Santamarta, 2007), un potencial enorme que ha sido aprovechado en mayor medida en la actualidad.

### 2.4.2 Autoabastecimiento energético.

Autoabastecimiento energético es el proceso por el cual un consumidor produce dentro de su instalación una parte o la totalidad de su demanda energética, en otras palabras, implica la generación de energía propia que no depende de sistemas de suministro de energía exteriores.

El autoabastecimiento mediante fuentes renovables como PVs, CSTs, Geotermia y recuperación de energía de los residuos puede ser una alternativa para promover un ciclo cerrado de energía en las urbes, en la medida en que se sustituyan las tecnologías que requieran recursos

fósiles. Para cada ciudad se debe hacer una valoración particular, pues sus condiciones geográficas, la disponibilidad de recursos o los usos energéticos pueden ser limitantes para el uso de una u otra tecnología (Barragán Escandón, 2018).

El autoabastecimiento energético utilizando energías renovables en las ciudades está plenamente alineado con los requerimientos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) del 2015. Además de ello, las altas densidades de población concentrada en las ciudades ofrecen oportunidades económicas, así como promover planes enfocados al manejo eficiente de energía (Barragán Escandón et al., 2020).

Una de las principales barreras para limitar el autoabastecimiento energético de las ciudades es la fluctuación de consumos y la intermitencia de las fuentes energéticas renovables como solar o eólica. Pero en las condiciones climáticas de ciudades

ecuatoriales andinas se observan características muy adecuadas para alcanzar un margen de autogeneración significativo por las oscilaciones climáticas estacionales mínimas (Barragán Escandón et al., 2020).

### 2.4.3 Sustentabilidad

La Comisión Mundial de Desarrollo y Medio Ambiente (World Commission of Environment and Development) definió la *sustentabilidad* como la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la necesidades de las generaciones futuras. Una construcción sustentable estará centrada en minimizar la cantidad de recursos que consumen actualmente los edificios durante su ciclo de vida (Hernández & Meza, 2011).

La energía solar, en sus formas activas o pasivas, es capaz de satisfacer las necesidades energéticas en todo un conjunto de edificios: calefacción e iluminación, agua caliente sanitaria, electricidad y refrigeración del espacio (International Energy Agency, 2012). Por otro lado, producir propia

energía limpia supone el promover la sustentabilidad energética, sin embargo, no es el único aspecto para que un edificio sea sostenible. Uno de los varios modelos para la evaluación de edificios verdes es el sistema de certificación LEED que establece 6 categorías medioambientales; uno de ellas es la de Energía y Atmósfera que procura la óptima utilización de la energía al evaluar el comportamiento energético de la edificación, y a su vez el uso de las energías renovables para mejorar su eficiencia.

Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes criterios:

- Optimización del rendimiento energético
- Energía Renovable.
- Recepción adicional.
- Eliminación de clorofluorocarbono (CFC).
- Mediación y Verificación.
- Energía verde y compensaciones de carbono (Treviño, 2019).

En general, los campus con bajas emisiones de carbono han logrado avances significativos, inclu-

yendo un mejor desempeño ambiental, una mayor conciencia pública y costos reducidos de mantenimiento del lugar (Song & Choi, 2015).

## 2.5 Estrategia de captación solar

### 2.5.1 Energía Solar

De la radiación del sol se obtiene la energía solar, una energía renovable, pues su fuente de energía es limpia, ilimitada y casi infinita, que proporciona cada hora en la Tierra tanta energía como la que necesita el mundo entero en un año (International Energy Agency, 2012).

La energía solar, en sus formas activas o pasivas, es capaz de suministrar todo el conjunto de necesidades energéticas de los edificios: calefacción e iluminación, agua caliente sanitaria (ACS), electricidad y, recientemente, también refrigeración (ver Gráfico 3).

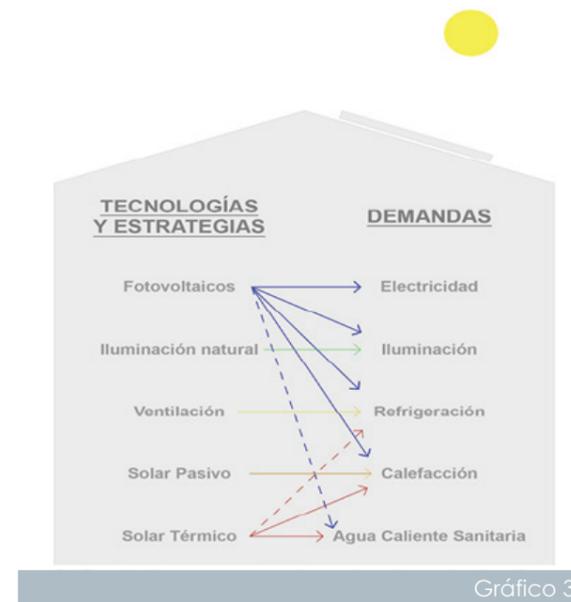


Gráfico 3

**Gráfico 3** Tecnología activa y pasiva destinadas a demandas de edificios

Fuente: IEA SHC Task 41, 2012

### 2.5.2 Arquitectura Bioclimática y estrategias solar pasivas.

El diseño solar pasivo es parte fundamental del diseño bioclimático, es una estrategia eficaz para aliviar el estado de consumo intensivo de energía del sector de la construcción, una arquitectura adaptada al medio ambiente, sensible al impacto que provoca en la naturaleza; busca optimizar y minimizar el consumo energético (Qiu et al., 2021).

Las ventajas más importantes de los sistemas pasivos son las económicas: ahorran combustible; proporcionan bienestar ambiental, agua caliente, confort térmico y benéfica luz natural (Lacomba, 1991).

### 2.5.3 Captación Solar Activa

La energía solar podría aprovecharse activamente mediante dos vías: la energía PVs y CSTs. Los problemas de la energía solar activa son: la nubosidad, movimiento solar provocan oscilación de producción durante el día, además sin un dispositivo de almacenamiento no abastece durante la noche. Para solventar estos inconvenientes la red pública actúa como batería virtual, es decir el excedente se acumula para cubrir la demanda requerida (Marín et al., 2018).

#### Solar fotovoltaica

La energía solar PVs usa la energía del Sol para producir electricidad; la producción de electricidad se obtiene directamente de la radiación del sol mediante dispositivos semiconductores que se encuentran agrupados en placas PVs. En la actualidad, casi el 90 % de los módulos solares están fabricados con células de silicio cristalino y son capaces de generar cada una corrientes de 2 a 4 amperios a un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios (Fernández Ferichola, 2006).

La electricidad generada se puede utilizar directamente, también se almacena en acumuladores o baterías para uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

Los paneles PVs, según sea su estructura, el material semiconductor y convertidor de silicio, pueden ser monocristalinos, multicristalinos, microcristalinos o amorfos. Los módulos PVs de células monocristalinas son de alto rendimiento, se caracterizan



Imagen 2

**Imagen 2:** Panel Solar Monocristalino Negro

Fuente: Pagina web <https://sunpower.maxeon.com/es/productos-de-paneles-solares/paneles-solares-maxeon>



Imagen 3

Imagen 3: Panel Solar Monocristalino half-cell

Fuente: TECNOSOL. Tecnología perc y half cell en paneles solares. 2022. Elaborado por: TECNOSOL

por que el color de la celda es azul o negro uniforme (ver Imagen 2 y 3) (SUPSI/ISAAC, 2013). Los avances tecnológicos han permitido que existan ventajas en costos, potencia, eficiencia y rendimiento, en los sistemas PVs, a diferencia de los paneles de celdas de tamaño completo (Mittag et al., 2019)

Las tecnologías PVs se desarrollan pensadas, cada vez más, en integrarse a las construcciones. Hay varias tecnologías que están en fase experimental (Zalamea-León & Quesada, 2017); y otras tecnologías que hoy en día ya son una realidad, como las tejas solares PVs que permiten una mejor integración arquitectónica por su capacidad de adaptación estética a los tejados. El funcionamiento de las tejas solares ocurre de la misma manera que los paneles PVs, la diferencia está en su montaje, ya que conforman modularmente el techo mientras que los paneles se atornillan a un techo existente.

Cada celda está conectada a la placa de distribución de energía;

para su funcionamiento efectivo es necesario instalar un inversor que convierta la energía capturada por cada teja en electricidad.

## 2.5.4 Energía solar térmica

La energía solar térmica consiste en convertir la radiación solar en calor. La energía solar es utilizada para incrementar la temperatura de un fluido que puede ser aire o agua. El aprovechamiento se hace a través de un panel o captador solar que transfiere la energía en forma de calor al fluido. Luego este es conducido a través de un circuito hidráulico hasta su aplicación final; los usos pueden ser para la provisión de agua caliente sanitaria, usos industriales o para climatización (calor o frío).

Existen varios tipos de CSTs entre los más comunes tenemos:

**Colector solar plano:** su funcionamiento está basado en el efecto invernadero que aprovecha las propiedades de transmisión de la cubierta que permite el paso de la radiación solar y a su vez incide en la superficie del captador produciendo el calentamiento del fluido (IDAE & ASIT, 2020) (ver Imagen 4 y 5).

A pesar de que la disponibilidad de espacio para su colocación es una barrera, el uso de CSTs podría atenuar el gasto económico si se compara con el uso de gas licuado o gas natural (Rosas-Flores et al., 2016).

Imagen 4 Colector Solar plano.

Imagen 5 Sección transversal de un Colector solar plano

Fuente: Guía técnica de energía solar térmica. Elaborado por IDEA & ASIT



Imagen 4

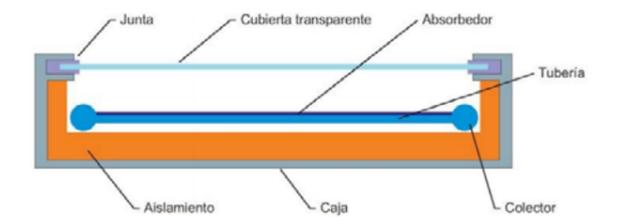


Imagen 5

## 2.6 Integración morfológica.

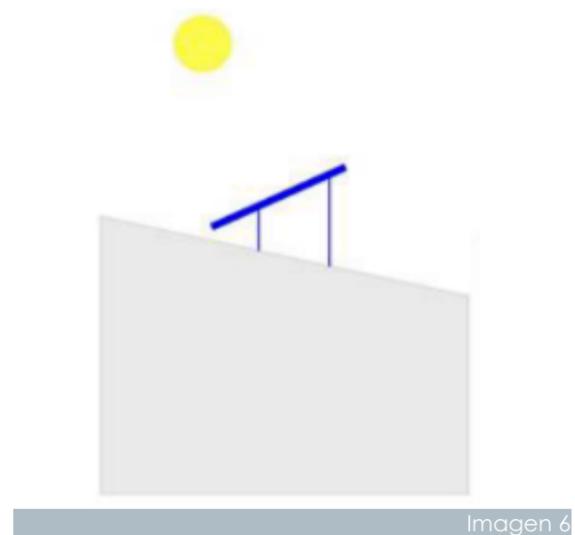
La integración de sistemas PVs ha crecido rápidamente y seguirá aumentando su participación en la producción de energía renovable (Zomer et al., 2020). Por tanto, la utilización de la tecnología solar en los edificios plantea importantes retos en los entornos construidos existentes, especialmente cuando la calidad arquitectónica es un problema, a pesar de la buena aceptación social de la energía solar, cuyo interés ha ido creciendo en los últimos años (Sánchez-Pantoja et al., 2018).

Existen varias investigaciones que se centran en la funcionalidad de colocar placas PVs en techos de edificios e incluso en fachadas. La tendencia es adaptar a productos de revestimiento o de accesorios que se integren a la arquitectura. Entre los más comunes están: colectores simplemente colocados, colectores superpuestos en edificación y colectores integrados (International Energy

Agency, 2012).

### 2.6.1 Colectores simplemente colocados

Son la opción menos deseable desde el punto de vista arquitectónico porque cuando se instalan no se contempla el material ni el color ni la relación formal con la edificación, el propósito es únicamente aprovechar una máxima irradiación o evitar incidencia de sombras. Un claro ejemplo son los colectores solares con almacenamiento integrado que provocan un mayor impacto en cuanto a su apariencia al alterar la volumetría de la edificación (Zalamea-León & Quesada, 2017)

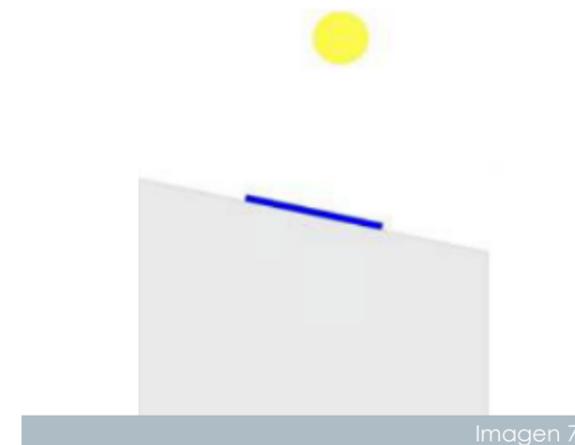


**Imagen 6** Colectores simplemente colocados

Fuente: Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales 2017, Elaborado por Zalamea & Quesada

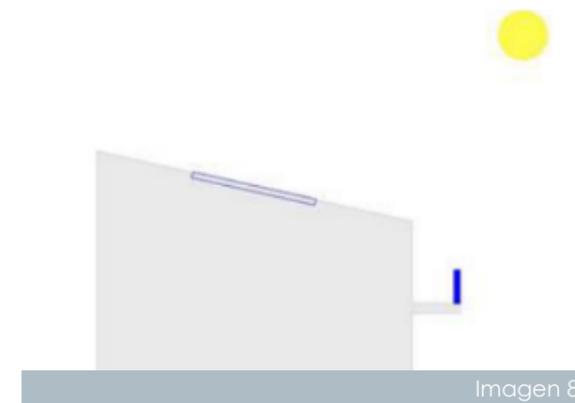
### 2.6.2 Colectores superpuestos en edificación

Son independientes constructivamente respecto a la envolvente, por lo que se puede decir que existe una doble-capa. Se caracterizan por tener una relación con los ritmos, color y materialidad del edificio manteniendo así una relación formal (ver imagen 7) (Zalamea-León & Quesada, 2017)



### 2.6.3 Colectores Integrados

Finalmente, se puede hablar de colectores integrados gracias a que se considera la modulación, la relación con juntas materiales y reglas compositivas, lo que contribuye positivamente a la expresión arquitectónica. Dado que reemplazan recubrimientos o elementos funcionales-arquitectónicos de una edificación, cumplen solicitudes que cualquier material de exteriores debe proporcionar (estanqueidad y resistencia mecánica), o funcionar adecuadamente como balaustrada, filtro solar, ventanal, etc. Para ello, los colectores deben con-



templarse dentro de la geometría y composición estética de la edificación (ver imagen 8) (Zalamea-León & Quesada, 2017)

En este estudio, para integrar morfológicamente las tecnologías solares en los faldones de las edificaciones del campus universitario se utiliza la disposición de colectores superpuesto, mientras que, para las cubiertas planas se utiliza la disposición de colectores simplemente colocados.

**Imagen 7** Colectores superpuestos

**Imagen 8** Colectores integrados

Fuente: Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales 2017, Elaborado por Zalamea & Quesada

## 2.7 Casos de Estudios

### 2.7.1 Uso de Fotovoltaicos en Instituciones Educativas.

El valor educativo de lograr la neutralidad de carbono es inmenso, por consiguiente las instituciones educativas pueden desempeñar un papel importante en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la transición a sistemas de energía neutrales en carbono.

En la búsqueda de la neutralidad de carbono las instituciones educativas afrontan distintos desafíos específicos de cada uno. Entre los cuales se puede mencionar el número de estudiantes, edificios que fueron diseñados bajo parámetros de energía menos estrictos, edificios de alta demanda energética (laboratorios, bibliotecas, centros de investigación y recreación), sumado a esto, las condiciones climáticas, normativas, viabilidad económica e integración arquitectónica.

Al lograr la neutralidad del carbono se espera mitigar el cambio climático mediante la reducción de

CO<sub>2</sub>, además alcanzar una innovación sostenible y rentable.

Al involucrar a las instituciones educativas en el uso de energías renovables se puede crear oportunidades de aprendizaje experiencial para los ciudadanos y líderes climáticos del mañana (Shea et al., 2020).



**Imagen 9:** Emplazamiento campus universitario y ciudad universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid.

Fuente: Contribución de la generación distribuida fotovoltaica a la transición hacia un suministro libre de emisiones al campus universitario: Universidad Politécnica de Madrid y Ciudad Universitaria, 2020. Elaborado: Olivieri, Caaman, Sassenou y Olivieri Francesca.

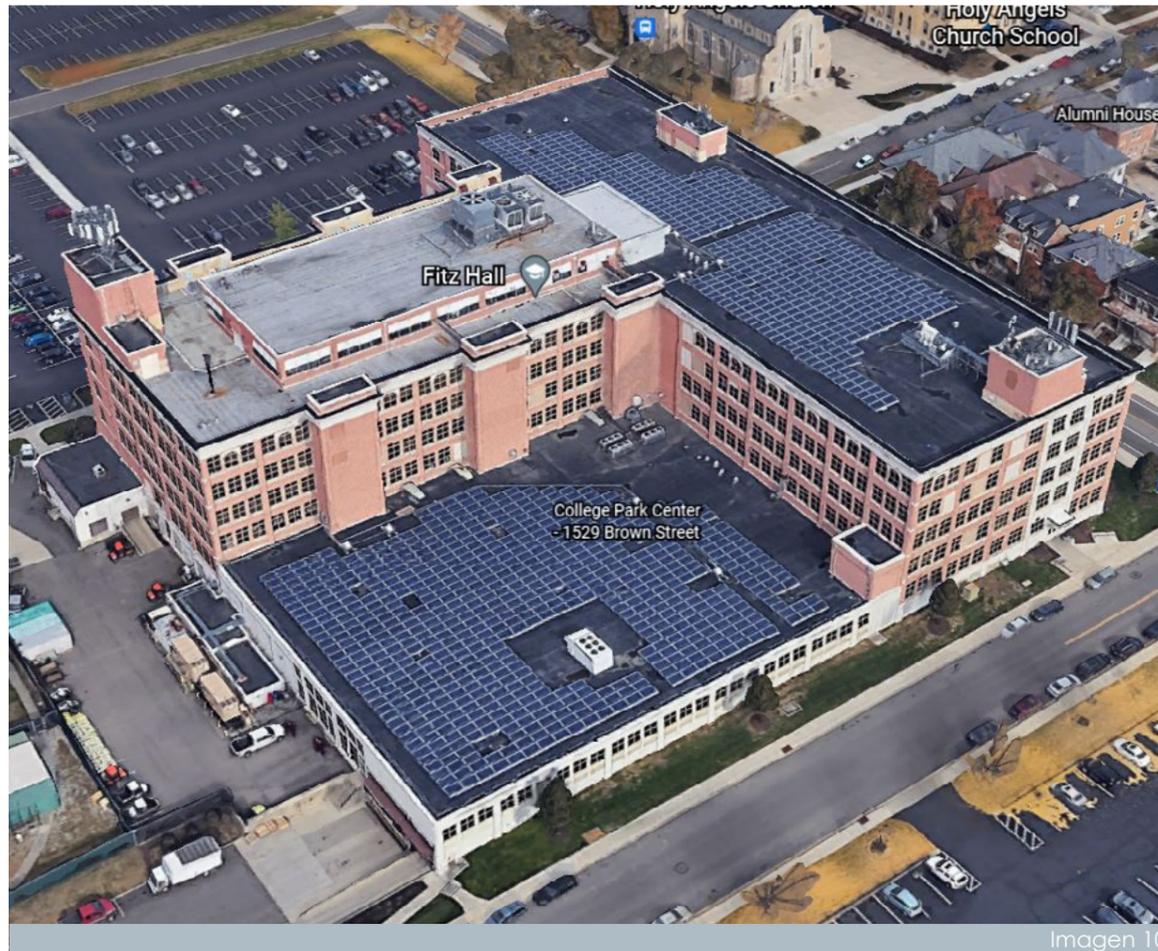
### 2.7.1.1 Universidad Politécnica de Madrid

Se estudió el potencial de la instalación de generación distribuida PVs en el campus de la Universidad Politécnica de Madrid y Ciudad Universitaria. Se centra en la generación eléctrica, la reducción de carbono y la viabilidad económica de la instalación de sistemas solares PVs utilizando y comparando dos enfoques diferentes basados en la entrada de datos con diferente resolución temporal, software de simulación y nivel de detalle. Los resultados muestran que la potencia PVs óptima maximiza el ahorro de emisiones, garantiza el mejor rendimiento económico, y además coincide con el máximo potencial solar del campus, que es de unos 3.3 MWp. Por lo tanto, el 77% de la producción de electricidad PVs se consumiría localmente, lo que supondría una cobertura de alrededor del 40% del consumo total de electricidad. El ahorro de emisiones podría alcanzar el 30% y un análisis económico en profundidad indica que el proyecto es viable (Olivieri, et al 2020).

### 2.7.1.2 Campus de Dayton.

Otro estudio se efectuó en el campus de Dayton, ubicado en Ohio (EE.UU). Para determinar el camino más rentable hacia un campus totalmente electrificado y sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Se observa el área potencial del sistema solar en los edificios con cubiertas planas del campus orientados al sur, las viviendas de estudiantes y las filas de estacionamiento. La capacidad nominal en kW que cabría en el 65 % de este espacio se estimó utilizando 330 W de corriente continua en 1.68 m<sup>2</sup> de paneles. En cuanto a los sistemas residenciales, se dimensionan para generar no más del 80 % de la electricidad anual típica de cada hogar para evitar la sobreproducción.

La demanda de energía del campus en el año 2019 fue de 87 GW, los resultados indican que el uso de PVs en las techumbres de los edificios y marquesinas de estacionamientos generó un ahorro anual de 16.8 GW que representa el 19.31 % del total de la demanda y redujo las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 10.0 % (Shea et al., 2020).

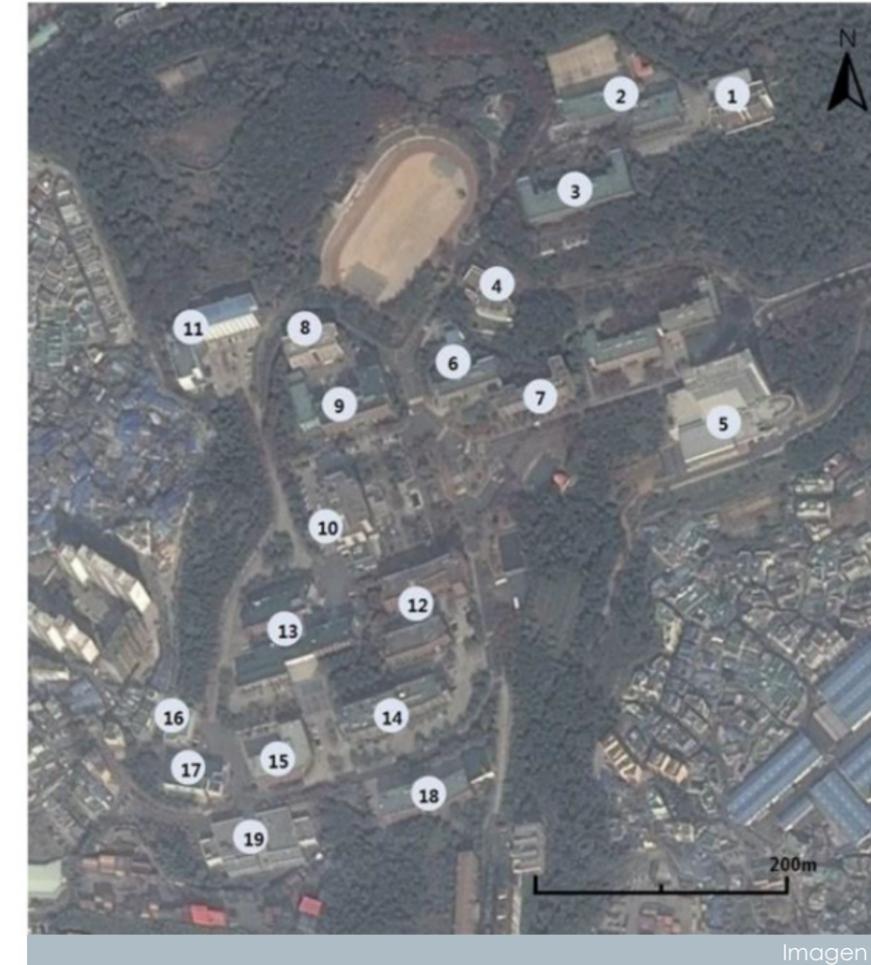


**Imagen 10** Vista Aérea del sistema PV en el edificio de vivienda universitaria de la Universidad de Dayton.

Fuente: Google Earth, 2022.

### 2.7.1.3 Universidad Nacional Pukyong

El estudio realizado en la Universidad Nacional Pukyong, Corea (Song & Choi, 2015), tuvo por objetivo evaluar el potencial de generación PVs en las azoteas para establecer un campus verde. Para ello, se analizaron las sombras utilizando un modelo de elevación digital del área de estudio y las alturas de los edificios, también se utilizaron herramientas de análisis espacial para el estudio de las sombras y sus patrones generales. Las condiciones locales en el solsticio de invierno se utilizaron como base para un análisis de sombras. Como resultado, se estimó que se podrían instalar 1,800 módulos PVs en los tejados de 19 edificios, en un área de 8,572.0 m<sup>2</sup>. El programa SAM se utilizó para realizar simulaciones de energía, basadas en datos meteorológicos de la Sociedad de Energía Solar de Corea. Los resultados indicaron que el sistema PVs podría producir aproximadamente 300,269.0 kWh de energía anualmente en el campus, y así cubrir un 13.42 % de la demanda de energía eléctrica.



**Imagen 11** Vista Aérea del área de estudio, 19 edificios para evaluar el potencial de los sistemas fotovoltaicos en los tejados.

Fuente: Evaluación de sistemas de generación de electricidad fotovoltaica en azoteas para el establecimiento de un campus verde. Enero 2015. Elaborado: Jinyoung Songa y Yosoon Choia

Integración morfológica de fotovoltaicos en Instituciones Educativas

2.7.1.4 Instituto Jacobs para la Innovación en el Diseño

El proyecto ubicado en Berkeley, Estados Unidos, diseñado por LMS Architects, es un espacio educativo centrado en proyectos, basado en equipos y un símbolo convincente del compromiso de la universidad con la innovación sostenible para la región. El edificio compacto hace un uso eficiente de su sitio urbano al tener un voladizo sobre el sótano existente mientras conserva un patio solar orientado al sur. Proporciona el 58 % de la energía del edificio, lo que reduce la energía total del edificio en un 90 % (LMS Architects, 2021).

Imagen 12: Instituto Jacobs | Fachada Frontal

Imagen 13: Instituto Jacobs | Vista Aérea

Imagen 14: Instituto Jacobs | Sección 3D

Fuente: Plataforma Arquitectura-LMS Architects/Elaborado por Tim Griffith



Imagen 12



Imagen 13

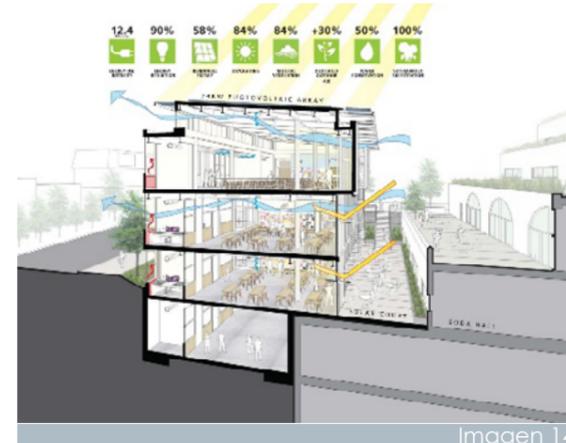


Imagen 14

2.7.1.5 Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership

Esta diseñado por Brooks + Scarpa Architects. La escuela pública para 500 estudiantes se encuentra al sur de Los Ángeles, el proyecto está diseñado para funcionar a través de estrategias pasivas, permitiendo la incorporación de una abundante luz natural, ventilación y vistas, además la estética, la sostenibilidad y la rentabilidad fueron considerados en cada decisión de diseño. Los PVs verticales son factibles en climas estacionales por la incidencia de energía solar que reciben las fachadas, en este caso proporcionan el 75% de la demanda energética. Lo que permitirá reducir 1361 tn de CO<sub>2</sub> anuales (Brooks & Scarpa Architects, 2013).

Imagen 15: Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership | Perspectiva.

Imagen 16: Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership | Composición Formal de paneles solares.

Imagen 17: Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership | Elevación lateral.

Fuente: Plataforma Arquitectura-Brooks + Scarpa Architects/Elaborado por John Linden.



Imagen 15



Imagen 16



Imagen 17

2.7.1.6 Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente

Ubicado en Ámsterdam, Países Bajos. El edificio diseñado específicamente para este propósito funciona tanto como una clase y como herramienta educativa. La sostenibilidad del edificio se puede ver desde las estrategias pasivas y solar activas. Posee una orientación óptima de la cubierta hacia el sol para recoger de manera óptima la radiación. Este centro cumple con los estándares de edificio netzero, es decir, consume una cantidad de energía cercana a la que genera (Bureau SLA, 2016).



Imagen 18

**Imagen 18:** Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente | Perspectiva.

**Imagen 19:** Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente | Fachada Frontal.

**Imagen 20:** Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Bureau SLA / Elaborado por Filip Dujardin.



Imagen 19



Imagen 20

2.7.1.7 Centro cultural para las Artes Mason

El siguiente sitio que se destaca es el Centro Cultural para las Artes Mason, ideado como parte de la transformación del fuerte Mason de una histórica base militar a un próspero centro comunitario, con el propósito de convertir el interior en un nuevo campus para el San Francisco Art Institute (SFAI): un centro para estudios de pregrado y posgrado y compromiso público con las artes. En la Fase I, el cobertizo histórico fue restaurado y mejorado sísmicamente con sistemas integrados de edificios sostenibles, incluido un sistema solar PVs en la azotea de 255 kW de potencia, el cual proporciona el 100 % de la demanda energética (LMS Architects, 2018).

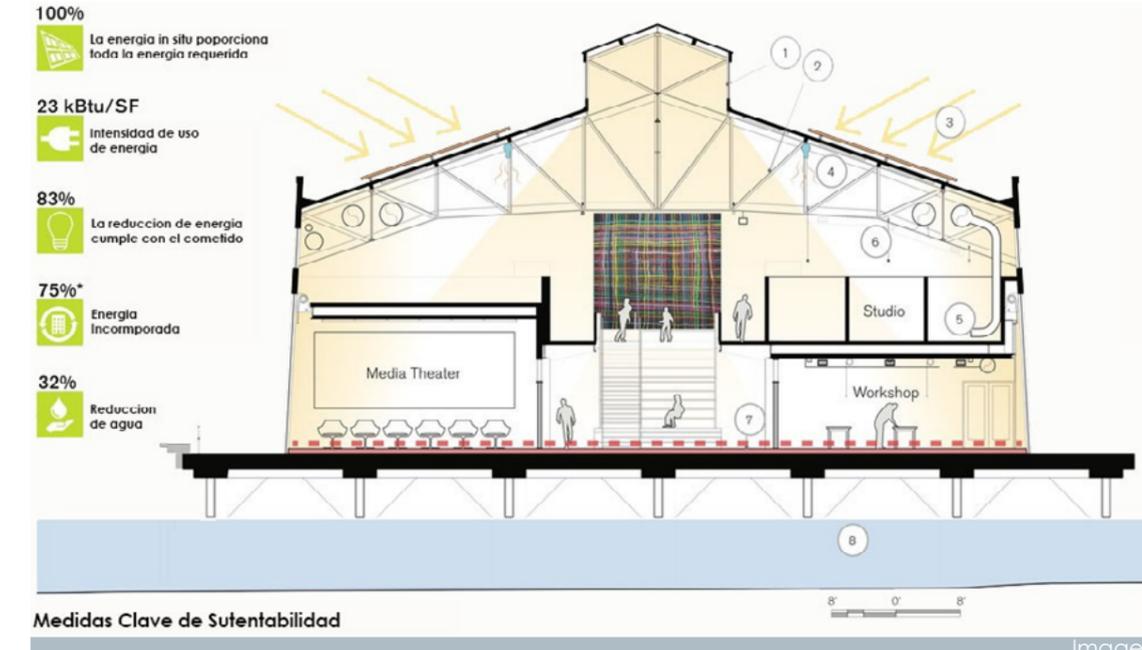


Imagen 21

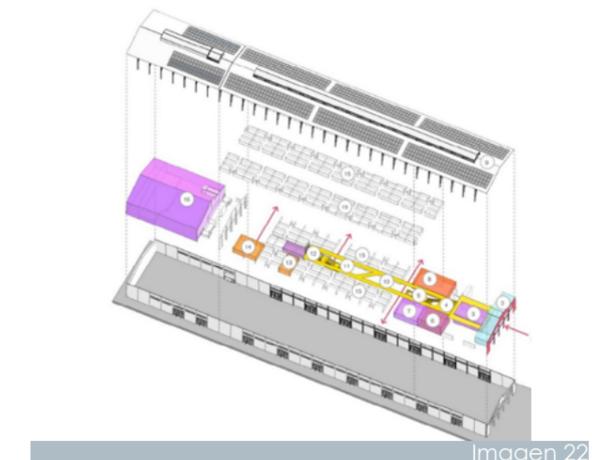


Imagen 22

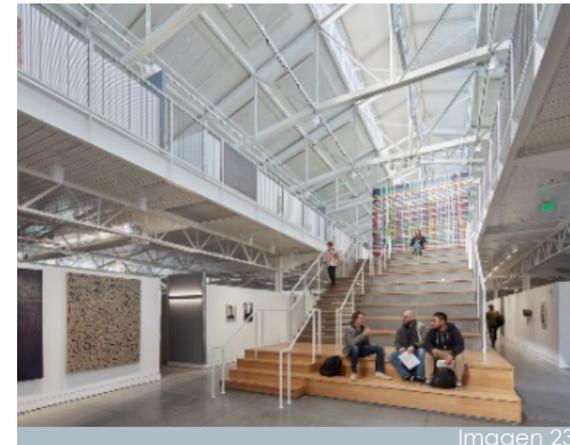


Imagen 23

**Imagen 21:** Centro Cultural de Artes Mason | Sección Transversal.

**Imagen 22:** Centro Cultural de Artes Mason | Axonometría explotada.

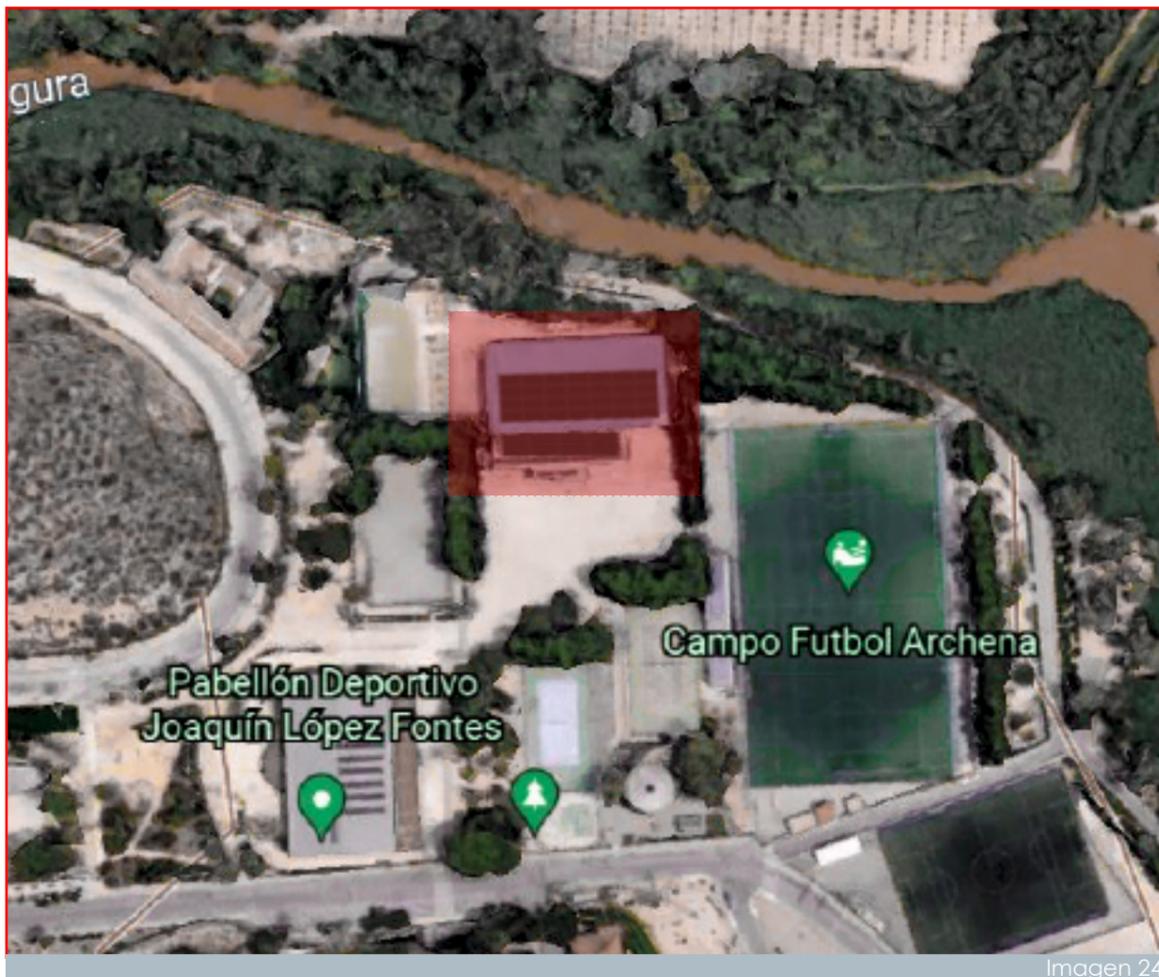
**Imagen 23:** Centro Cultural de Artes Mason | Perspectiva interior.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Leddy Maytum Stacy Architects / Elaborado por Bruce Damonte.

## 2.7.2 Uso de energía solar térmica

### 2.7.2.1 Municipio de Archena, España

Las piscinas cubiertas son instalaciones deportivas y de esparcimiento muy intensas en el uso de energía. Esta alta demanda energética limita la viabilidad financiera, particularmente para piscinas públicas. Los resultados obtenidos en el artículo "Uso de un control predictivo para mejorar la eficiencia energética en piscinas cubiertas mediante energía solar térmica" demuestran que se puede reducir la demanda energética de una piscina en un 18.76 % utilizando un 42.64 % menos de combustible en comparación con un sistema convencional, manteniendo las condiciones térmicas de la piscina en línea con los estándares de natación nacionales e internacionales, además ayuda de manera significativa la eficiencia energética de estas instalaciones al reducir su riesgo financiero (Delgado Marín et al., 2019).



**Imagen 24:** Ubicación del sistema solar térmico para la calefacción de la piscina cubierta del municipio de Archena, España

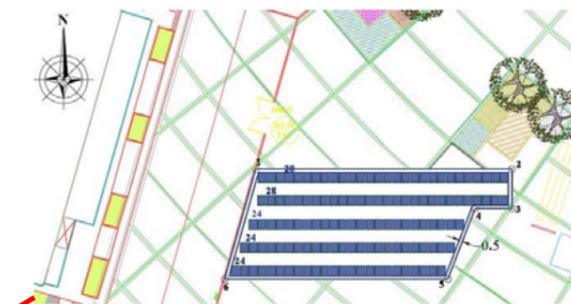
Fuente: Google Eath, 2021

### 2.7.2.1 Calefacción de piscinas en el estadio Pancretan, Creta, Grecia

La calefacción de piscinas plantea grandes retos, ya que las grandes infraestructuras exhiben necesidades energéticas para iluminación, calefacción para espacios interiores, producción de agua caliente y principalmente calefacción de la piscina. En el estudio realizado por Katsaprakakis (2019), se determinó que para satisfacer las necesidades anteriormente mencionadas se requiere del consumo de 16500 lt de gasolina y 190 MW de electricidad anuales.

El sistema propuesto para reducir el alto consumo energético se basa en la utilización de CSTs dada la abundante radiación solar disponible, para lo cual se llevaron a cabo simulaciones con series de tiempo anuales, con el objetivo de eliminar totalmente la gasolina y la electricidad para los usos particulares. También se estudió la viabilidad económica del sistema solar y biomasa frente al costo de adquisición de recursos energéticos de la operación existente. Con el di-

mencionamiento, se pudo determinar un abastecimiento del 59.5 % frente al consumo final de energía térmica y el restante se cubre mediante 31 tn de pellets de biomasa. El periodo de recuperación del sistema propuesto se estima en 5 años.



**Imagen 25 :** Ubicación del sistema solar térmico para la calefacción de la piscinas del Estadio Deportivo Pancretano en Creta, Grecia

Fuente: Potencial en la mejora del rendimiento energético de los estadios nacionales: un estudio de caso para el estadio Pancretan, Creta, Grecia, 2019.

## 2.8 Introducción a las Tecnologías de Simulación.

### 2.8.1 Solar Advisor Model (SAM)

En 2004, el programa Solar Advisor Model (SAM) se desarrolló por parte del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL: National Renewable Energy Laboratory), en relación con el Sandia National Laboratory y en colaboración con el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) (González & Silva, 2010).

Esta herramienta se desarrolló para una gama de tecnologías de energía renovable. Es utilizada en todo el mundo para la planificación y evaluación de programas de investigación y desarrollo de los costes del proyecto y las estimaciones de rendimiento, así como para la investigación académica. En el programa se representan la mayoría de las tecnologías solares, desde las de concentración de energía, como son las basadas

en captadores de canal parabólico, Disco-Stirling, y sistemas de concentración de torre, hasta las tecnologías fotovoltaicas. SAM, así mismo, efectúa predicciones de rendimiento para conexión a red solar, instalaciones minieólicas, sistemas de energía geotérmica y estimaciones económicas de energía distribuida y proyectos de centrales de generación (NREL, 2020).

SAM funciona combinando datos meteorológicos de series de tiempo y especificaciones del sistema para calcular la producción de electricidad de un sistema de energía renovable. Luego el modelo utiliza datos de costos, compensación, financiamiento e incentivos del sistema en un flujo de efectivo anual para calcular el costo nivelado de la energía, el valor actual neto, el período de recuperación, la tasa interna de rendimiento y los ingresos del proyecto potencial (NREL, 2020). Esta herramienta se utiliza para determinar la producción energética generada por los sistemas propuestos durante el año de estudio.

### 2.8.2 SunPath 3D

Es una herramienta virtual que analiza la incidencia de luz y sombra mediante un modelo 3D en sus coordenadas correspondientes. Esta aplicación conecta un Google World Map interactivo con un diagrama de trayectoria solar en 3D, un generador de mapas de sombras y un gráfico SVG en 2D que muestra una variedad de información solar. Permite determinar los faldones de cubiertas afectados por la sombra.



# Campus Central de la Universidad de Cuenca: Estado Actual

## 3.1 Análisis de Sitio

Este estudio se desarrolla en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, ubicada al sur del Ecuador. La ciudad está atravesada por la cordillera de los Andes y a una altitud aproximada de 2,532 m.s.n.m (GAD Cuenca, 2015). El casco urbano tiene una extensión de 72 Km<sup>2</sup>.

El campus central de la Universidad de Cuenca se ubica entre la Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, en la parroquia Sucre, con coordenadas 2°54'02"S y 79°00'32"O (ver Imagen 26). Esta ubicación es propicia para el uso del sol como recurso energético, pues posee una alta incidencia solar que puede ser aprovechada en las techumbres de las edificaciones.

**Imagen 26:** Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Imagen 26

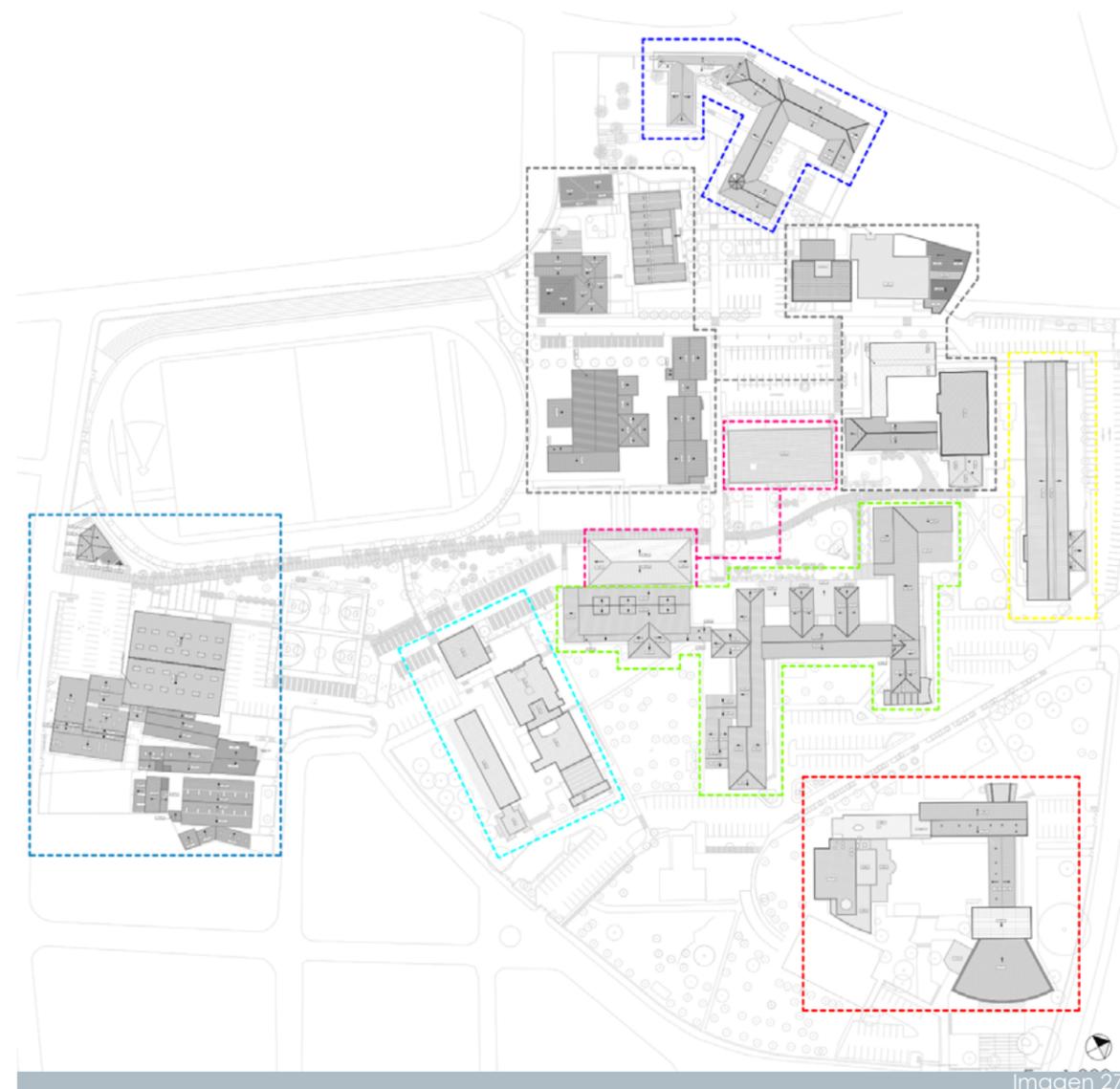
El campus central de la Universidad de Cuenca cuenta con un área de terreno de 96,734.0 m<sup>2</sup>. Entre bloques de facultades y de servicios universitarios, la ciudadela universitaria abarca un total de 23 edificaciones. El campus posee ocho medidores los cuales registran el consumo eléctrico de los distintos edificios (ver Tabla 1); únicamente los bloques de las facultades de Arquitectura, Filosofía bloque B y Economía (Monjas), no comparten medidor con otras edificaciones.

**Tabla 1** Medidores de las Edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca

Fuente: Elaboración propia

# Medidor	Lugar/Facultad	Código	Área Interior m <sup>2</sup>	Consumo Energético
2831765	Edificio Administrativo	A1	2,463	577,491
	Teatro Carlos Cueva	A2	1,811	
	Biblioteca	A3	2,811	
2831805	Ciencias Químicas	C1	3,446	326,662
	Ingeniería	D1	4,360	
	Laboratorio suelos	D2	969	
2831816	Talleres de Mantenimiento	M1	1,209	125,160
	Estadio			
	Coliseo	N1	1,795	
	Instituto de Educación Física	O1	438	
	VLIR	P1	913	
	Guardería	M2	403	
2857694	Arquitectura	E1	5,880	134,955
39876459	Psicología	J1	2,793	140,481
	Promas	D3	2,044	
2831755	Filosofía bloque "A"	I1	1,923	308,703
	Jurisprudencia	H1	2,884	
	Economía	K1,K2,K3	3,764	
	Posgrados Economía	I2	1,453	
	CREDU	L1	2,621	
2831786	Filosofía bloque "B"	G1	4,465	89,184
3805604	Economía (Monjas)	K4	3,095	729,69
<b>TOTAL</b>			<b>51,620 m<sup>2</sup></b>	<b>1,776,136.84</b>

Tabla 1



- Edificio A1, A2, A3 ■
- Edificio C1, D1, D2 ■
- Edificio E1, E2, E3 ■
- Edificio G1 ■
- Edificio J1, D3 ■
- Edificio H1, I1, I2, K1, K2, K3, L1 ■
- Edificio K4 ■
- Edificio M1, M2, N1, O1, P1 ■

**Imagen 27** Ubicación de medidores del Campus Central de la Universidad de Cuenca

Fuente: Elaboración propia, 2021 En base a la información del Departamento de Planificación de la Universidad de Cuenca.

### 3.2 Evaluación Geométrica de cubiertas

Las cubiertas de las edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca generalmente poseen geometrías regulares, y comprenden pendientes de entre el 0% al 44.45%.

El área total de techumbres del campus central de la Universidad de Cuenca es de 24,184.59 m<sup>2</sup>. La edificación con mayor área de techumbre corresponde al bloque de la Facultad de Ingeniería con 2,571.08 m<sup>2</sup>, seguida de la facultad de Ciencias Químicas con 2,503.44m<sup>2</sup>. La menor área de techumbre corresponde al bloque de Economía K3, con 217.83 m<sup>2</sup> (ver Tabla 2)

**Tabla 2** Área, inclinación y materialidad de techumbres por edificio

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Código	Lugar/Facultad	Inclinación	Orientación	Materialidad	Área (m2)
A1	Edificio Administrativo	0.00%, 13.34%, 17.77%	117°-27°-28°	Fibrocemento ondulado, Teja	1070,54
A2	Teatro Carlos Cueva	0.00%, 15.34%, 22.23%	117°	Teja	1027,865
A3	Biblioteca	0°	117°	Gress	770,451
C1	Ciencias Químicas	22.23%, 28.23%, 33.34%, 44.44%	27°-117°	Fibrocemento ondulado	2503,442
D1	Ingeniería	33.34%	117°-27°	Fibrocemento ondulado	2571,081
D3	Promas	33.34%	17°-27°	Teja	709,34
E1	Arquitectura	0°	90°-180°	Hormigón	1078,41
G1	Filosofía bloque "B"	22.23%x	117°-207°	Teja	1418,84
H1	Jurisprudencia	0°	27°-116.64°	Hormigón	1567,284
I1	Filosofía bloque "A"	0°	28°-118°	Hormigón	885,39
I2	Filosofía Posgrados	0°	28°-118°	Hormigón	414,769
J1	Psicología	0°	28°-118°	Hormigón	793,48
K1	Economía	22.23%	23°-114°-27°-117°	Fibrocemento ondulado	577,6
K2	Economía	11.12%, 31.12%, 33.34%	27°-117°	Fibrocemento ondulado	691,85
K3	Economía	28.89%	24°-114°	Fibrocemento ondulado	217,83
K4	Monjas	13.34%-17.77%	145°-55°-63°-28°-118°	Teja	1828,38
L1	CREDU	8.88%, 16.22%, 17.78%, 44.45%	118°-28°	Planchas onduladas metálicas	2001,1
M1	Talleres de Mantenimiento	12.00%, 22.00%	32°-122°-44°-134°-8°-189°-121°-219°-36°-126°	Fibrocemento ondulado	1395,303
M2	Guardería	12.00%	31°-121°	Fibrocemento ondulado	194,784
N1	Coliseo	38.44 %	35°-125°	Fibrocemento ondulado	1329,65
O1	Instituto de Educación Física	8.34%, 10.41%	81°-171°-36°-126°	Planchas onduladas metálicas	152,97
P1	VLIR	18.98%-31.12%	36°-126°	Fibrocemento ondulado	984,23
<b>TOTAL</b>					<b>24184.589</b>

Tabla 2

Grupo	Medidor	Lugar/Facultad
1	2831765	Edificio Administrativo A1
		Teatro Carlos Cueva A2
		Biblioteca A3
2	2831805	Ciencias Químicas CI
		Ingeniería D1
		Laboratorio suelos D2
3	2831816	Talleres de Mantenimiento M1
		Estadio
		Coliseo N1
		Instituto de Educación Física O1
		Talento Humano P1
Guardería M2		
4	2857694	Arquitectura E1
5	39876459	Psicología J1
		Promas D3
6	2831755	Filosofía bloque "A" I1
		Jurisprudencia H1
		Economía K1, K2
		Posgrados Economía K3
		CREDU L1
7	2831786	Filosofía bloque "B" G1
8	3805604	Economía (Monjas) K4

Tabla 3

**Tabla 3** Grupo de edificaciones del Campus Central según medidor.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por motivo de análisis se agrupan las edificaciones según el medidor que comparten (ver Tabla 3). El grupo de edificaciones 1 lo conforman Administración Central, Teatro y Biblioteca. El edificio de la Administración Central (A1) está conformado por tres bloques, dos de ellos con cubiertas rectangulares a dos aguas y cuyas pendientes son de 13.34% y 17.77%, mientras que la cubierta del tercer bloque es plana y su geometría es un polígono de ángulos rectos.

Al igual que la edificación anterior, el Teatro Carlos Cueva (A2) posee dos bloques con cubiertas inclinadas y uno con cubierta plana; la cubierta del bloque de mayor altura es rectangular a media agua con una pendiente de 22.23 %. El segundo bloque posee una cubierta caracterizada por su arista curva que posee un 13.34 % de pendiente. Por último, la cubierta plana del tercer bloque es un polígono de cinco lados rectos.

Las cubiertas de la Biblioteca Juan Bautista Vásquez (A3) son planas a distintos niveles, sus geometrías son

polígonos irregulares que, en comparación con las anteriores, presentan mayor complejidad. En cuanto a la materialidad de las cubiertas de este conjunto de bloques el material que predomina son planchas onduladas de fibrocemento, seguido del Gress, luego la teja y en menor área el hormigón (ver Imagen 28).



**Imagen 28** Planta de cubiertas de: Edificio Administrativo (A1), Biblioteca (A2), Teatro Carlos Cueva (A3)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

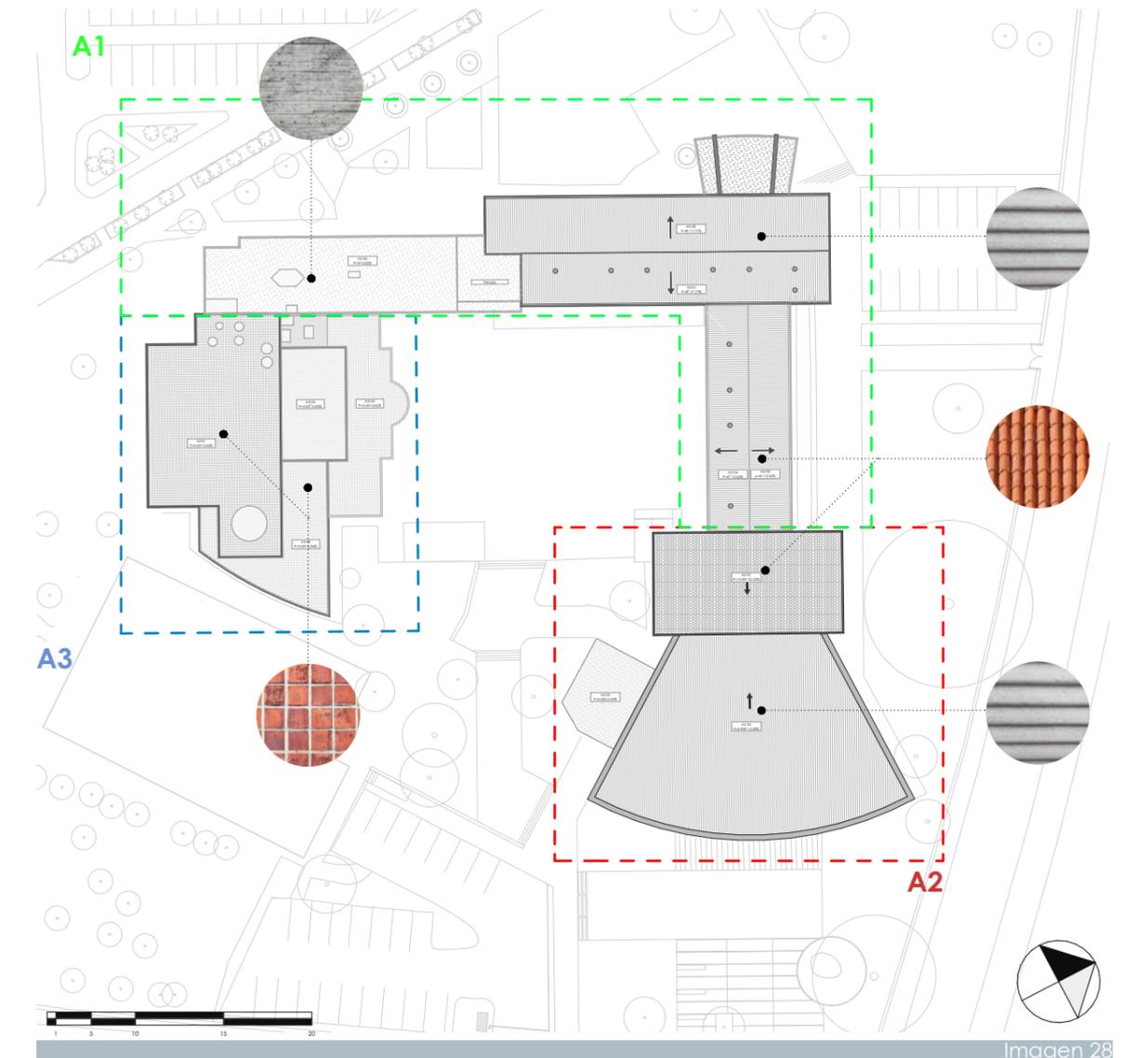


Imagen 28

De igual manera que los bloques anteriores, los edificios de Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1) y Laboratorios (D2) comparten medidor por su cercanía y se caracterizan por sus cubiertas inclinadas.

El edificio de Ciencias Químicas está constituido en su mayoría de una cubierta inclinada con 17 faldones de planchas onduladas de fibrocemento con pendientes de 22.23 %, 28.89 %, 33.34 % y 44.44 % y en menor proporción el bloque está cubierto por una losa plana de hormigón.

La Facultad de Ingeniería posee una cubierta inclinada con 15 faldones de planchas onduladas de fibrocemento y, a diferencia de Ciencias Químicas, toda la cubierta tiene la misma pendiente de 33.34 %.

La materialidad de la cubierta del edificio de laboratorios es de planchas onduladas de fibrocemento y policarbonato translúcido con pendientes del 33.34 %. Sus 15 faldones son polígonos regulares (ver Imagen 29).

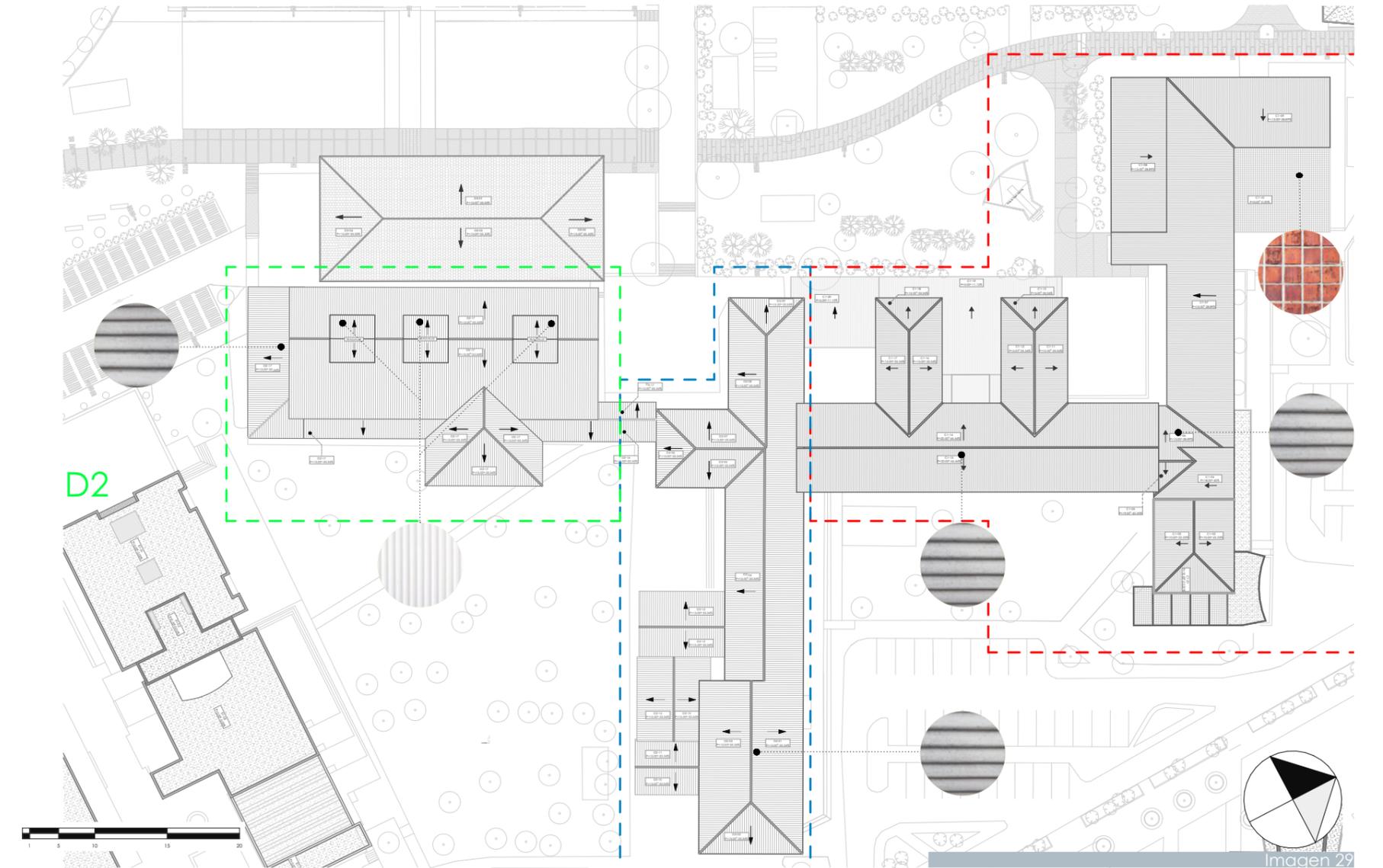


**Imagen 27** Ubicación de medidores del Campus Central de la Universidad de Cuenca

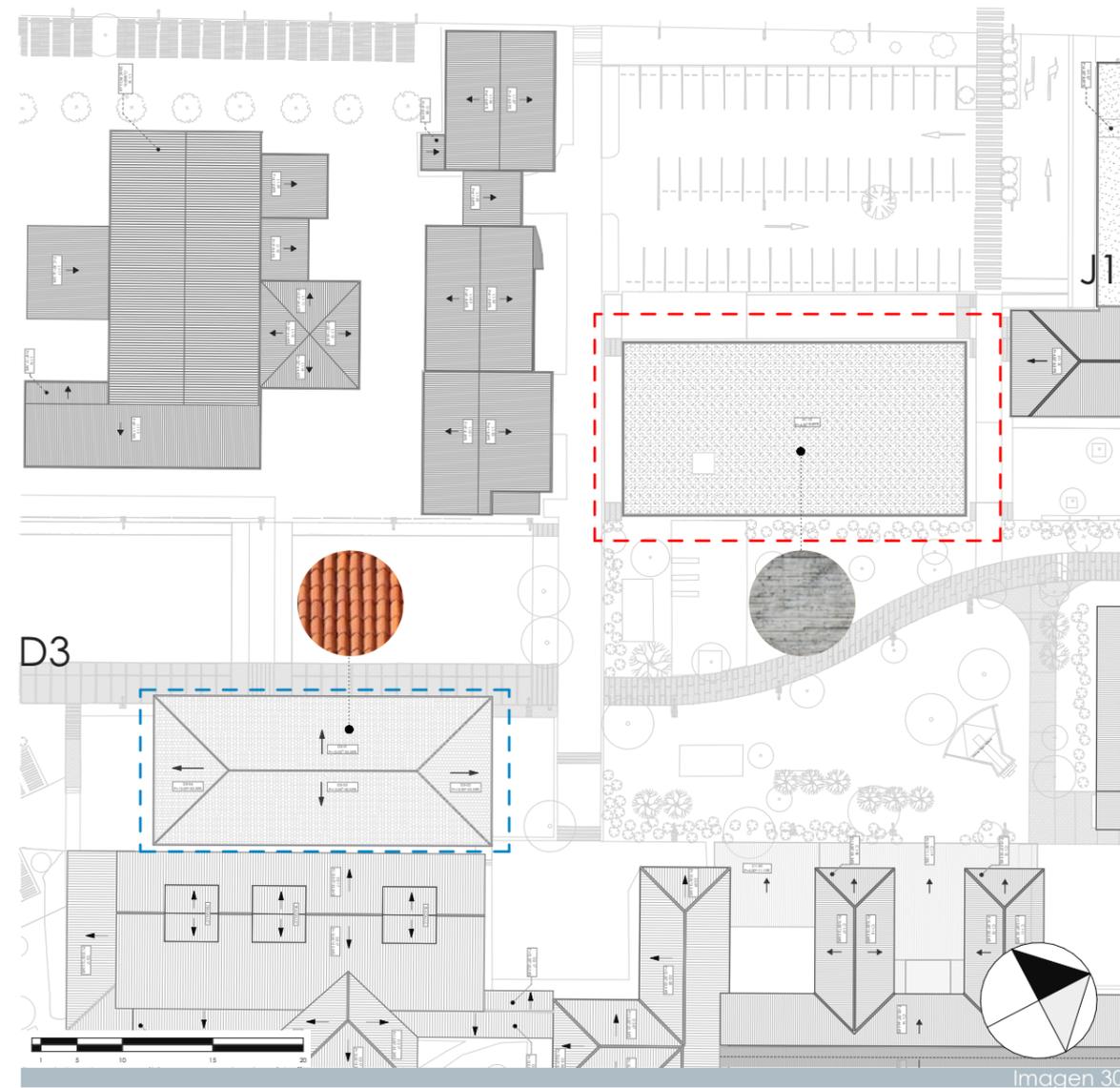
Fuente: Elaboración propia, 2021 En base a la información del Departamento de Planificación de la Universidad de Cuenca.

**Imagen 28** Planta de cubiertas de: Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1) y Laboratorios (D2)

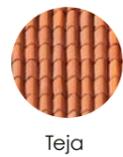
Fuente: Elaboración propia, 2021.



**Imagen 29**



El edificio de Psicología (J1) y del Programa para el manejo del agua y del suelo PROMAS (D3) conforman el grupo 5, como lo indica la Tabla 3. Las cubiertas de estos edificios se caracterizan por geometrías simples que se diferencian en que la cubierta del bloque J1 es plana y de hormigón, mientras que la cubierta del bloque D3 es a cuatro aguas con un ángulo de 15° o 33.33 % de pendiente, recubierta de teja de arcilla piramidal (ver Imagen 30).



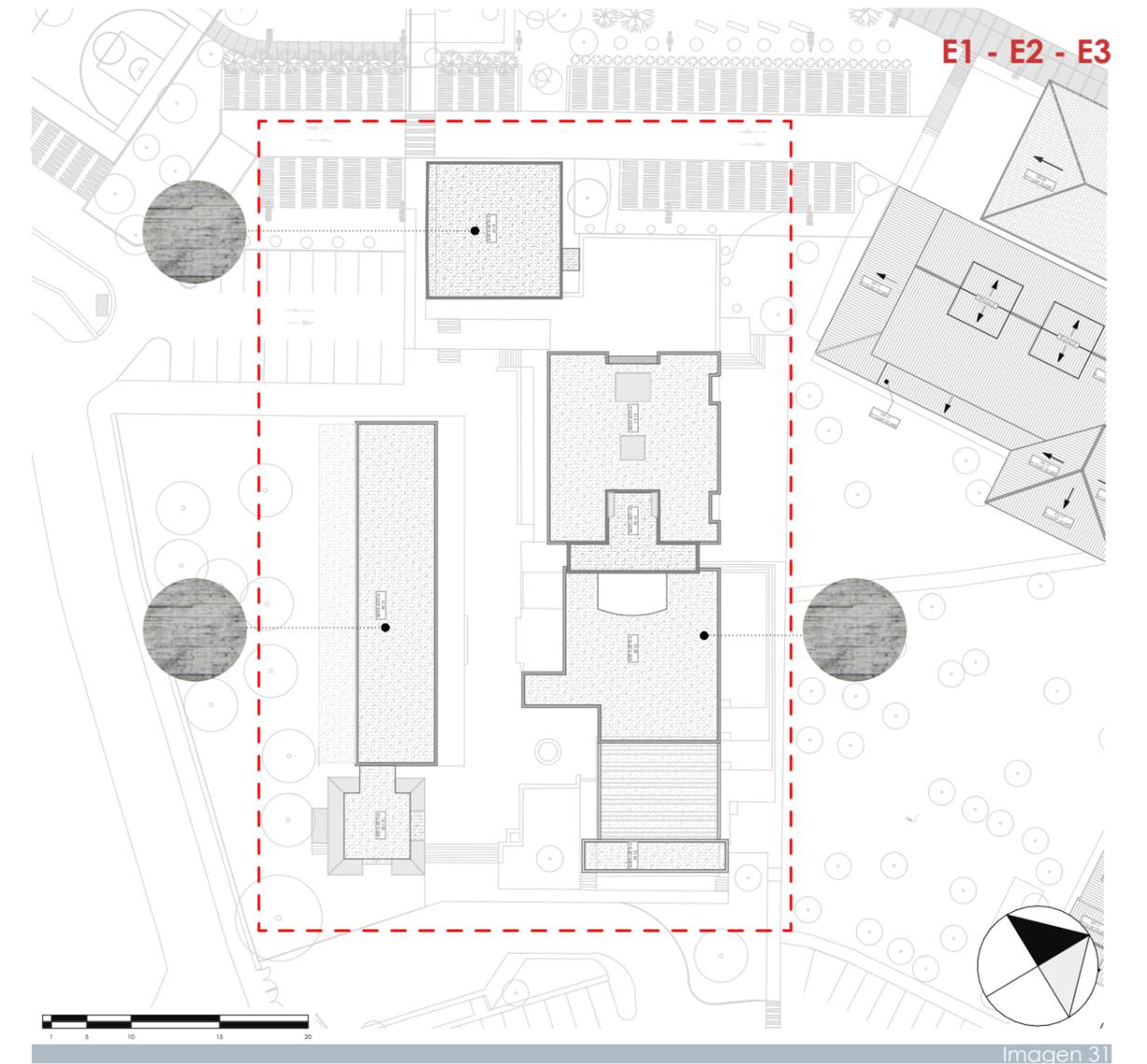
Teja



Hormigón

**Imagen 30** Planta de cubiertas de Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1) y Laboratorio de Suelos (D2).

La Facultad de Arquitectura (E1) está conformada por tres bloques con cubiertas planas de hormigón. En lo que respecta a su geometría, se aprecian tanto polígonos regulares como irregulares con ángulos rectos (ver Imagen 31).



Hormigón

**Imagen 31** Planta de cubiertas de Arquitectura (E1, E2, E3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

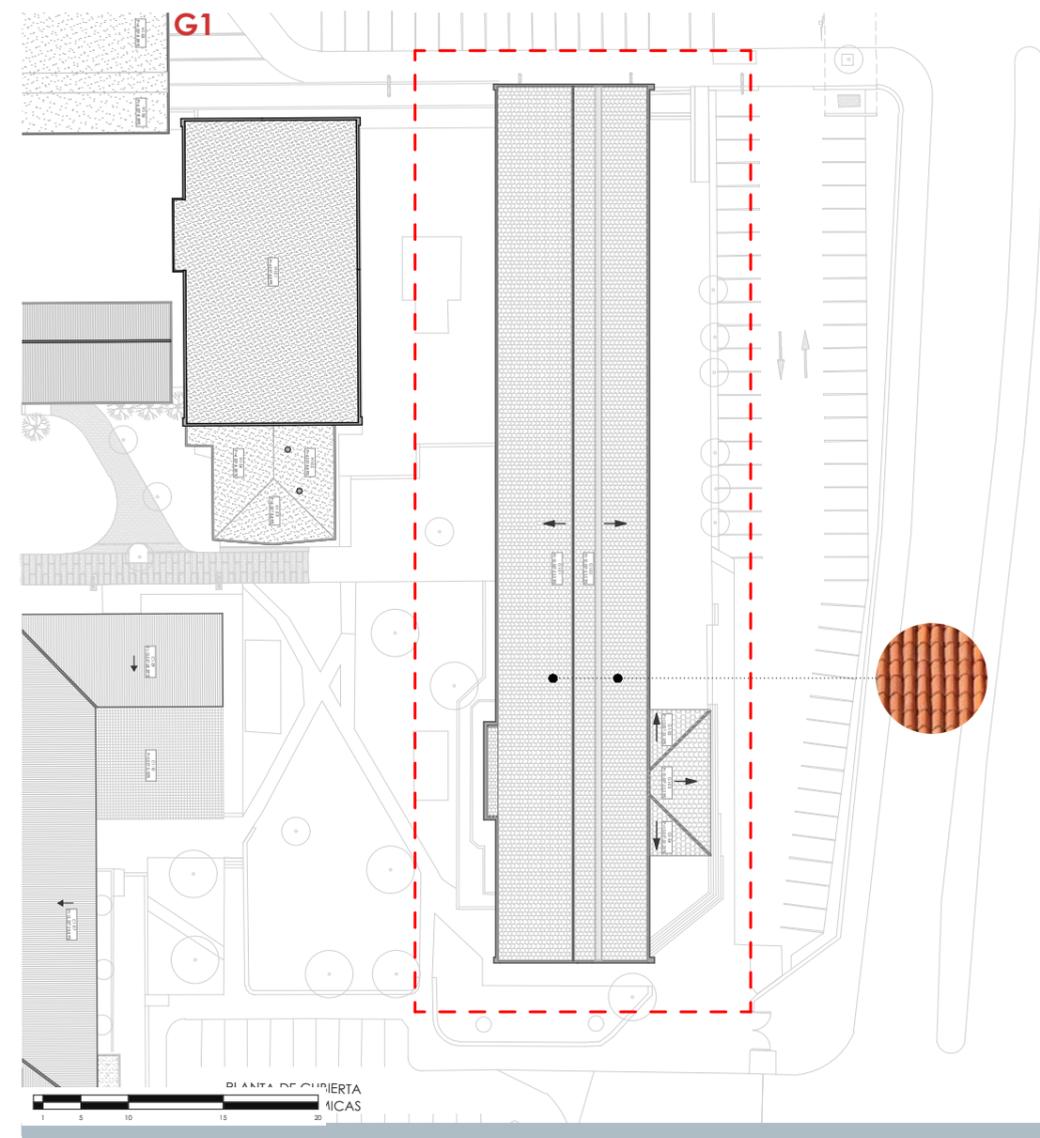


Imagen 32

La cubierta del bloque B de Filosofía (G1) es continua a dos aguas con una inclinación de  $10.00^\circ$  lo que representa una pendiente del 22.23%; su geometría es simple, compuesta de dos rectángulos alargados con una entrada de luz a lo largo de un faldón. En la primera planta alta existe un volado cubierto por faldones triangulares con igual pendiente que los faldones de la cubierta antes descrita. La materialidad del recubrimiento es de teja (ver Imagen 32).

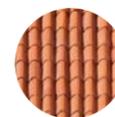
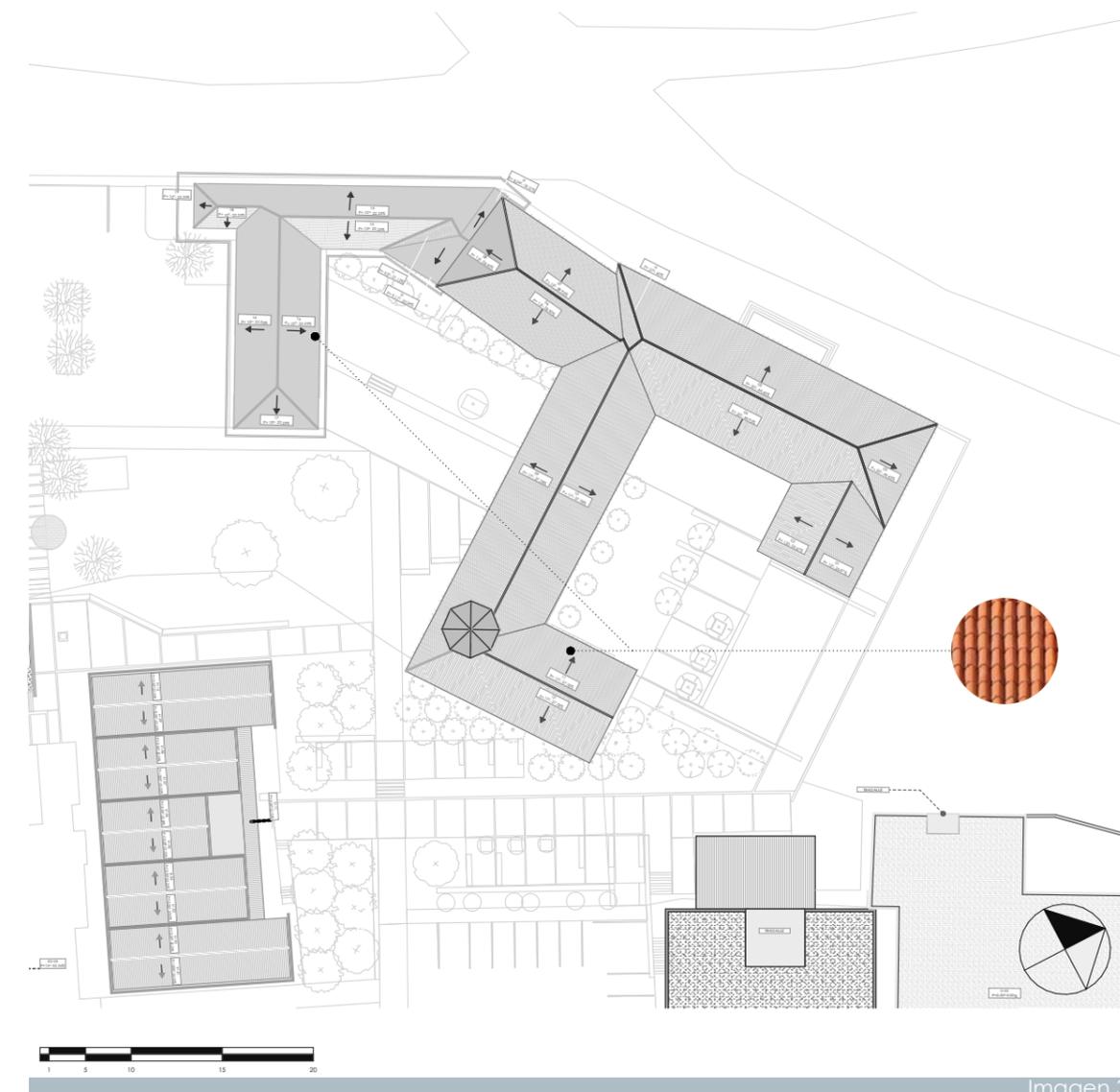


Teja

**Imagen 32** Planta de cubiertas de Filosofía bloque B (G1)

Fuente: Elaboración propia, 2021

El bloque de Economía K4 (Monjas), catalogado como edificio patrimonial, se estructura con una cubierta de teja con 22 faldones de geometrías, generalmente irregulares y con pendientes que varían de entre el 20.14 % y el 44.45 % (ver Imagen 33).



Teja

**Imagen 33** Planta de cubiertas de Economía (K4).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 33

La facultad de Jurisprudencia (H1) está conformada por tres bloques, dos con cubierta plana y el otro con cubierta inclinada. Las cubiertas planas tienen formas regulares y su material es hormigón. Las cubiertas inclinadas son a tres aguas, con pendientes del 8.8 %.

A la facultad de Filosofía bloque A (I1) la conforman dos volúmenes. La cubierta de uno de ellos es plana, con forma rectangular; su recubrimiento es de hormigón. El segundo bloque presenta una cubierta plana y una inclinada, con predominio de planchas de fibrocemento onduladas.

La Facultad de Economía es el conjunto de tres edificaciones (K1, K2, K3). K1 posee una cubierta compuesta por 10 faldones rectangulares recubiertos de planchas de fibrocemento con una pendiente del 22 %, la edificación K2 posee 4 cubiertas a distintos niveles, una de ellas es plana, rectangular de hormigón y las otras tres son inclinadas, dos de ellas son a dos aguas con pendientes del 11.12 % y 31.12 %, la tercera es más compleja,

con 6 faldones de 33 % de pendiente. Las cubiertas inclinadas están recubiertas de planchas de fibrocemento onduladas y planchas metálicas onduladas en menor superficie.

El CREDU posee cubiertas cuya materialidad son planchas onduladas metálicas, 10 de sus faldones poseen pendientes de 8.88 %, 4 de 44.45 % y 3 de ellos de 17.78 %, y otros 2 con pendiente del 16.22 %. Además, el área de la piscina tiene una cubierta semicircular de planchas onduladas metálicas (ver Imagen 34).

**Imagen 34** Planta de cubiertas de Jurisprudencia (H1), Filosofía (I1, I2), Economía (K1, K2, K3), CREDU (L1).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

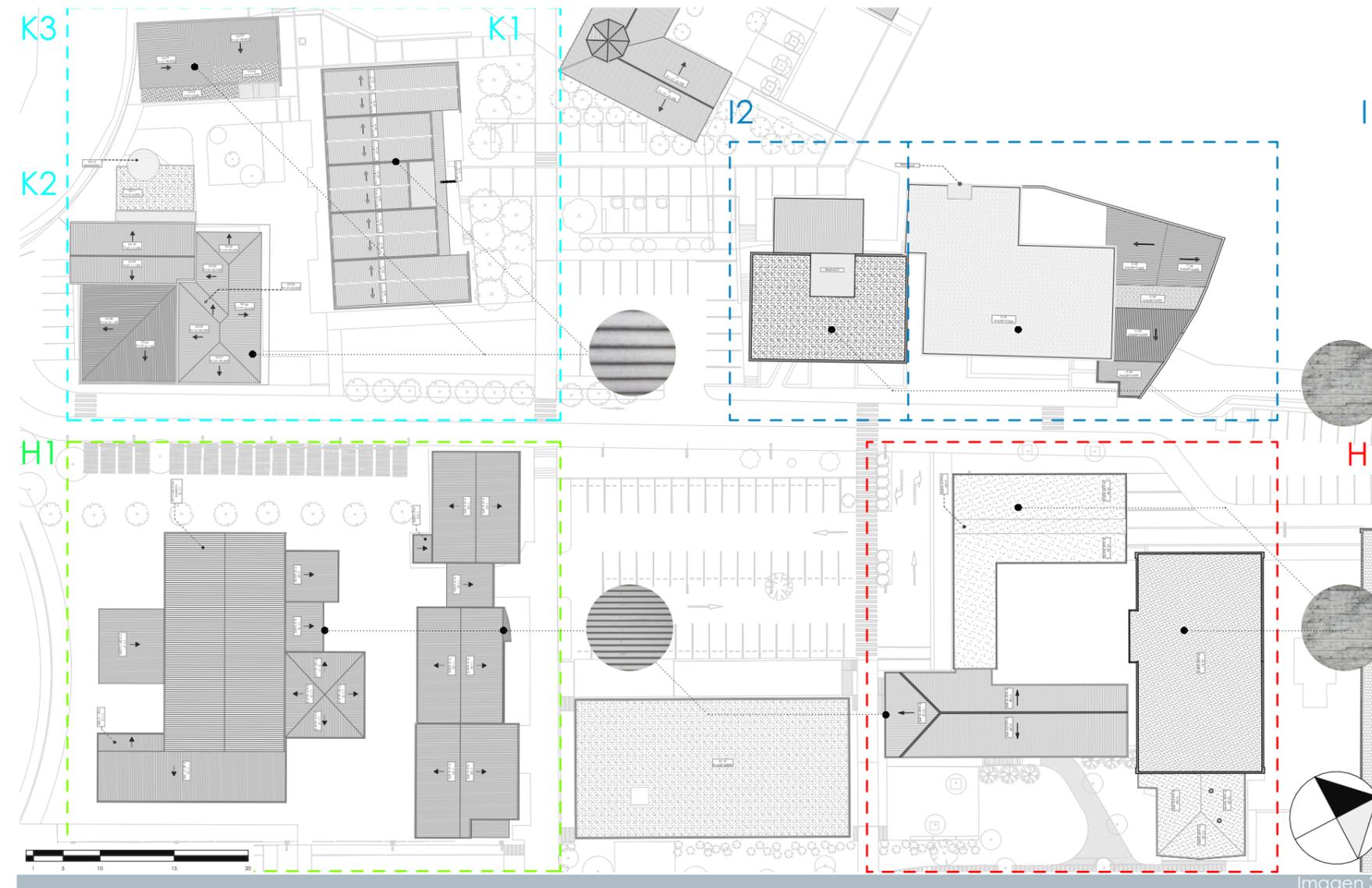


Imagen 34

Los Talleres de mantenimiento (M1) son un grupo de cinco construcciones de una planta con cubiertas de fibrocemento a media agua y a dos aguas. Sus pendientes varían del 12.00 % al 22.00 % y sus geometrías generalmente son rectangulares.

La Guardería (M2) es una edificación de dos plantas, con una cubierta a dos aguas de planchas de fibrocemento y sus faldones son polígonos irregulares con pendientes del 12.00 %.

Al igual que la guardería el Coliseo (N1), posee una cubierta de planchas de fibrocemento a dos aguas con la diferencia de que sus faldones son rectangulares y con una pendiente del 38.44 %.

El edificio del Instituto de Educación Física (O1) presenta dos cubiertas planas de hormigón y una cubierta inclinada de planchas metálicas. La forma de una cubierta de hormigón es triangular y la otra es un polígono irregular de mayor área. En cuanto a la cubierta inclinada, su forma es un

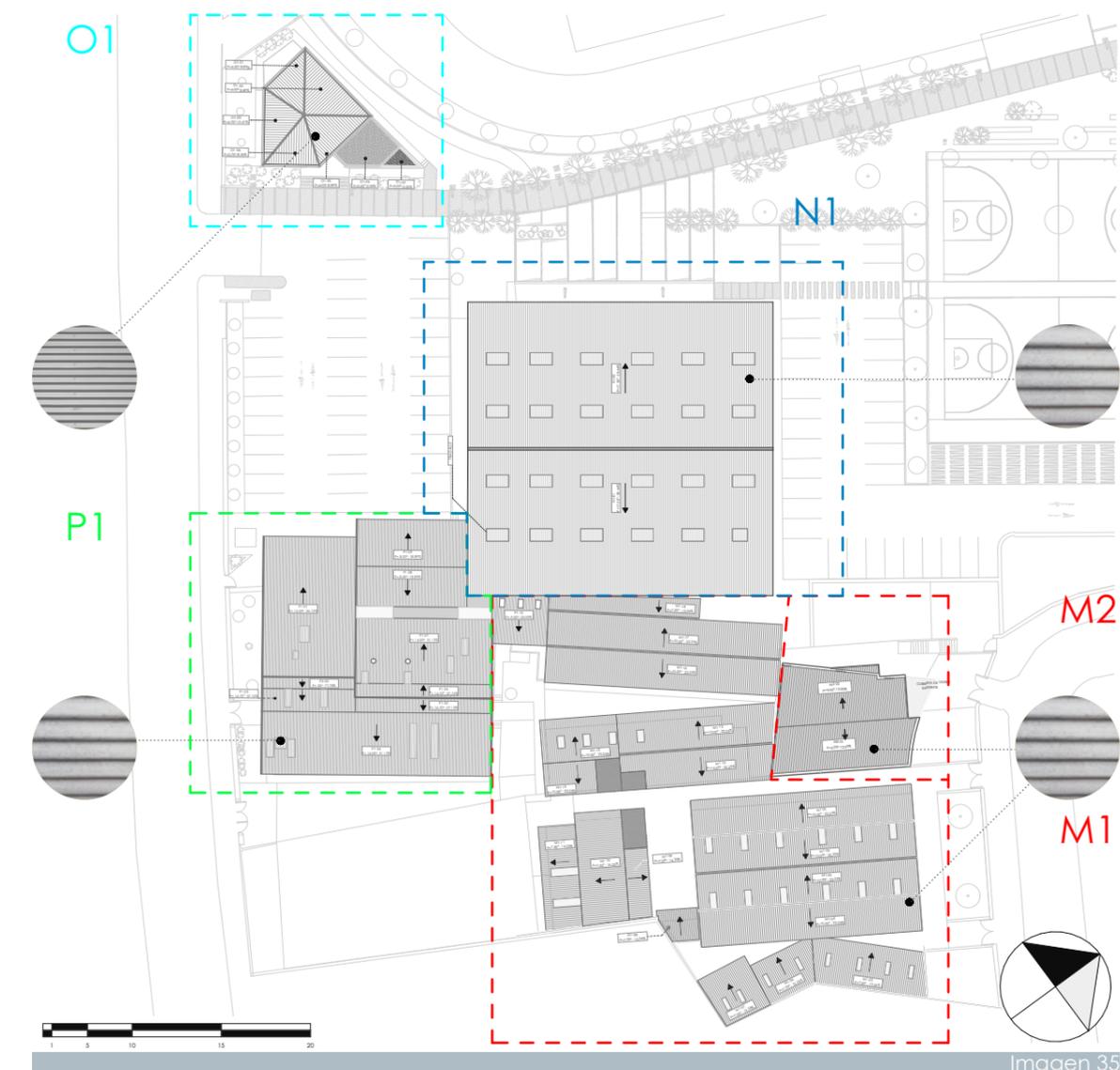
pentágono irregular con 3 faldones de 8.89 % de pendiente, y los dos faldones restantes de 8.34 % y 10.41 %.

Las cubiertas del Talento Humano (P1) están compuestas por 9 faldones rectangulares cuyas pendientes son de entre el 18.98 % y el 31.12 %. El material de estas cubiertas es de planchas onduladas de fibrocemento y planchas metálicas con predominio del primero (ver Imagen 35).



**Imagen 35** Planta de cubiertas de Educación Física (O1), VLIR (P1), Coliseo (N1) y Guardería (M2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.



### 3.3 Análisis de sombra de las techumbres de los edificios del Campus Central

Se analizó la incidencia solar y de sombras en las techumbres de los edificios del campus central a partir del modelado 3D y del uso del software en línea Sunpath3D. El horario establecido para la simulación fue de 09h00 a 17h00 horas durante el equinoccio de otoño – primavera, periodo en el cual la incidencia del sol es la más favorable, debido a que las oscilaciones climáticas estacionales en ciudades ecuatoriales andinas son mínimas (Barragán Escandón et al., 2020).

En el grupo de edificaciones 1 se observó que la incidencia de sombras afectó parcialmente a cinco de los doce faldones, tres de ellos corresponden a la biblioteca y los otros dos al bloque administrativo. No obstante, la proyección de las sombras empieza a afectar a partir de las 15:00 horas. La mayor superficie de techumbre recibe un 100 % de incidencia solar durante

todo el día por lo que la captación se ve mínimamente afectada (ver Imagen 36).

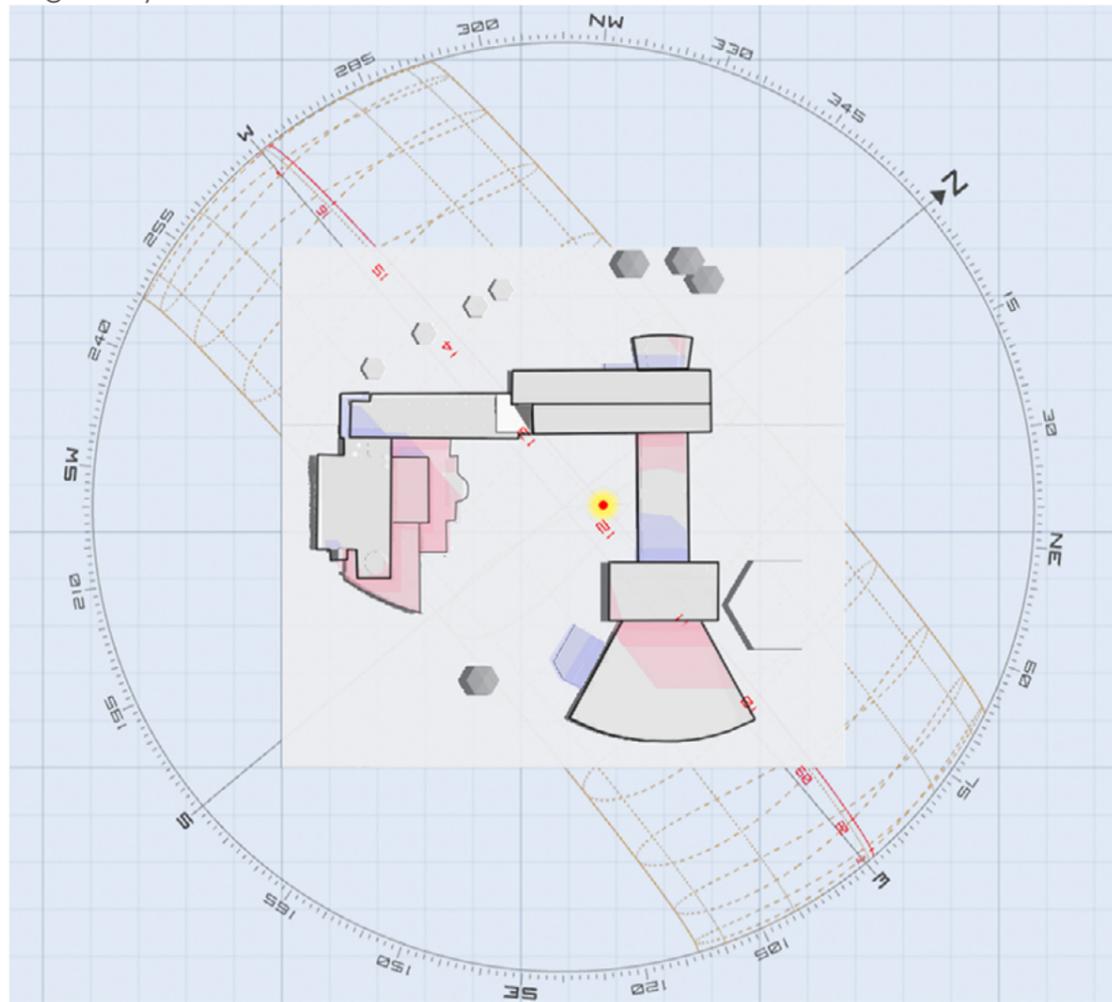


Imagen 36

En el grupo 2 de edificaciones se apreció que los faldones más afectados son seis, pertenecientes a los laboratorios de las ingenierías y ASO escuela, debido a que en su entorno inmediato se presentan volúmenes y vegetación de mayor altura. Los faldones restantes reciben luz durante todo el día (ver Imagen 37).

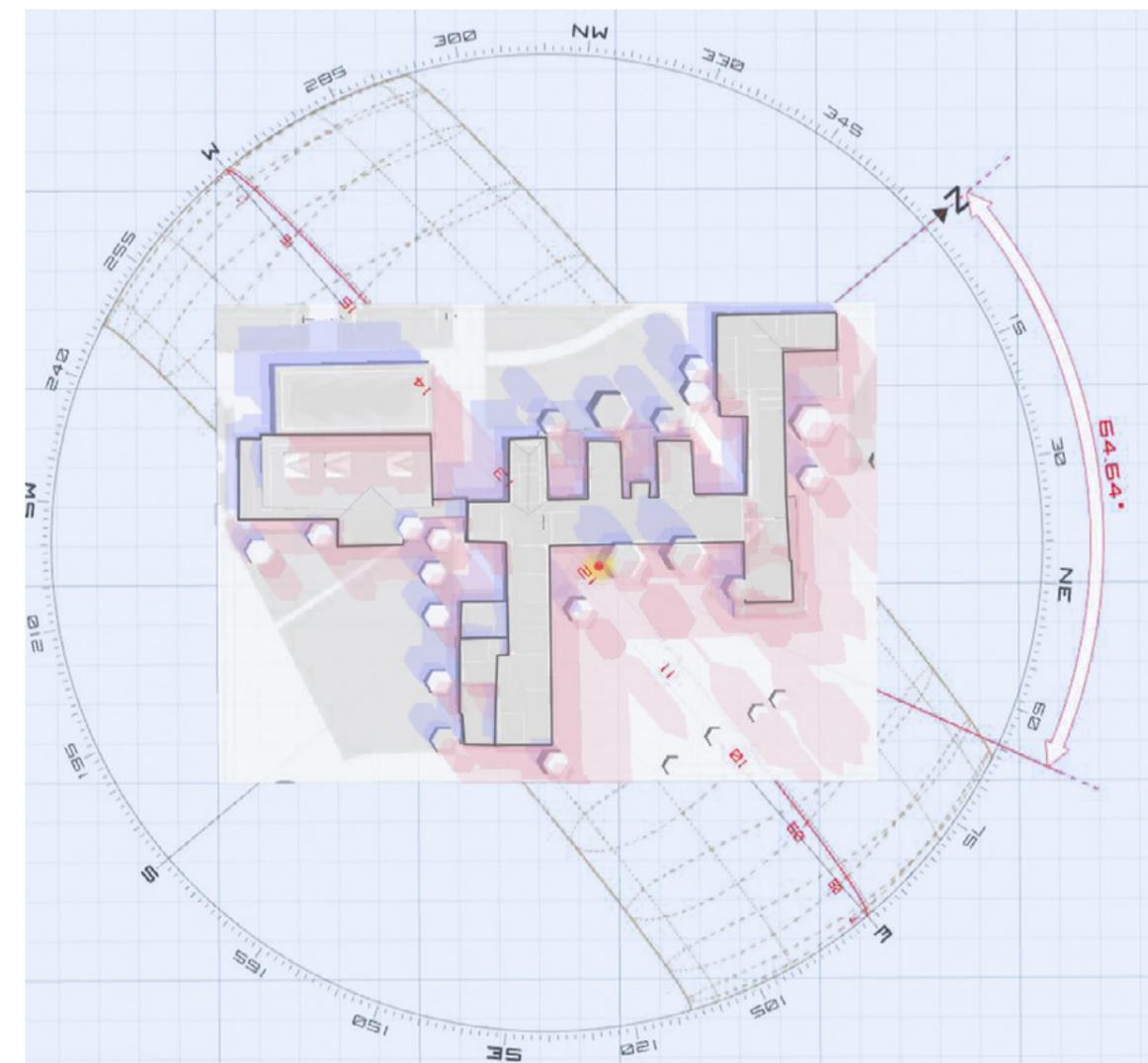
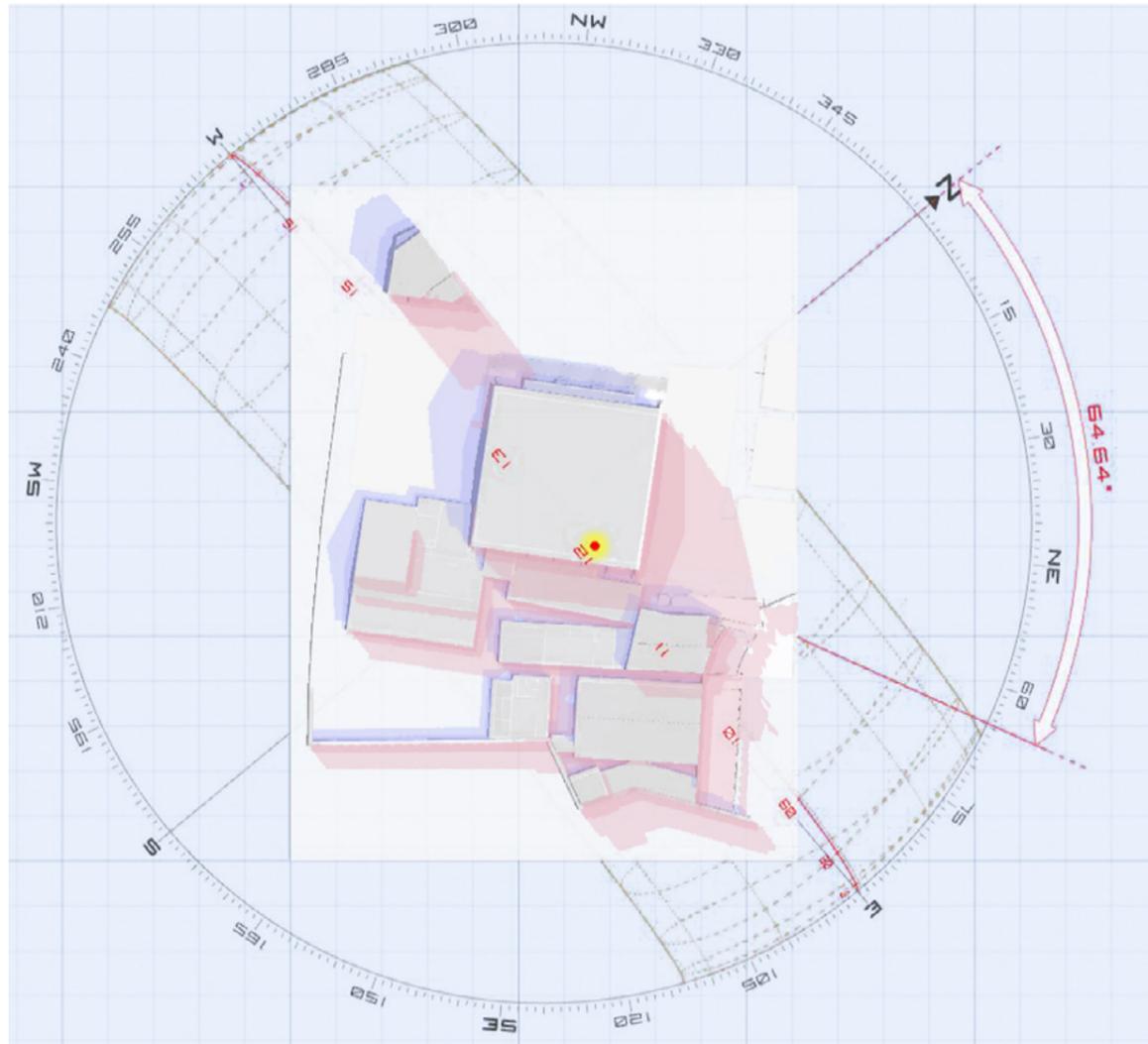


Imagen 37

**Imagen 37** Análisis de sombra del Grupo 2: Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1), Laboratorio Suelos (D2)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En el grupo 3, los faldones afectados por incidencia de sombra son los de la unidad de administración de bienes e inventario, bodega general y auditoría interna pertenecientes a los Talleres de Mantenimiento, en el resto de superficie no se observó incidencia de sombra (ver Imagen 38)

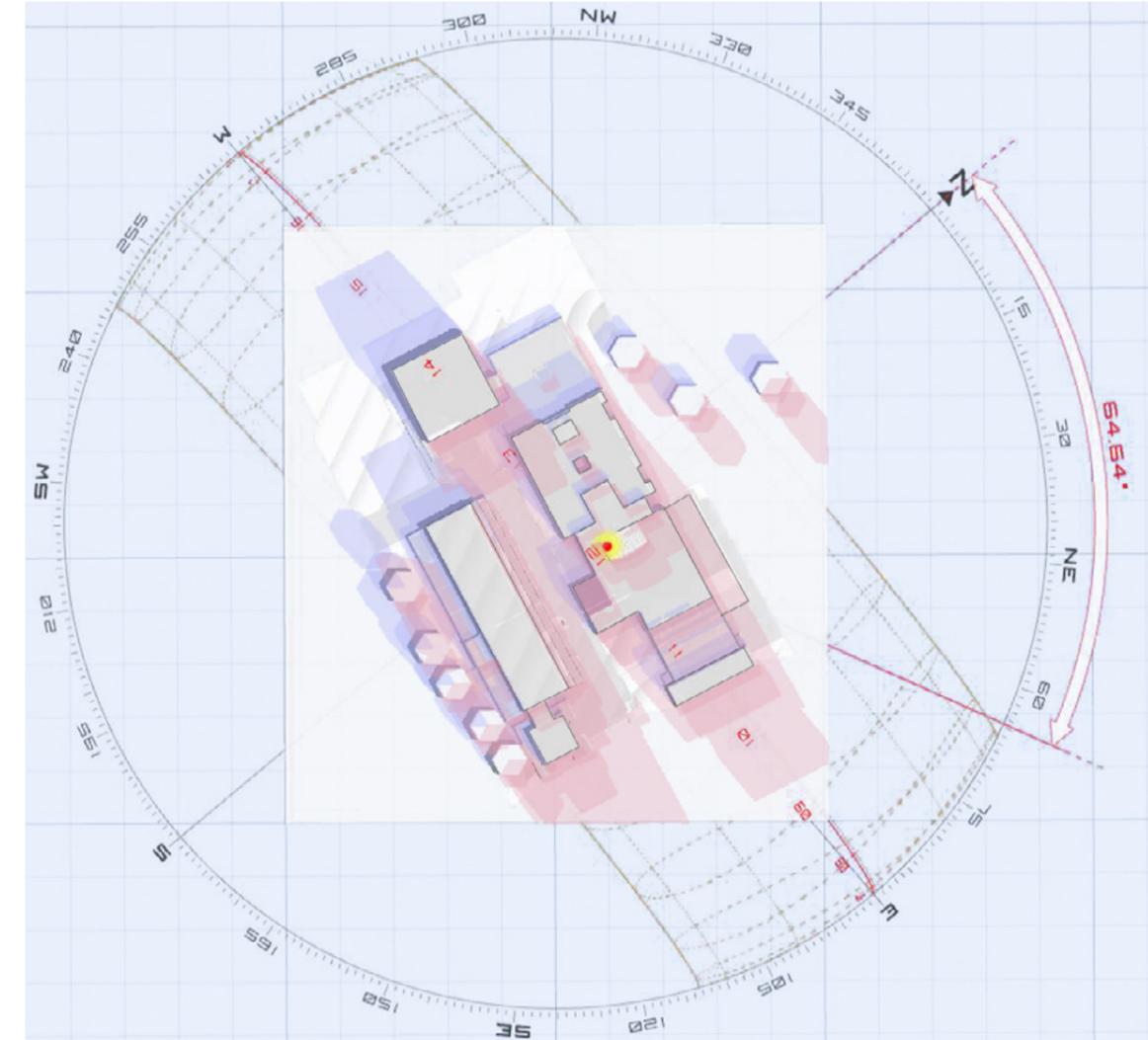


**Imagen 38** Análisis de sombra Grupo 3: Educación Física (O1), VLIR (P1), Coliseo (N1) y Mantenimiento (M1) y Guardería (M2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 38

En el grupo de edificaciones de Arquitectura, la techumbre del auditorio y de las oficinas de docentes del bloque C son las más afectadas, pues se encuentra entre bloques y vegetación de mayor altura. Las losas de cubierta del bloque C y de posgrados reciben 100 % de iluminación durante todo el periodo de análisis (ver Imagen 39).

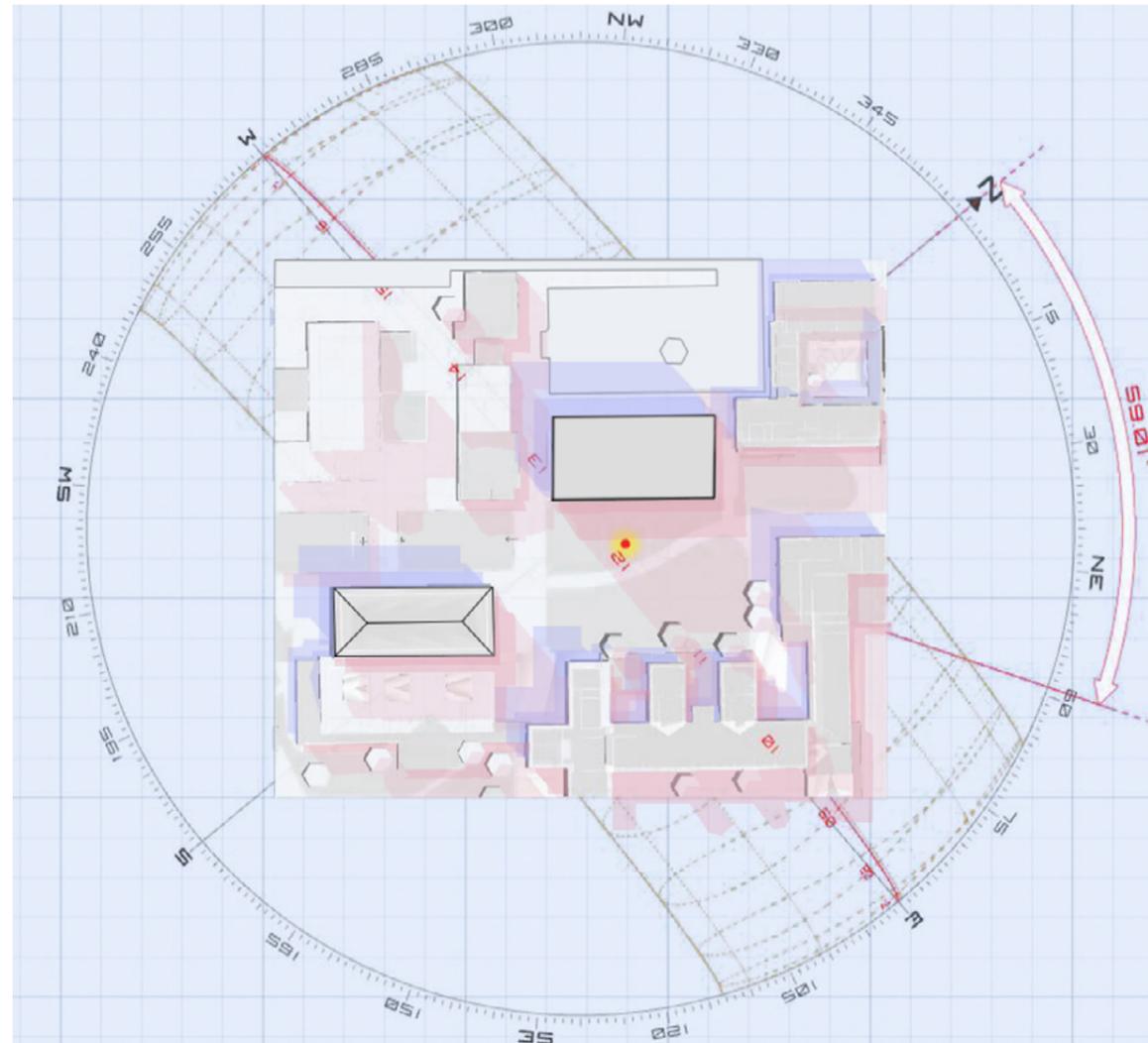


**Imagen 39** Análisis de sombra del Grupo 4 Arquitectura (E1, E2, E3)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 39

En los edificios de PROMAS y Psicología (grupo 5), se observó que no existe incidencia de sombras a causa de su nivel de cubierta (ver Imagen 40).

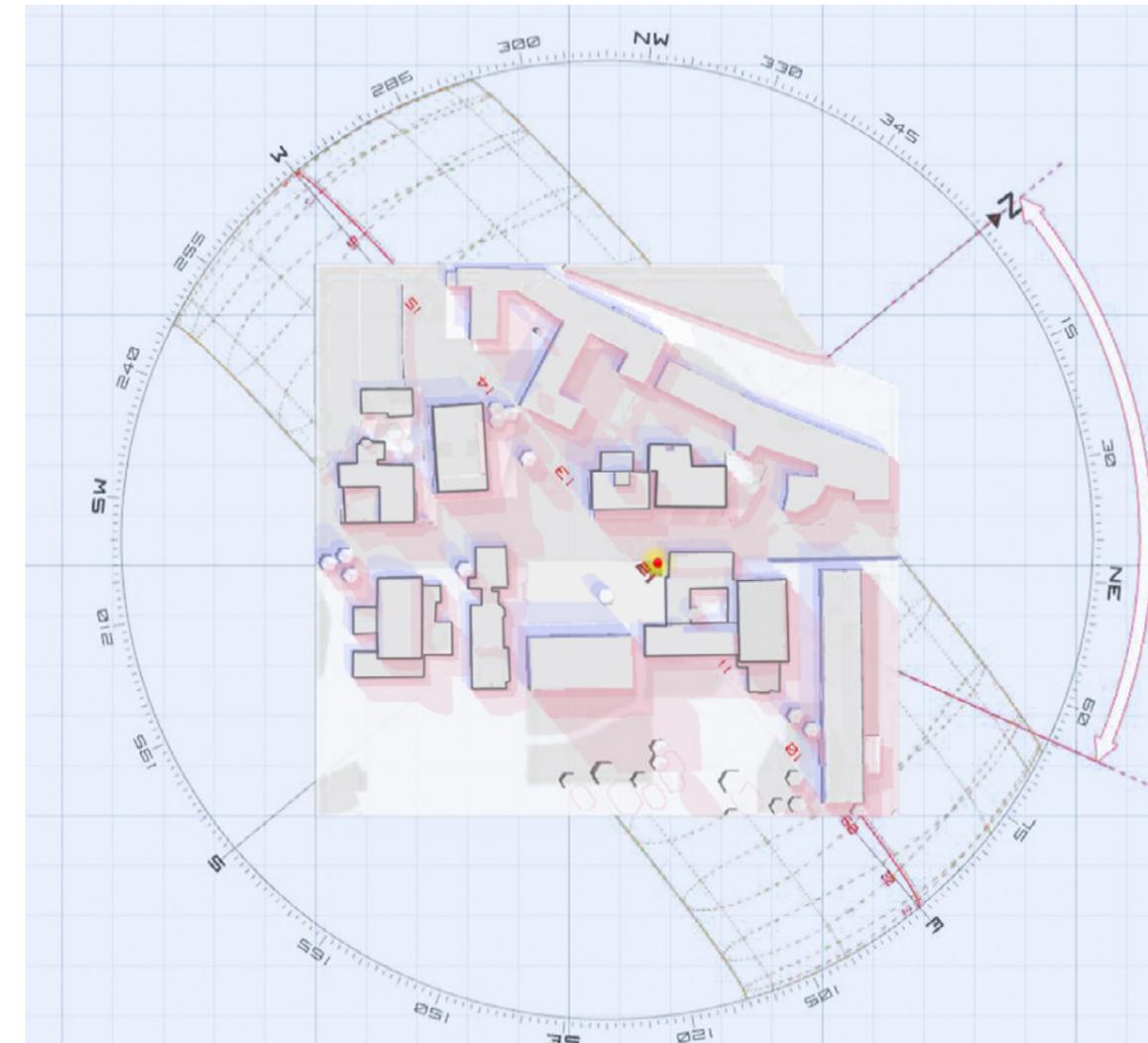


**Imagen 40** Análisis de sombra Grupo 5: Psicología (J1) y PROMAS (D3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 40

En el grupo 6, se apreció que los faldones afectados por la proyección de sombra son cuatro, estos reciben incidencia de sombra debido a que sus niveles son más bajos que de los faldones de los edificios contiguos; el resto de faldones no recibe sombra durante el día (Ver Imagen 41).

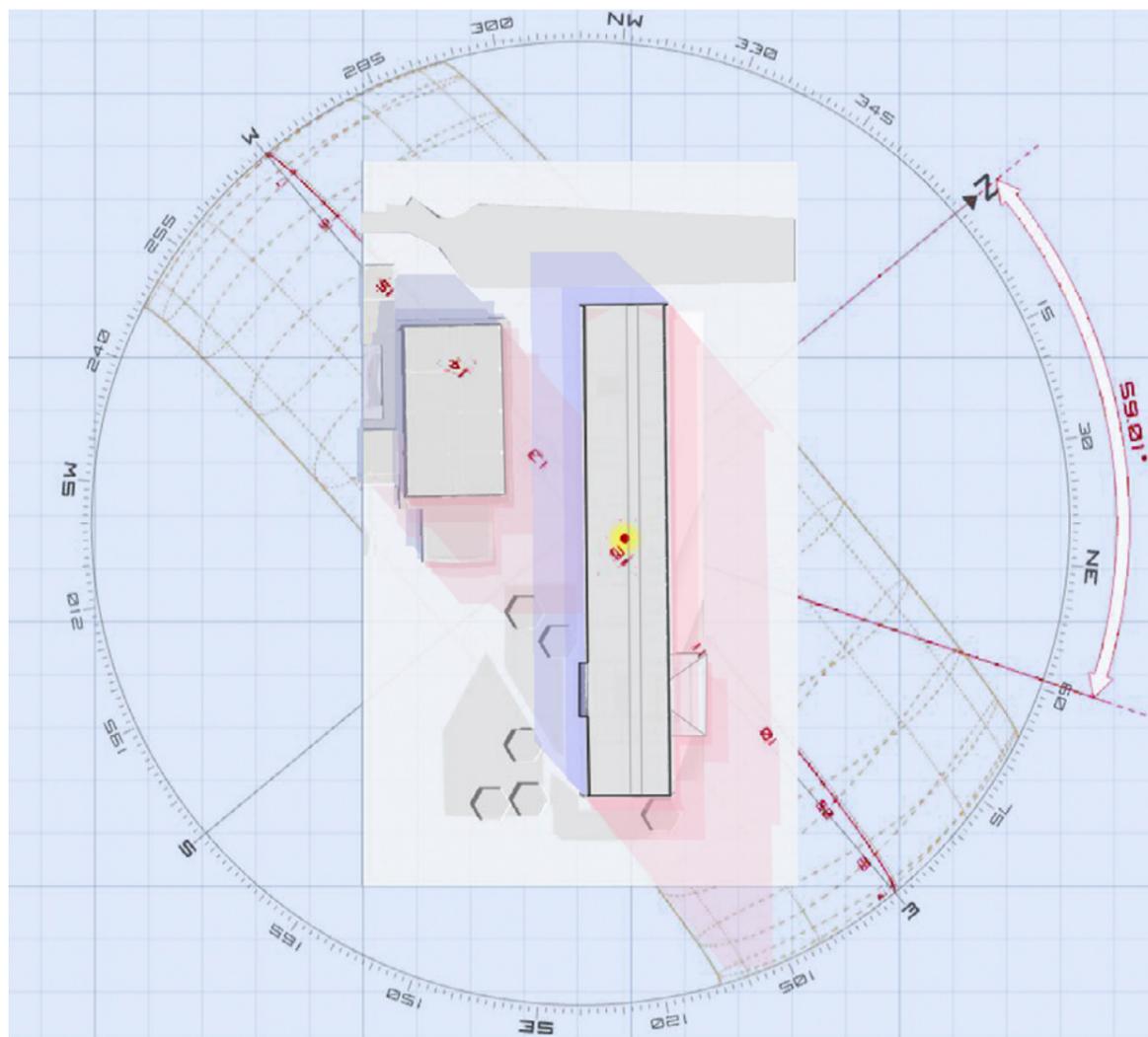


**Imagen 41** Análisis de sombra del Grupo 6 Economía (K1, K2, K3), Filosofía A (I1, I2), CREDU (L1) y Jurisprudencia (H1).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 41

El bloque de Filosofía B presenta incidencia de sombra en tres faldones, estos faldones pertenecen al auditorio y están a una altura menor que los faldones que no reciben sombra. Así mismo, en su entorno inmediato la vegetación y los bloques son menores en altura (ver Imagen 42).

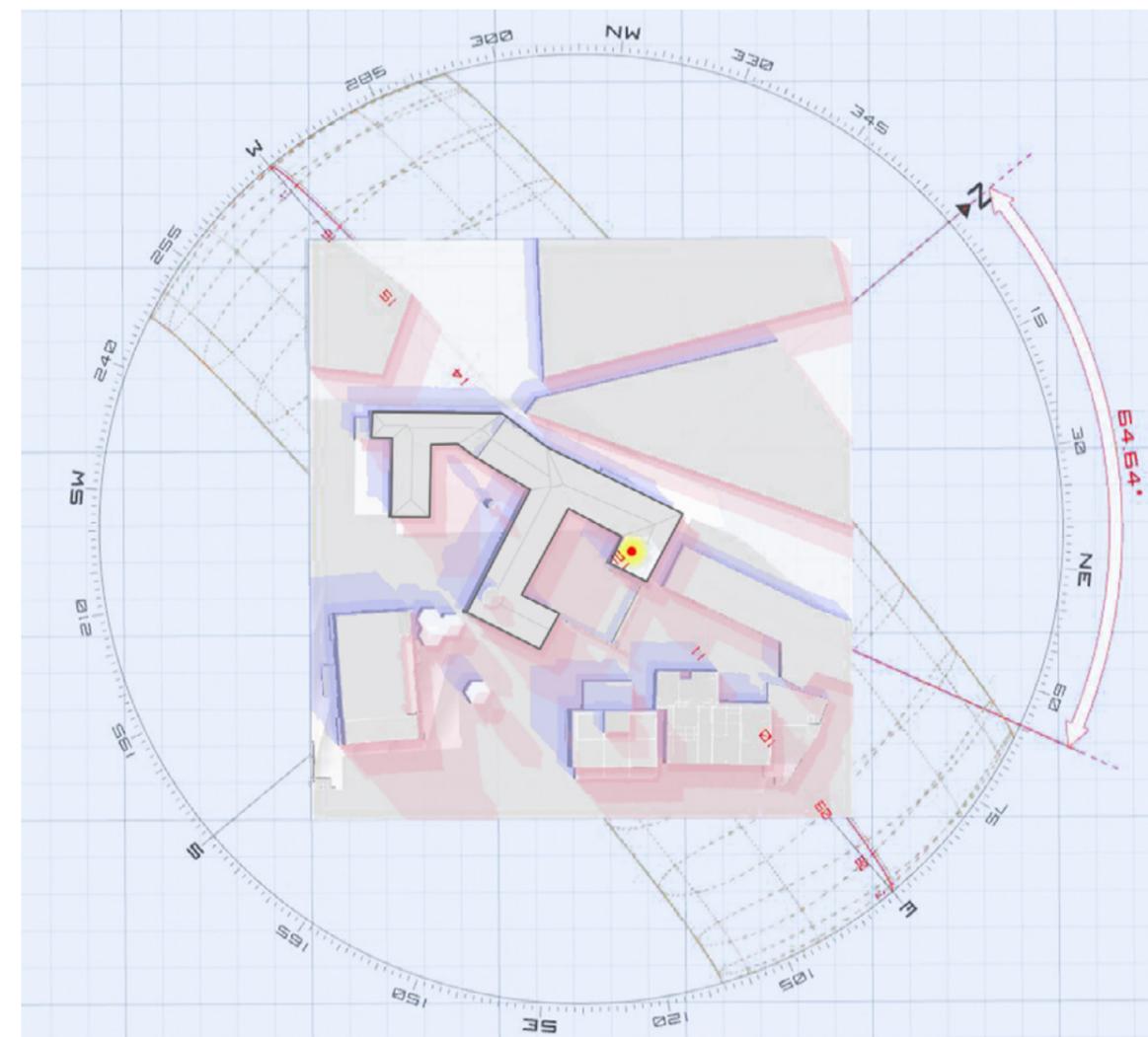


**Imagen 42** Análisis de sombra Grupo 7: Filosofía bloque B

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 42

Por último, en el edificio de Economía K4 (Monjas) se apreció que la incidencia de sombra es mínima en dos de sus faldones, debido a la presencia del campanario; el resto de faldones recibe luz durante todo el periodo de análisis ( ver Imagen 43).



**Imagen 43** Análisis de sombra Grupo 8: Economía (K4)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Imagen 43

### 3.4 Consumo y Demanda Energética

El campus central de la Universidad de Cuenca abarca las facultades de Arquitectura, Economía, Filosofía, Jurisprudencia, Ingeniería, Ciencias Químicas, Instituto de Cultura Física y Psicología. Además, se encuentran servicios universitarios como el Centro de Documentación Juan Bautista Vázquez, dispensario médico, laboratorio clínico de atención al público, Centro de Desarrollo Infantil Los Angelitos, almacén universitario, Cooperativa de Consumo, Fondo Provida, Teatro Carlos Cueva Tamariz, coliseo, CREDU, estadio, imprenta, Unidad de Cultura, ventanilla única del IESS, Museo Universitario, y radio universitaria *online*. También encontramos al rectorado, vicerrectorado y los departamentos administrativos como Bienestar Universitario, Dirección Administrativa y Financiera. Todos estos servicios universitarios y facultades brindan sus servicios a 8441 estudiantes, 581 docentes y 124 empleados (Universidad de Cuenca, 2018).

En el 2019, el total de consumo eléctrico del campus central fue de 1,776,136.84 kWh, lo que representó un costo de 142,976.61\$, el medidor del grupo 1 registró el mayor consumo, con 577,491.00 kWh, mientras que el medidor de Monjas registró el menor consumo energético, 72,969.00 kWh con un costo equivalente a 6,105.96\$.

Durante el mismo año el consumo de gas y diésel fue de 29,850 kg y 4,097.73 galones, respectivamente. El uso de estos recursos se produce en su mayoría en el CREDU para el control de temperatura de una piscina de 400m<sup>3</sup>. El precio del kg de gas en el 2019 era de 0.1066\$, mientras que el precio del diésel era de \$1.037 por galón, lo que generó un gasto económico de 3,184.01\$ para el abastecimiento de gas y 4,249.35\$ para el abastecimiento de diésel dando un total de 7,433.36\$. En la actualidad con el alza al subsidio al diésel el costo del mismo es de 1.90\$, mientras el kilogramo de GLP mantiene su precio a 0.1066\$ (Petroecuador EP, 2022); en relación al consumo del diésel y GLP en el 2022 el gasto económico llegaría

ser de 7,787.59\$ y 3,184.01\$ respectivamente lo que supondría un gasto total anual de 10,971.16\$.

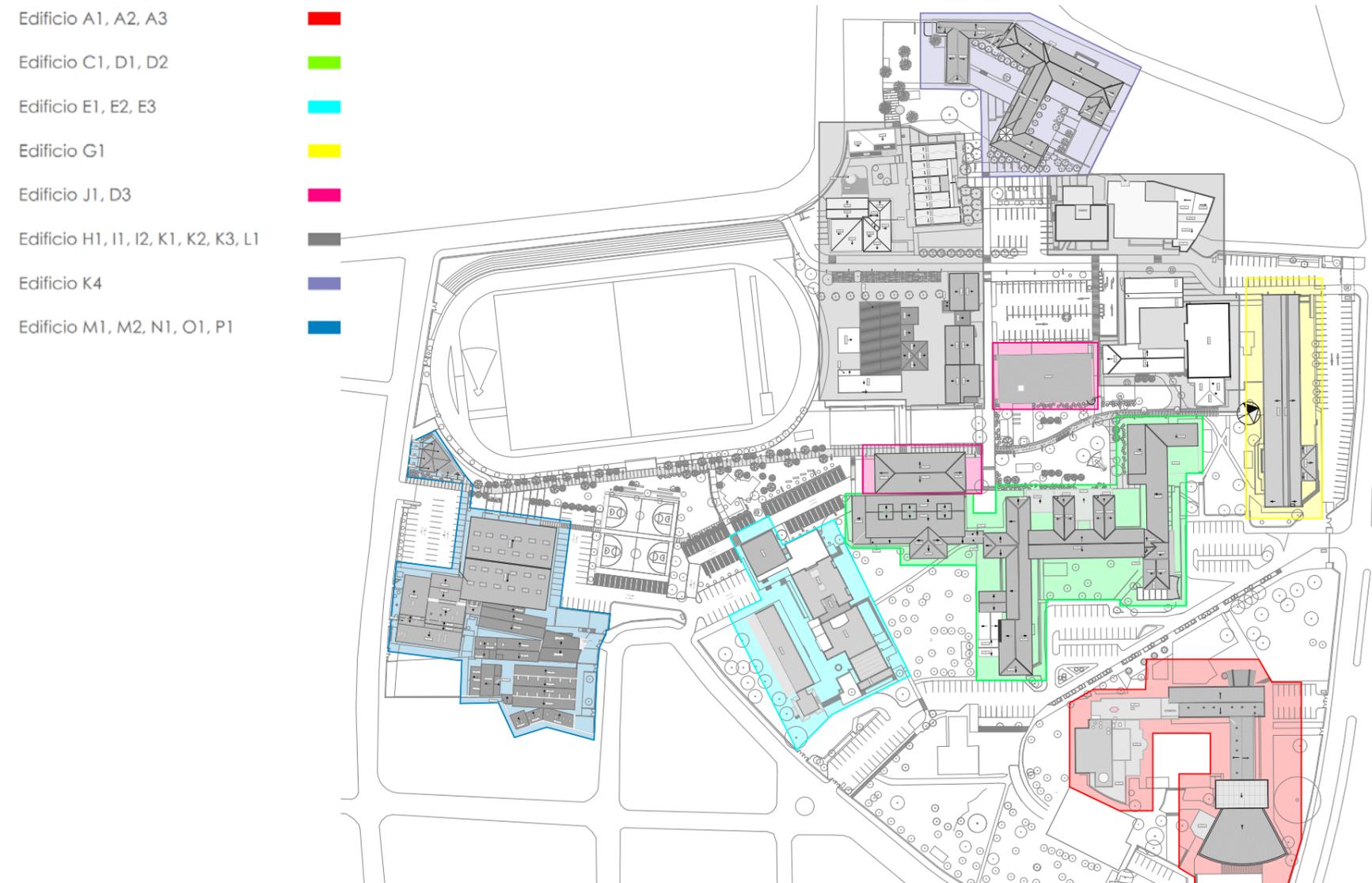


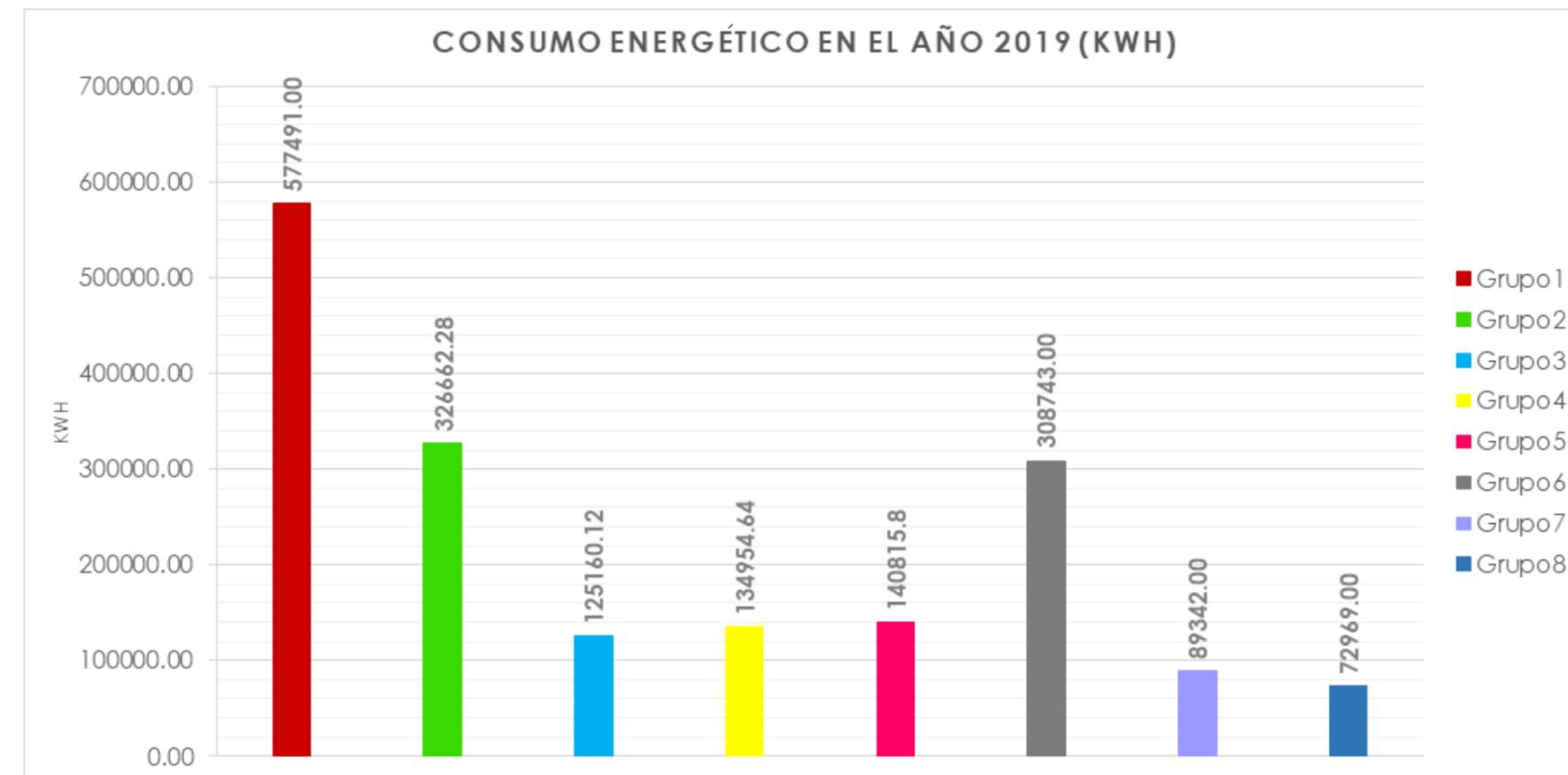
Imagen 27

Medidor	Lugar/Facultad	Grupo	Color	Consumo Energético en el año 2019 (kWh)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)	Costo \$
2831765	Teatro Carlos Cueva Biblioteca Edificio Administrativo	1		577.491,00	236770.9	48601.53
2831805	Ingeniería Ciencias Químicas Laboratorio suelos	2		326.662,28	133931.5	28198.55
2831816	Talleres de Mantenimiento Estadio Coliseo Instituto de Educación Física VLIR Guardería	3		125.160,12	51315.6	10086.21
2857694	Arquitectura	4		134.954,64	13832.6	11036.42
9876459	Psicología Promas	5		140.815,80	57734.15	11395.49
2831755	Filosofía bloque "A" Jurisprudencia Economía Posgrados Economía CREDU Instituto de Idiomas	6		308.743,00	126584.63	24312.57
2831786	Filosofía bloque "B"	7		89.342,00	36630.22	7125.92
3805604	Economía (Monjas)	8		72.969,00	29917.29	6105.96
	Lugar/Facultad			Consumo Energético en el año 2019	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)	
GLP	CREDU	6		29850	89251.5	<b>3184</b>
Diesel	CREDU	6		4097.73	44487.27	<b>4249.35</b>

Tabla 4

**Tabla 4** Consumo energético, costo por consumo, emisiones CO<sub>2</sub> y colorimetría

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**Gráfico 4** Consumo Energético total en el año 2019

Fuente: Elaboración propia, 2021.

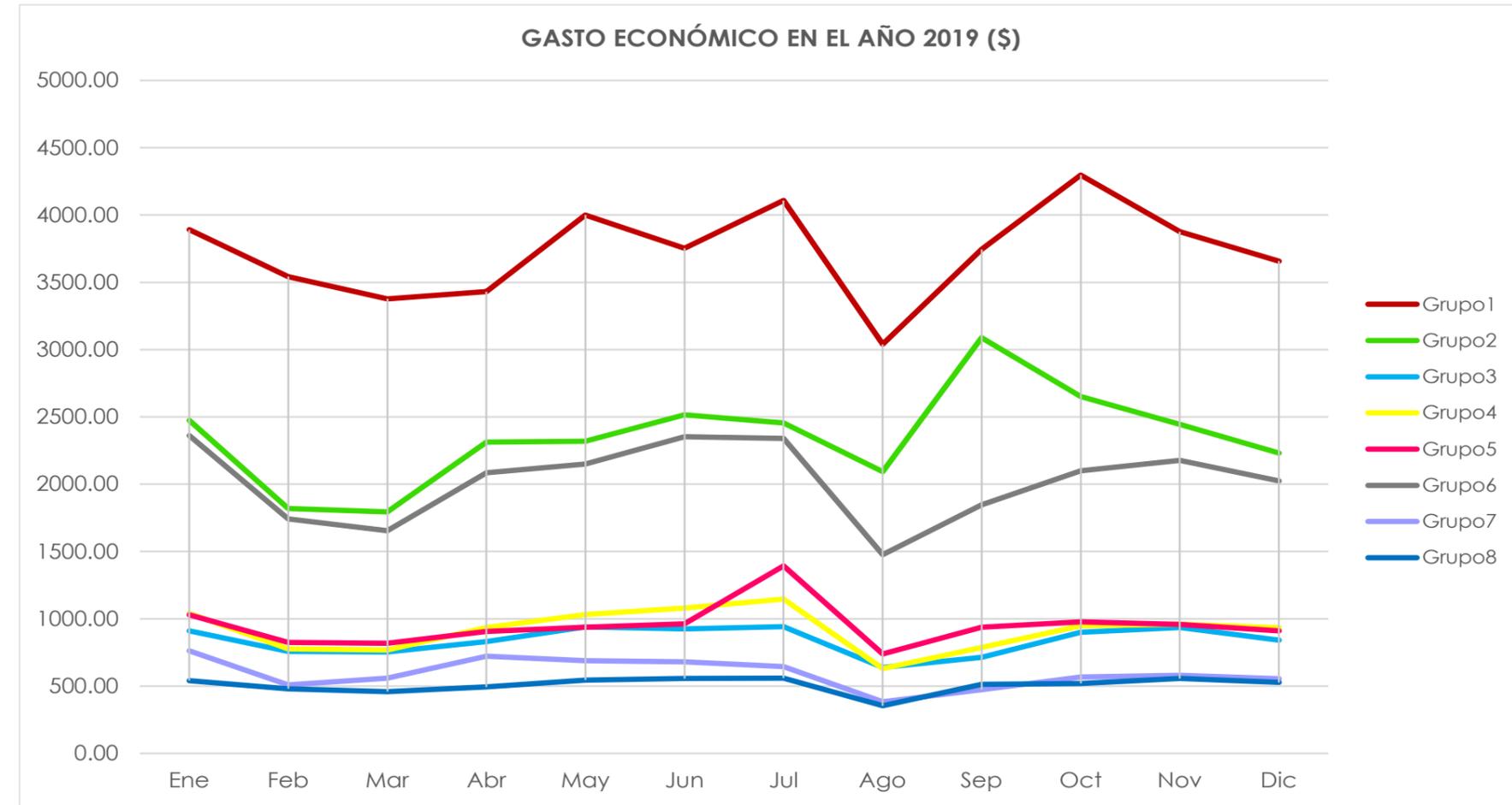


Gráfico 5 Costo económico por consumo energético.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Gráfico 6 Costo económico por consumo de gas y diésel

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Gráfico 5

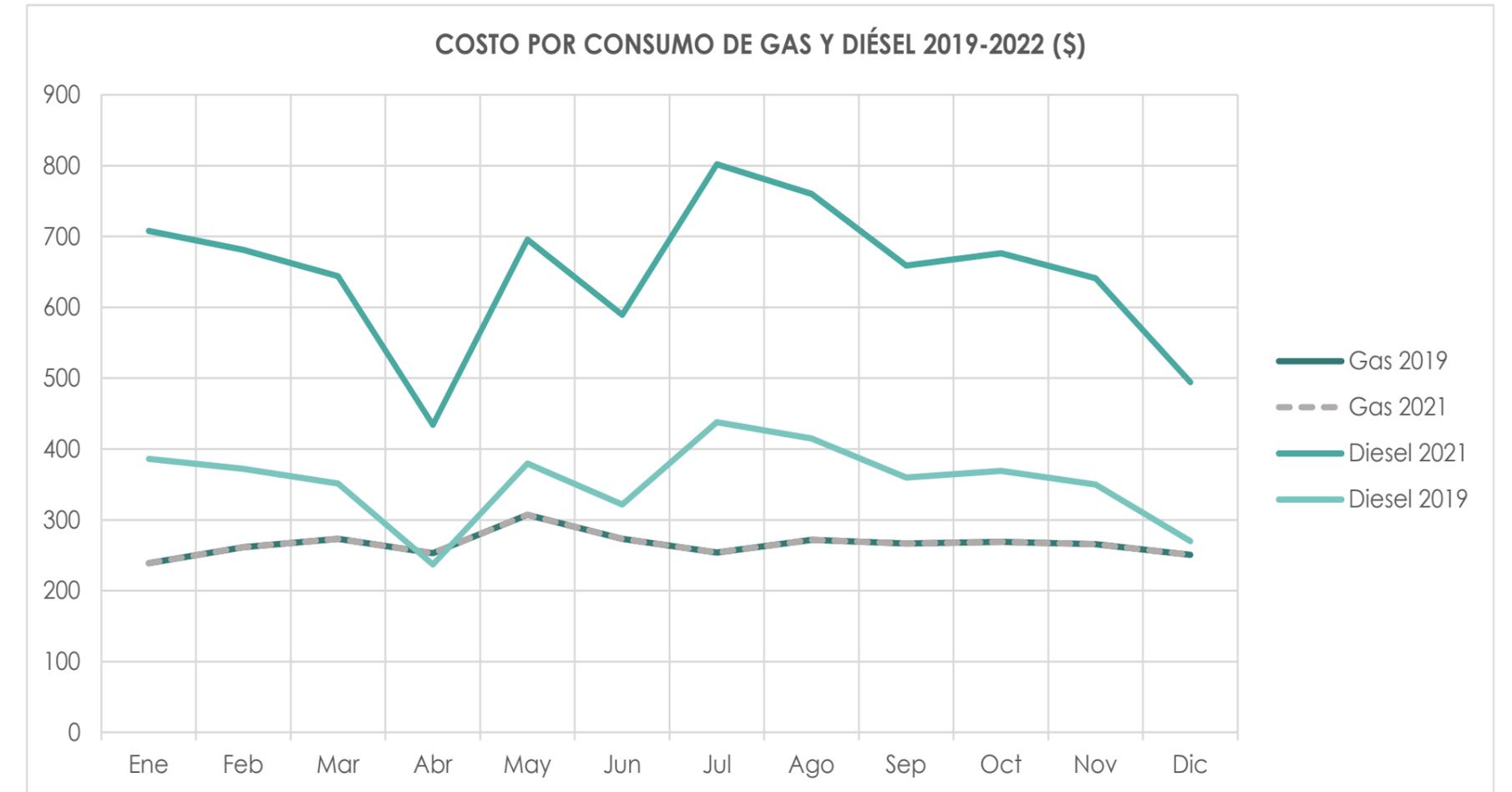


Gráfico 6

CAPÍTULO  
04

# Potencial Solar del Campus Central de la Universidad de Cuenca

## 4.1 Análisis, Simulaciones y Resultados

### 4.1.1 Requerimientos y parámetros para el diseño PV

#### 4.1.1.1 Orientación e inclinación

Según Izquierdo y Pacheco, (2017) para latitudes cercanas al Ecuador, el ángulo óptimo de inclinación corresponde a valores cercanos a la latitud; además en su estudio efectuado en el mes de diciembre del 2016 y enero de 2017, se determinó que la configuración óptima para la ciudad de Cuenca es el este, a  $14^{\circ}$ , sin embargo con diferencias mínimas respecto a las otras orientaciones.

#### 4.1.1.2 Sombras

La incidencia de sombras en los módulos PVs ocasiona una significativa disminución en su rendimiento

porque cada celda está conectada en serie. Sumado a esto, la incidencia de sombra provocará que la celda se comporte como una carga resistiva, calentándose y poniendo el riesgo del panel entero (Silva, 2020).

#### 4.1.1.3 Temperatura y ventilación

Se recomienda provocar ventilación pasiva en la parte posterior del módulo que permita su enfriamiento, ya que cuando la temperatura de los módulos aumenta se reduce la tensión hasta el 10 % de la potencia. Se recomienda 15 cm de distancia entre el recubrimiento de la cubierta y el módulo PVs para que la pérdida de potencia sea mínima (SUPSI/ISAAC, 2013)

#### 4.1.1.4 Suciedad

La acumulación de polvo en la superficie del panel solar es un problema subestimado que afecta la viabilidad de una instalación solar. La suciedad reduce la cantidad de radiación solar que recibe el dispositivo al reducir la transmitancia de la

cubierta protectora, además reduce la capacidad de reflectividad y convergencia del sistema óptico de concentración (Mehmood et al., 2017).

#### 4.1.1.5 Mantenimiento

Todo tipo de sistema solar lo requiere. Se pueden diferenciar dos tipos de mantenimiento: (a) preventivo, se puede llevar a cabo por personal no especializado; (b) no preventivo, se debe realizar por personal cualificado.

Para el mantenimiento del sistema PVs y CSTs, se recomienda una revisión de por lo menos una vez al año para maximizar su aprovechamiento energético, aumentar su disponibilidad y prolongar su vida útil (Delpin & Moreno, 2017).

#### 4.1.1.6 Aspectos Constructivos

En cuanto a los aspectos constructivos y a las características de los sistemas solares, se presentan impactos estructurales sobre sus apoyos oca-

sionados por: (a) Peso propio, el cual debe ser transferido correctamente a su estructura portante. (b) Resistencia frente a la fuerzas del viento. (c) Las nuevas solicitaciones frente al cálculo inicial sobre las estructuras existentes. (d) La fijación debe evitar los puentes térmicos y el valor U de la envolvente no debe afectarse (Marin, 2018).

## 4.2 Descripción de la tecnología a utilizar



Imagen 44

Imagen 44 Panel monocristalino SPR-A400-BLK

Imagen 45 Cuelas Maxeon de Sunpower

Fuente: Sunpower, 2021.



Imagen 45

### 4.2.1 Panel monocristalino SPR-A400-BLK

El panel Sunpower SPR-A400-BLK proviene de los fabricantes Sunpower. a diferencia de los paneles convencionales posee células solares de cobre macizo (Maxeon cell) que maximizan la producción y el ahorro de energía (ver Imagen 44 y 45). Además, la celda solar es 65 % más grande, lo que da como resultado una mayor potencia por metro cuadrado que cualquier panel solar disponible comercialmente. El panel posee 66 celdas monocristalinas, mide 1835x1016x40 mm, con un peso de 20 kg. Entrega un total de 400W / 39.5V y posee un marco de aluminio de alta calidad de 40 mm (SunPower, 2021).

La fijación a la cubierta se da por medio de perfiles que se acoplan sobre la cubierta existente y se anclan los paneles PVs sobre perfiles de aluminio.

### 4.2.3 Colector Solar plano FKT-2W horizontal

Los captadores solares FKT de Junkers pueden instalarse en cualquier tipo de tejado, e integrarse de manera adecuada en la arquitectura del edificio. Poseen un sistema hidráulico doble serpentín que mejora su rendimiento. Sus dimensiones son 2170x1175x87 mm, el aislamiento es de lana mineral con una densidad elevada y un grosor de 55 mm, lo que contribuye de forma determinante al aislamiento térmico eficaz y, en consecuencia, favorece la reducción del costo energético. El peso es de 45 kg y posee una eficiencia de 62 % (Junkers Bosch, 2021).



Imagen 46

Imagen 46 Colector solar plano

Imagen 47 Sección 3D Colector solar plano

Fuente: Junkers, 2021.

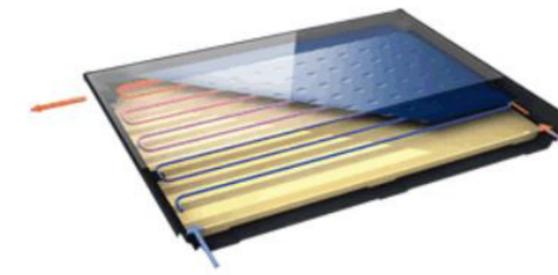


Imagen 47

### 4.3 Rediseño de cubiertas según tecnologías solares.



Imagen 48

**Imagen 48** Placas fotovoltaicas sobre techumbre onduladas acondicionadas para generar ventilación pasiva.

Fuente: <http://www.sdyabaite.com>

Se determinan aspectos generales para las dos tecnologías PVs descritas en la metodología respecto a adaptabilidades geométricas de faldones, pendiente, inclinación y azimut, que son detalles que inciden en colocación de PVs y, por tanto, en su rendimiento. Se plantean modificaciones menores en la techumbre para desplegar o integrar los PVs, respetar la iluminación cenital existente, aunque con modificaciones leves en concordancia con la geometría de los PVs. Paralelamente, se presentan maneras de anclar las tecnologías solares a los distintos tipos de cubiertas.

#### 4.3.1 Panel SPR-A400-BLK

Se desplegó sobre las techumbres paneles que destacan por su diseño uniforme totalmente negro que otorga elegancia y mejor adaptabilidad visual en comparación con los paneles convencionales.

El anclaje a la cubierta se da por medio de perfiles que se acoplan sobre la cubierta existente y se anclan los paneles PVs sobre los perfiles men-

cionados, conservan la techumbre actual de la edificación. La fijación de los perfiles a la techumbre varía según el tipo y material de la cubierta, en este caso se presentan tres variaciones en la fijación (Auto Solar Energia, 2021).

**Imagen 49** Estructura de soporte y aclaje de paneles solares

Fuente: Elaboración Propia con base a <https://autosolar.es/>, 2021

### 4.3.2 Estructura de soporte y anclaje de paneles solares.

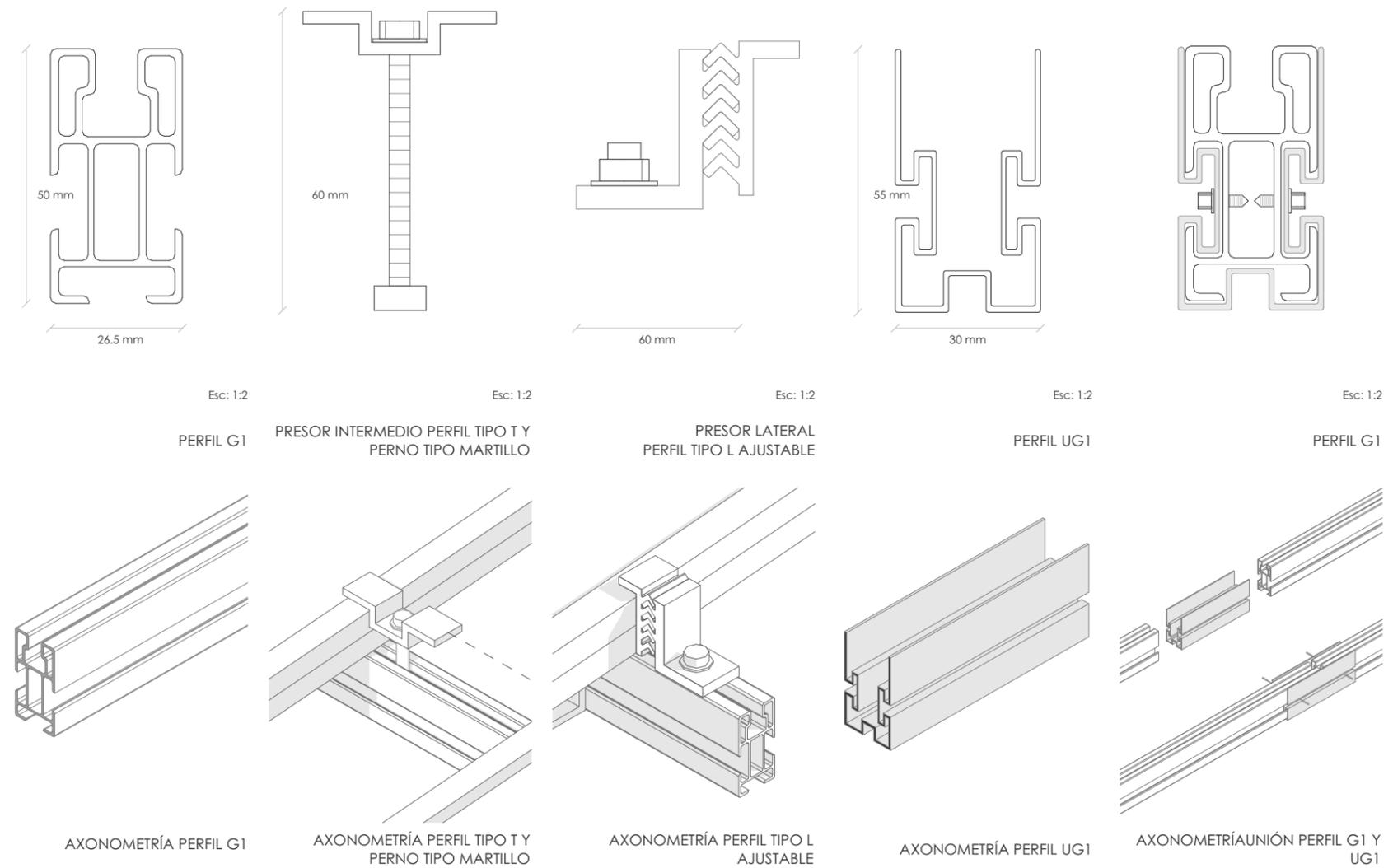


Imagen 49

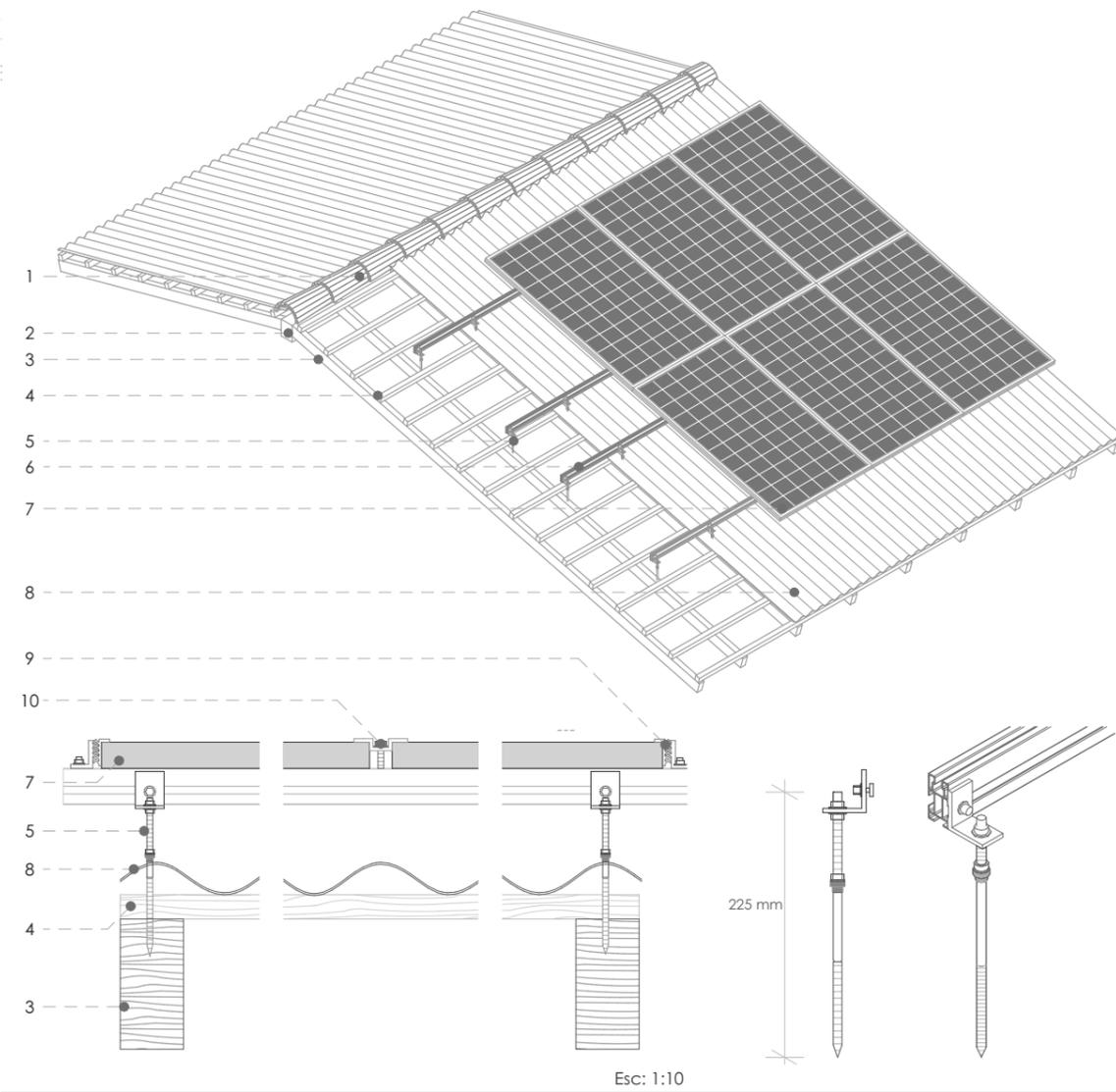


Imagen 50

4.3.2.1 Soporte coplanar continuo atornillado para cubierta de estructura de madera y recubrimiento de planchas de fibrocemento ondulado.

1. Teja de caballete
2. Cumbretero
3. Cabios de madera
4. Correas de madera
5. Soporte coplanar continuo atornillado
6. Perfil tipo G1
7. Panel solar
8. Planchas de fibrocemento ondulado
9. Presor lateral de perfil de aluminio tipo L 40x50 mm
10. Presor intermedio de perfil tipo T para fijación entre paneles

**Imagen 50** Anclaje para Cubiertas con estructura de madera.

Fuente: Elaboración: Propia

4.3.2.2 Soporte coplanar continuo autoperforante para cubierta de estructura metálica con recubrimiento de planca metálica ondulada

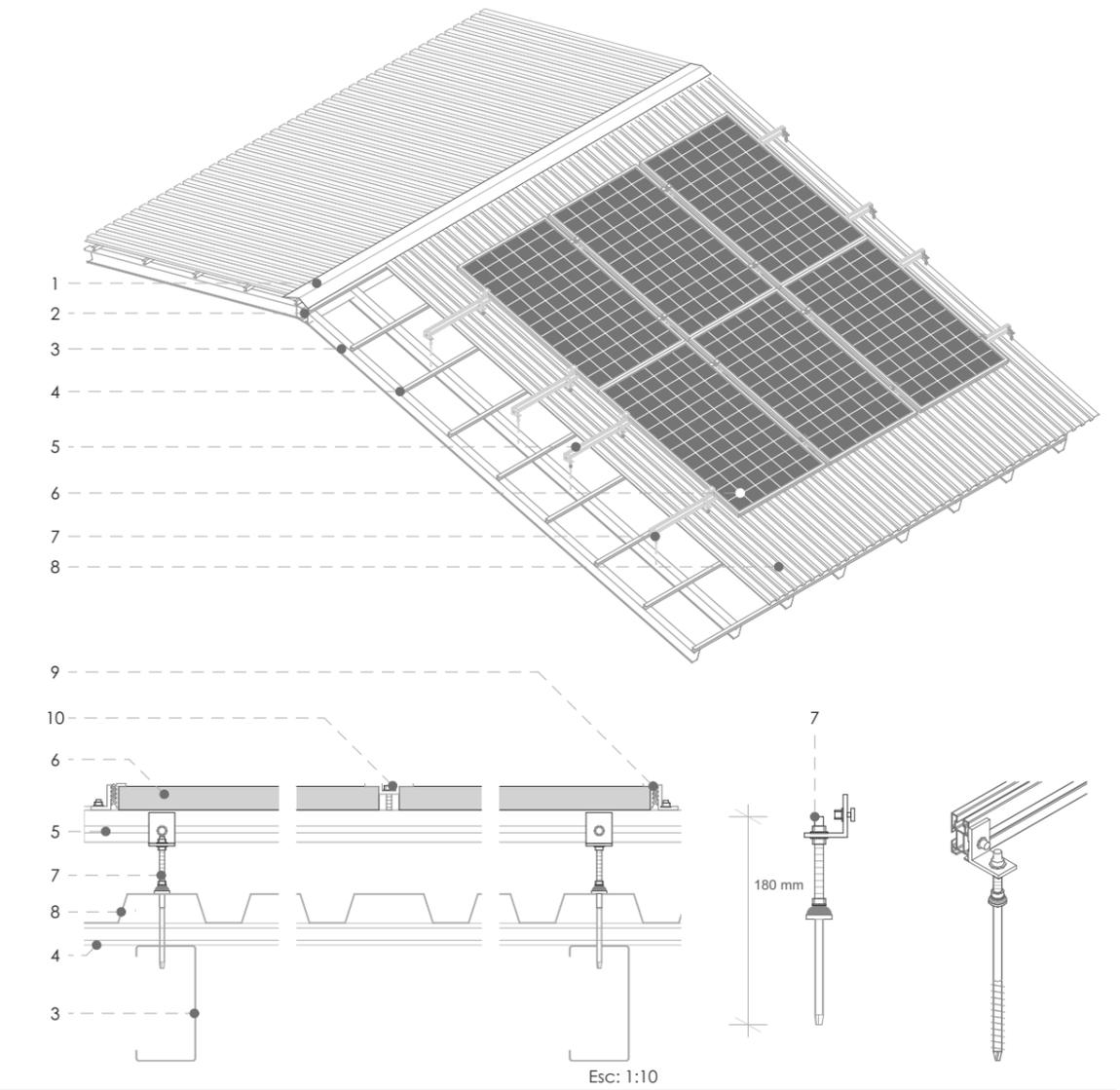


Imagen 51

1. Caballete
2. Cumbretero caja metálica doble G
3. Cabios de perfil metálico tipo G
4. Correas de metálicas tipo G
5. Perfil tipo G1
6. Panel solar
7. Soporte coplanar continuo autoperforante
8. Planchas metálicas ondulado
9. Presor lateral tipo L
10. Presor intermedio de perfil tipo T para fijación entre paneles

**Imagen 51** Anclaje para cubiertas con estructura de metálica.

Fuente: Elaboración: Propia

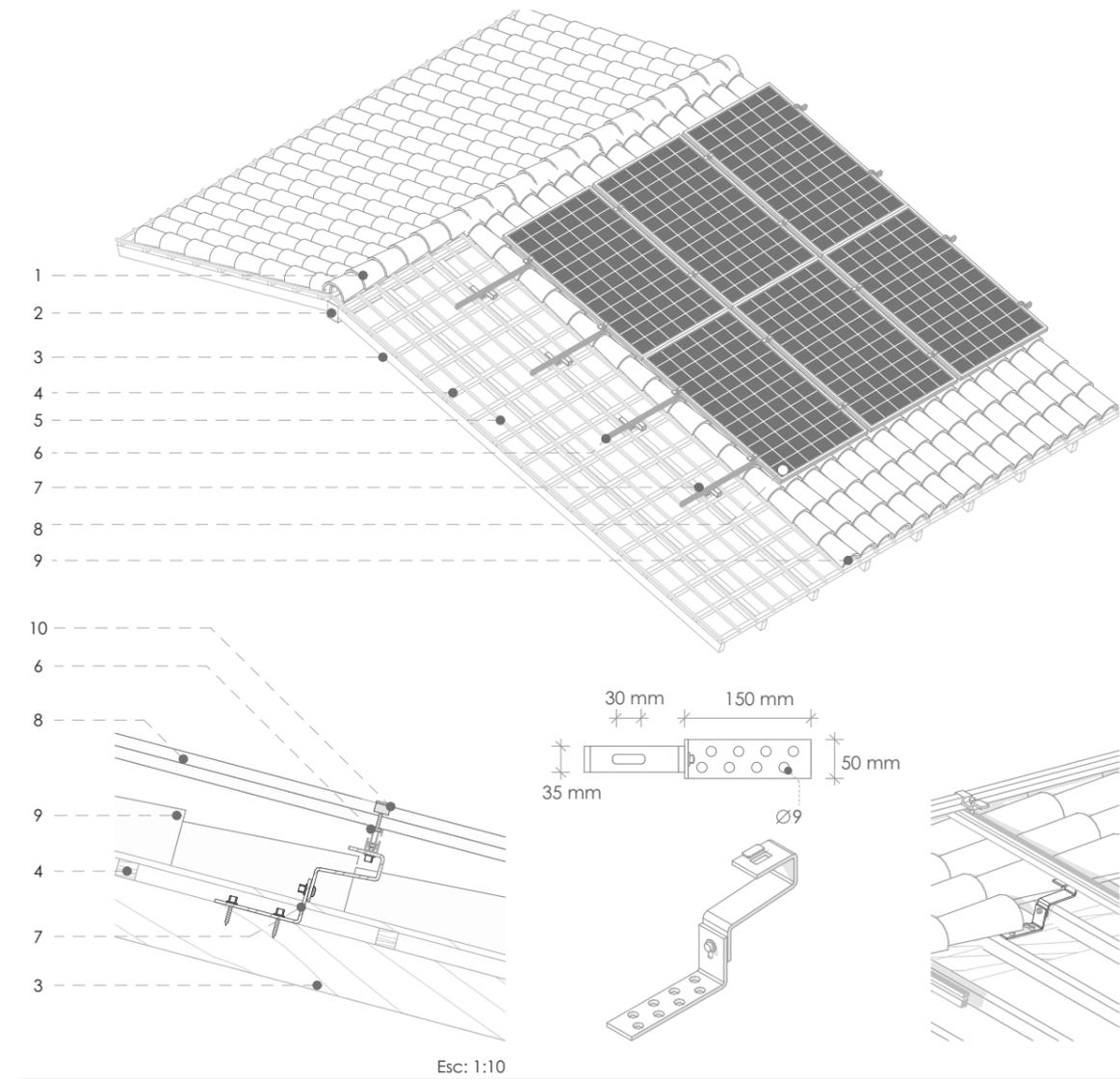


Imagen 52

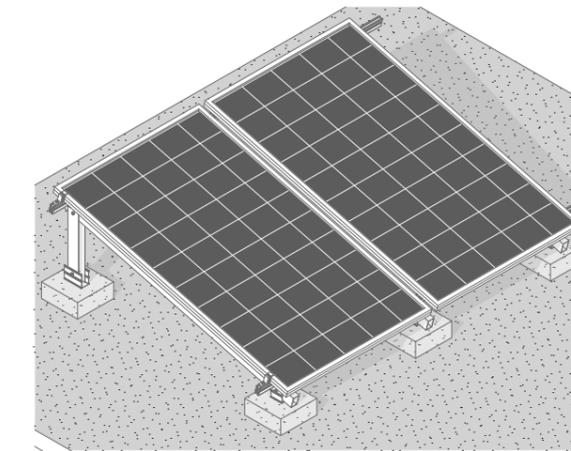
4.3.2.3 Anclaje salvateja para cubierta de estructura de madera con recubrimiento de teja artesanal.

1. Teja de caballete
2. Cumbre
3. Cabios de madera
4. Correas de madera
5. Clavadera 2"x1''
5. Perfil tipo G1
7. Gancho salvateja
8. Panel solar
9. Teja artesanal
10. Presor lateral de perfil tipo T para fijación entre paneles

Imagen 52 Anclaje para cubiertas con estructura de madera y recubrimiento de teja artesanal.

Fuente: Elaboración: Propia

4.3.2.4 Soporte inclinado y anclajes para cubierta plana.



1. Presor lateral tipo L
2. Panel solar
3. Perfil tipo G1
4. Perfil de aluminio tipo L 40x50 mm
5. Perno de fijación
6. Perfil rectangular 60x40mm
7. Perfil tipo C 60x40mm
8. Perfil tipo C de unión
9. Dado de hormigón
10. Perno de expansión

Imagen 53 Anclaje para cubierta plana de hormigón.

Fuente: Elaboración: Propia

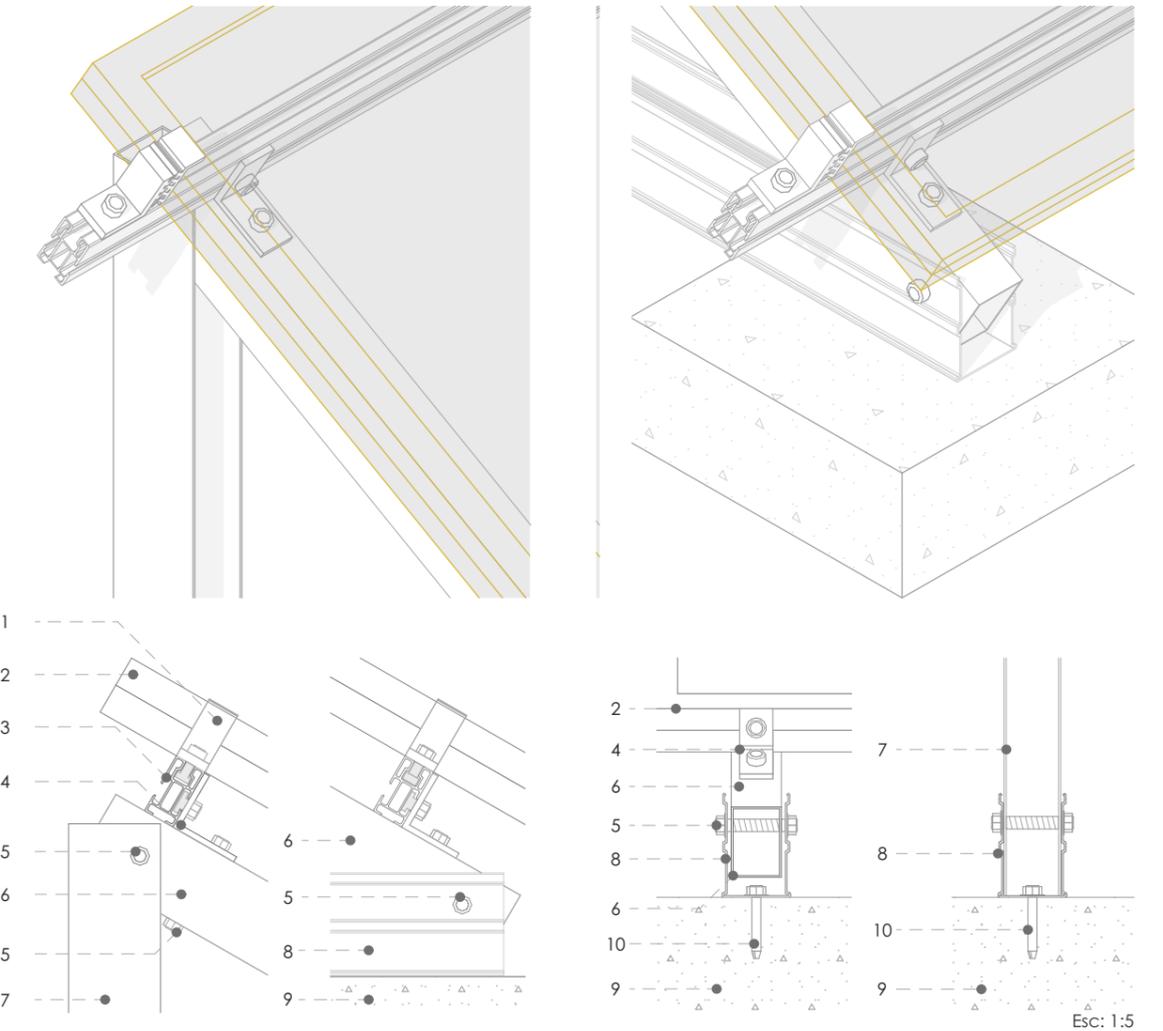
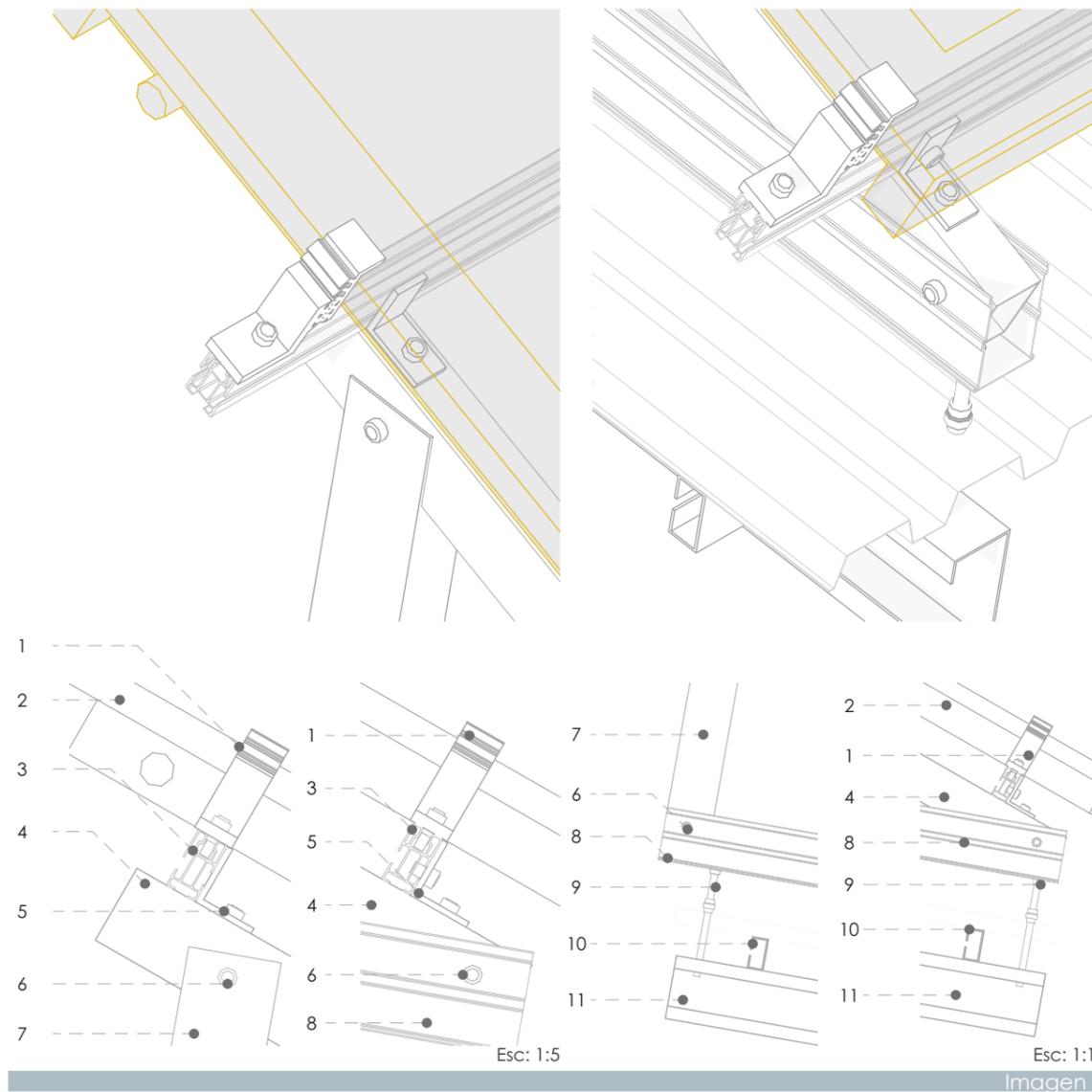
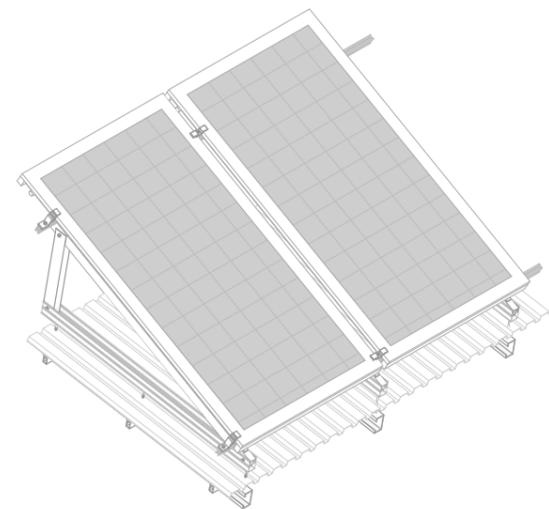


Imagen 53

### 4.3.2.5 Colector Solar Térmico

Se planteó el uso de CSTs para el calentamiento del agua de la piscina del CREDU. La piscina tiene 400m<sup>3</sup> por lo que se propuso colocar CSTs que se anclan a la cubierta mediante perfiles al igual que las tecnologías anteriormente mencionadas.



- 1. Presor lateral tipo L
- 2. Colector solar
- 3. Perfil tipo G1
- 4. Perfil rectangular 60x40mm
- 5. Perfil de aluminio tipo L 40x50 mm
- 6. Perno de fijación
- 7. Perfil tipo C 60x40mm
- 8. Perfil tipo C de unión
- 9. Soporte coplanar continuo autoperforante
- 10. Correas metálicas tipo G
- 11. Cabios metálicas tipo G

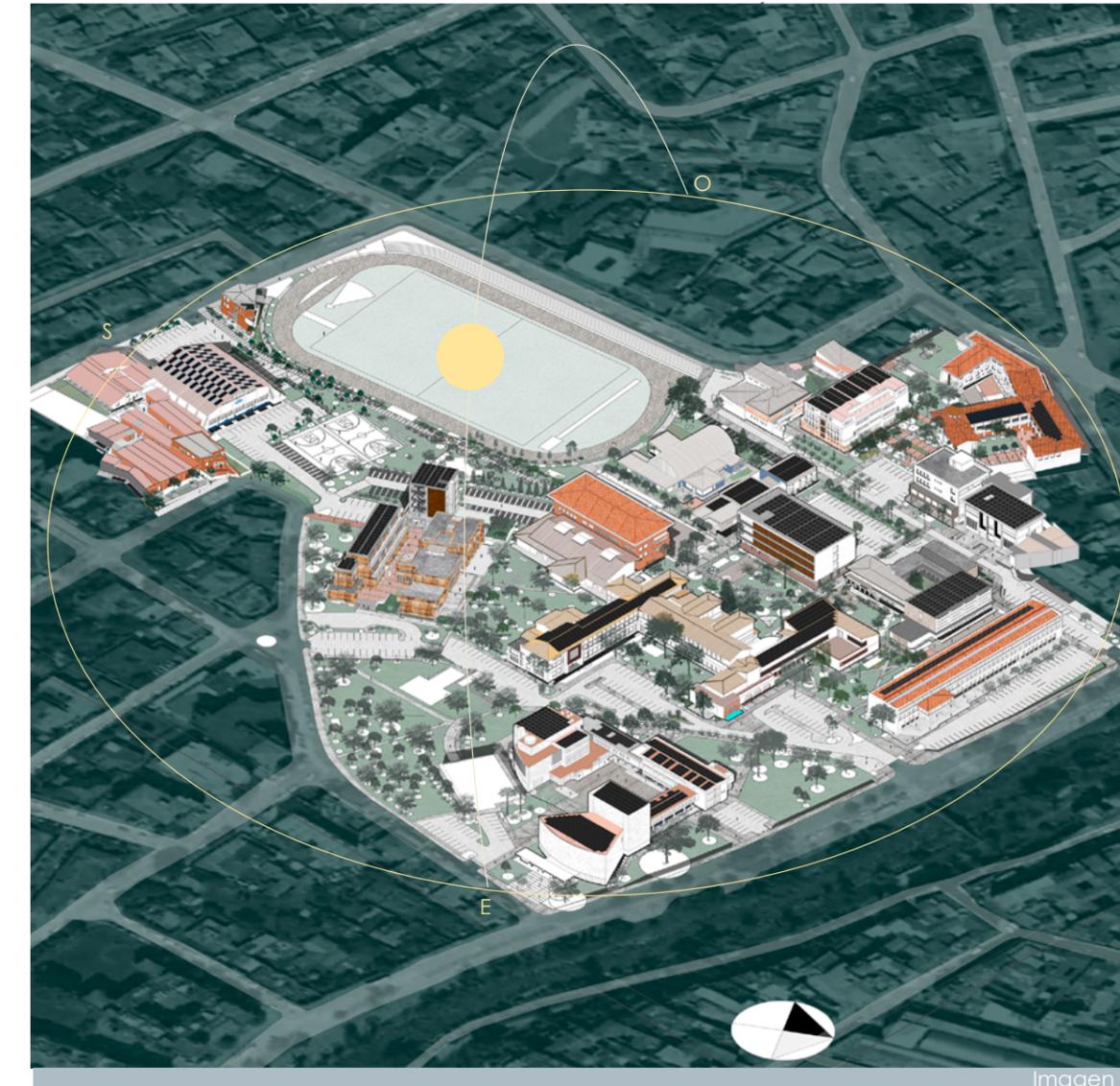
**Imagen 54** Anclaje para cubierta con estructura de metal.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Simulación y rendimiento de paneles solares y colectores solares.

Con base en la propuesta presentada, se analizó la dimensión, orientación e inclinación de los faldones; luego, se colocó la cantidad factible de paneles PVs de 66 celdas, en cada faldón, finalmente, se obtuvo la superficie de PVs. Posteriormente, a través de modelos BIM y el uso del programa Sun Path 3D, se determinaron porcentajes de sombras en los faldones. A pesar de que la incidencia de sombras era mínima, se optó por no colocar PVs en los faldones afectados.

Las simulaciones de productividad PVs se realizaron en System Advisor Model (SAM) NREL, 2020, y se obtuvo un rendimiento estimado de producción para el año 2019 por  $m^2$ , de manera horaria y en concordancia con la inclinación y orientación de los PVs. La simulación se llevó a cabo entre las 6 am y las 17pm.



Por último, se determinó el resultado absoluto de la producción anual y mensual frente a demandas de cada grupo de edificaciones y se compararon producciones y demandas absolutas.

**Imagen 55** Emplazamiento Campus Central Universidad de Cuenca

**Imagen 56** Axonometría Campus Central Universidad de Cuenca

Fuente: Elaboración: Propia

### 4.4.1 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 1.

El Grupo 1, conformado por el bloque de Administración, el Teatro y la Biblioteca, posee un área de techumbre total de 2,868.87m<sup>2</sup> en el cual se propone un total de 922 de PVs cuya área es de 1,718.94m<sup>2</sup>, dando una producción energética anual de 473,766.1kWh siendo el mes de diciembre el mes en donde se registró mayor producción (52,458.2kWh) mientras que el mes de junio registró menor producción 29,334.4kWh (ver Gráfico 7).

Al comparar los meses de consumo durante el año 2019, los cuales presentan un valor promedio de requerimiento energético de 48,124.25kWh, frente al potencial de generación en esos mismos meses, se observó que el sistema cubre el 83.77% a la demanda, al encontrarse un valor promedio producido de 40,313.8kWh.

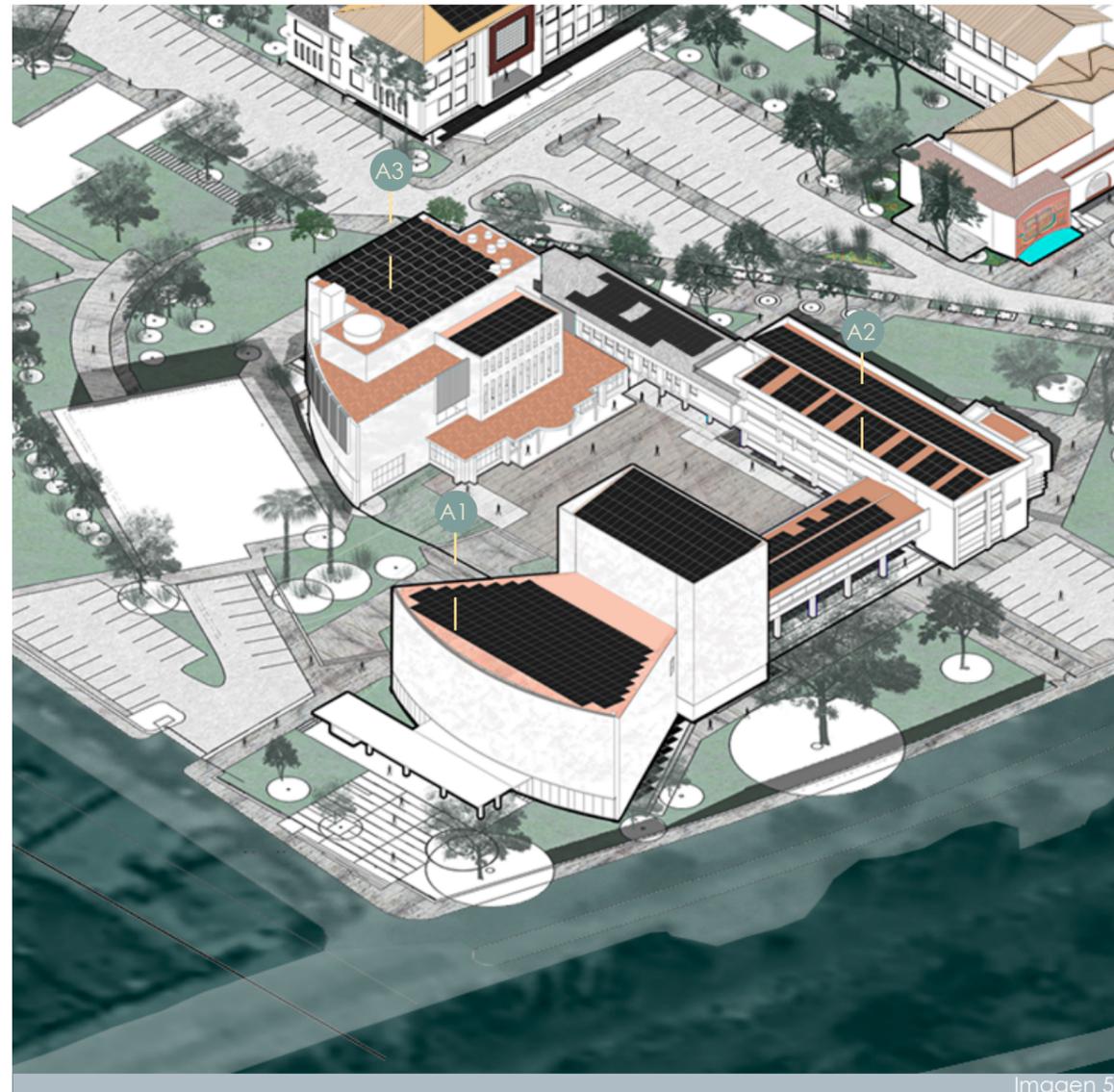


Imagen 57

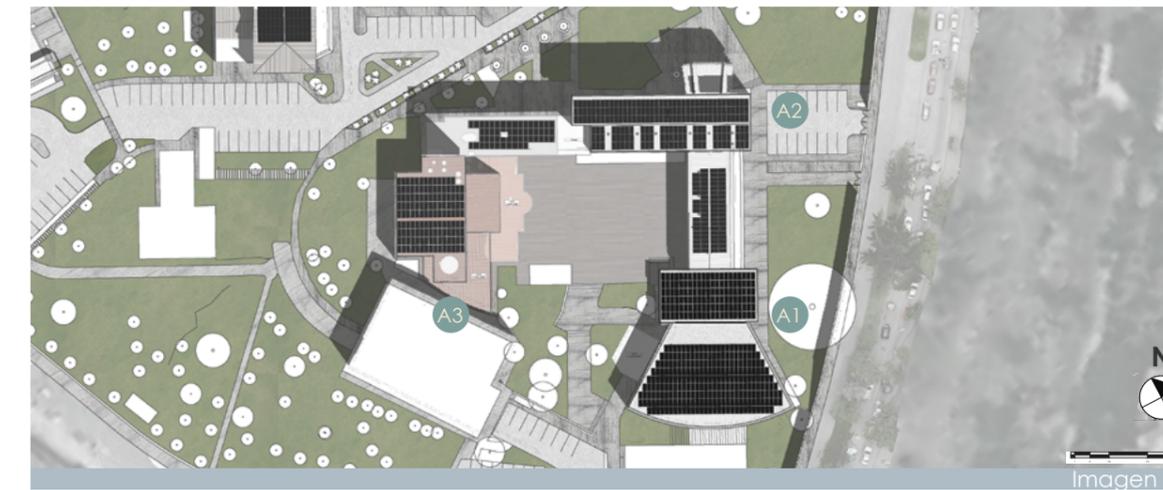


Imagen 58

Producción de energía y demanda por mes grupo 1 A1, A2, A3

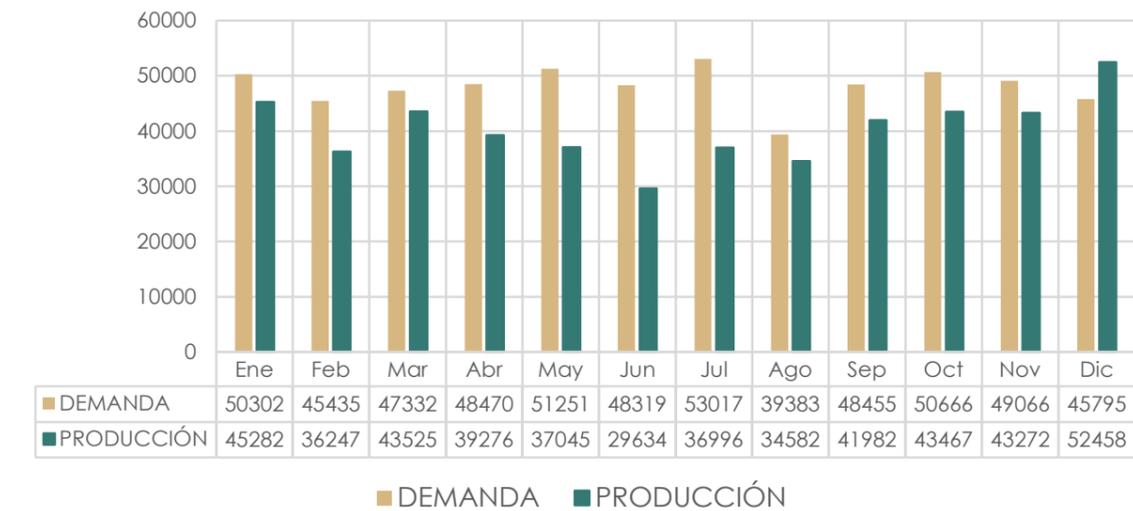


Gráfico 7

- A1. Teatro Carlos Cueva Tamariz
- A2. Administración Central
- A3. Biblioteca Juan Bautista Vazquez

Imagen 57 Isometría Grupo 1

Imagen 58 Planta de cubierta Grupo 1

Fuente: Elaboración: Propia

Gráfico 7 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### 4.4.2 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 2.

Las facultades de Ingeniería, Ciencias Químicas y el bloque de Laboratorios poseen un área total de techumbre de 5,074.52m<sup>2</sup> en donde se dispuso 558 paneles con un área total de 1,037.88m<sup>2</sup>. La producción anual es de 325,469.3kWh. Al igual que el grupo 1 el mes con mayor producción es diciembre con 34,941.70kWh, por otro lado, el mes con menor producción de este grupo es junio con 20,243.20kWh (ver Gráfico 8).

El valor promedio de requerimiento energético de este grupo es de 27,221.83kWh, frente al potencial de generación en esos mismos meses cuyo valor promedio es de 27,122.44kWh, al comparar se observó que el sistema cubre el 99.63% de la demanda.



Producción de energía y demanda por mes grupo 2 C1, D1, D2.

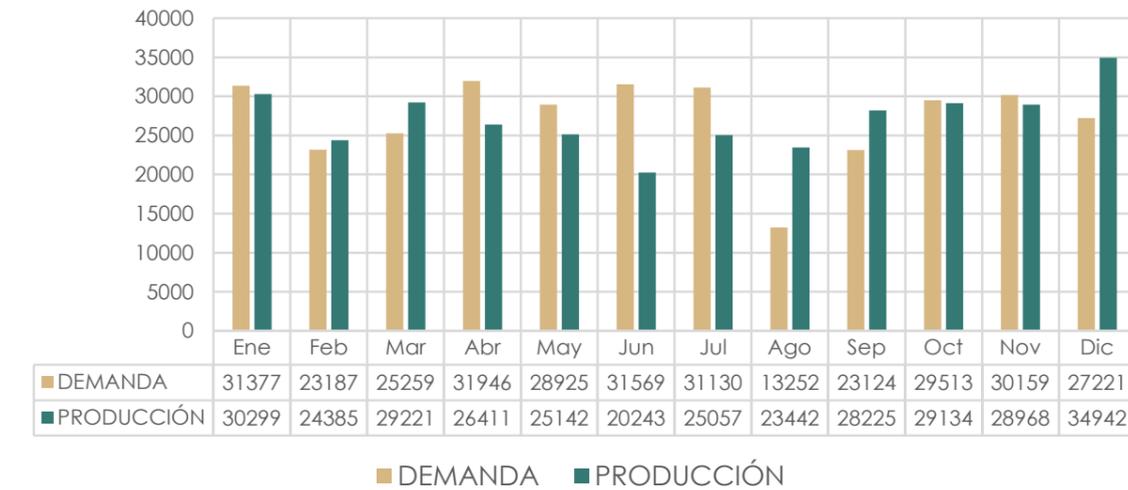


Gráfico 8

- C1 Ciencias Químicas
- D1 Ingeniería
- D2 Laboratorios

Imagen 59 Isometría Grupo 2

Imagen 60 Planta de cubierta Grupo 2

Gráfico 8 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

### 4.4.3 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 3.

El grupo 3 conformado por los edificios de Talleres de mantenimiento (M1), Guardería (M2), Coliseo Universitario Julio Abad (N1), Cultura Física (O1) y Talento Humano (P1) posee un área de techumbre total de 4,056.93m<sup>2</sup>. Para este grupo se considera únicamente los faldones del Coliseo en donde se disponen 228 paneles con un área de PVs de 424.08m<sup>2</sup>. La producción energética anual de este grupo es de 126,732.30kWh cuyo mes con mayor producción es diciembre y el mes con menor producción es junio con 11,438.40kWh y 9,460.50kWh respectivamente (ver Gráfico 9).

Al comparar los meses de consumo durante el año 2019, frente al potencial de generación en esos mismos meses, se observó que se cubre el 101% de la demanda, al encontrarse un valor promedio producido de 10,561.2kWh versus un valor promedio requerimiento de 10,429.92kWh.

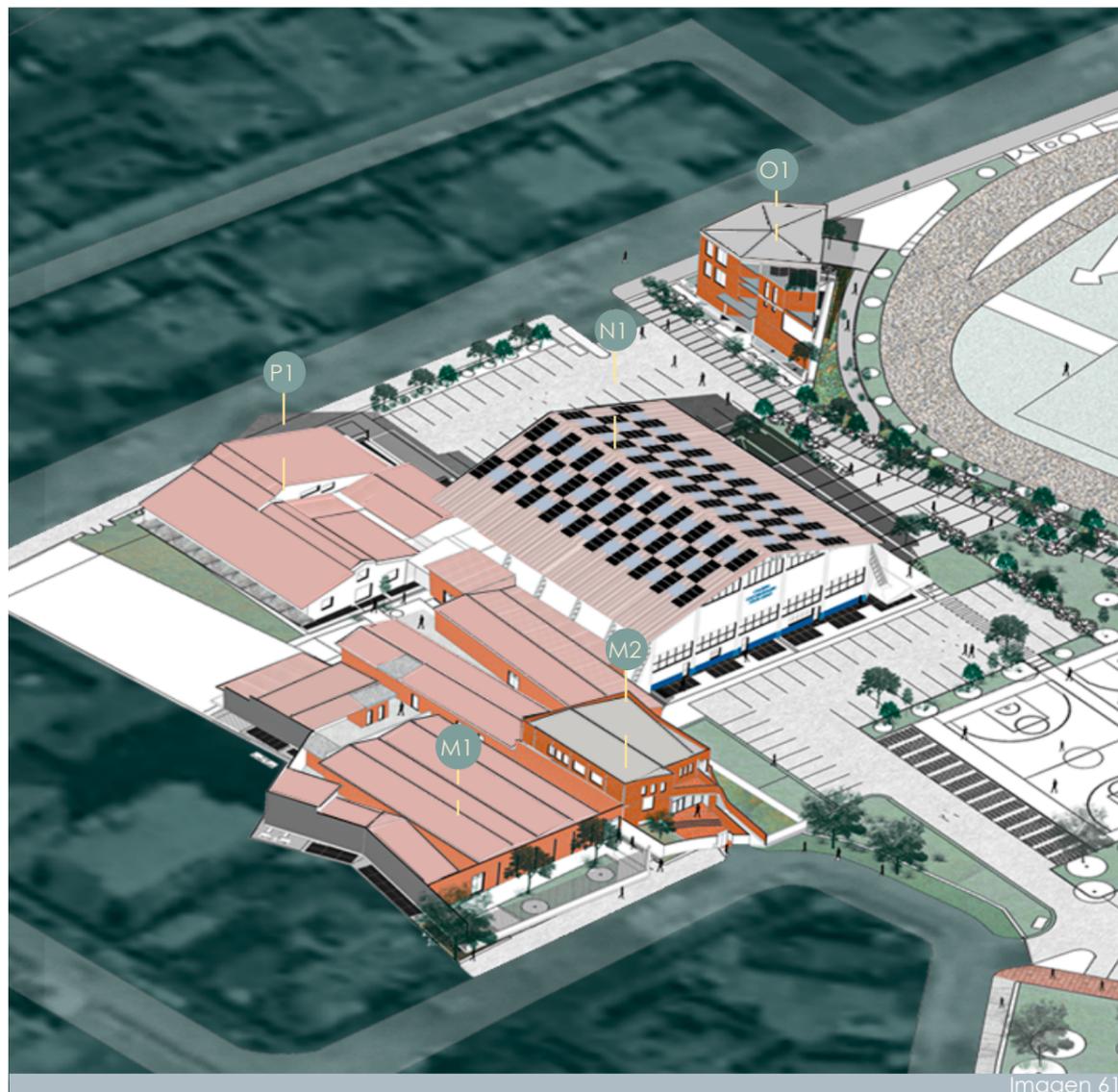


Imagen 61

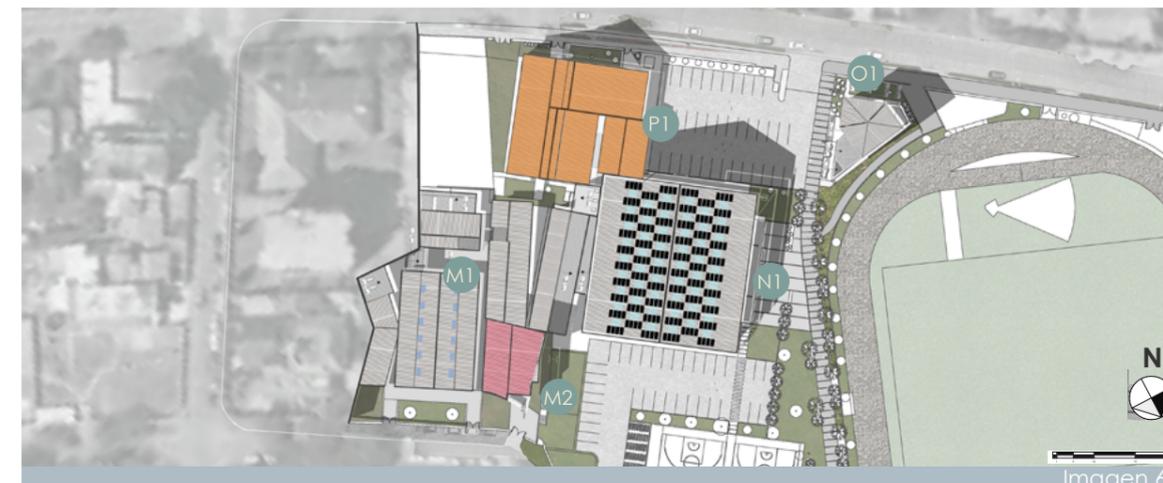


Imagen 62

Producción de energía y demanda por mes grupo 3 M1, N1, O1 y P1.

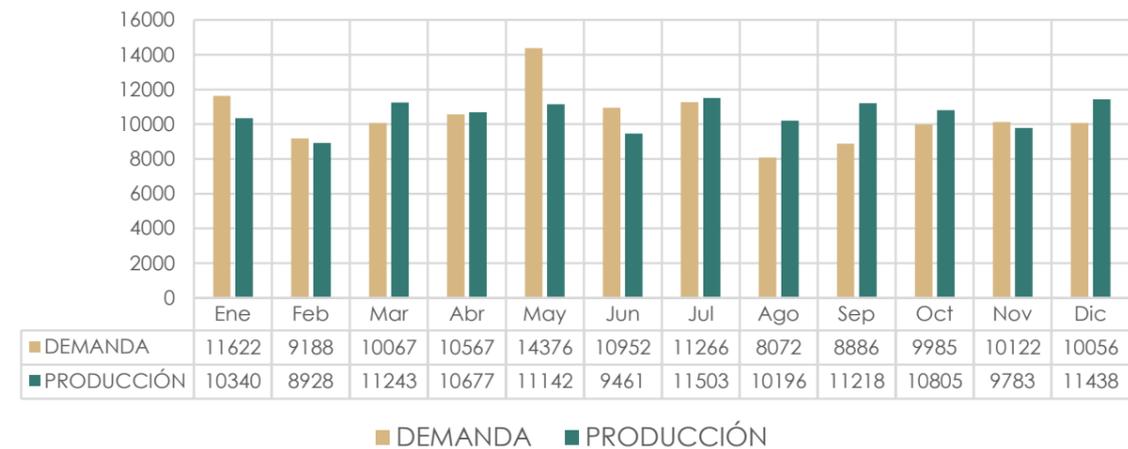


Gráfico 9

- N1 Coliseo Universitario Julio Abad
- M1 Talleres de mantenimiento
- M2 Guardería
- O1 Cultura Física
- P1 Talento Humano

Imagen 62 Isometría Grupo 3

Imagen 63 Planta de cubierta Grupo 3

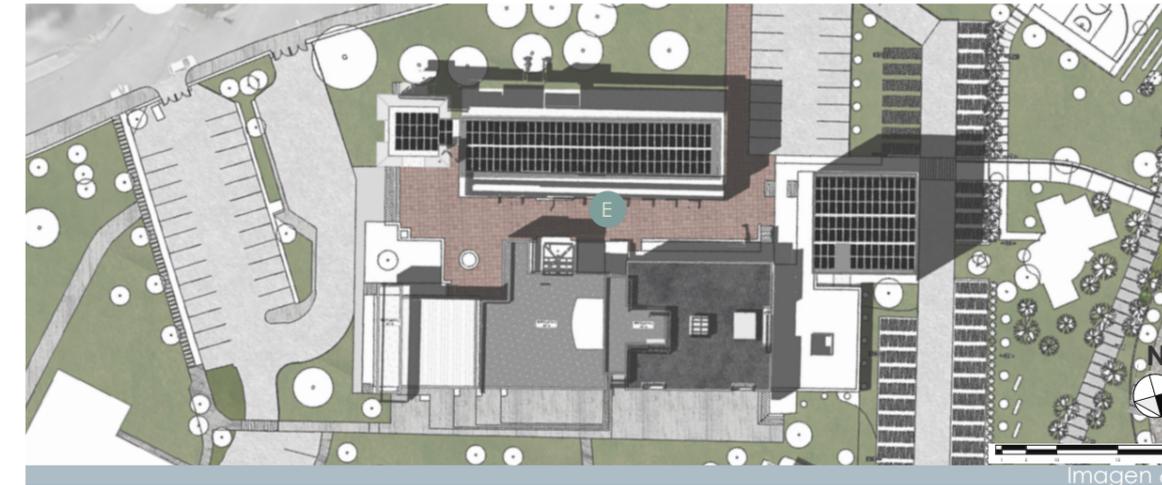
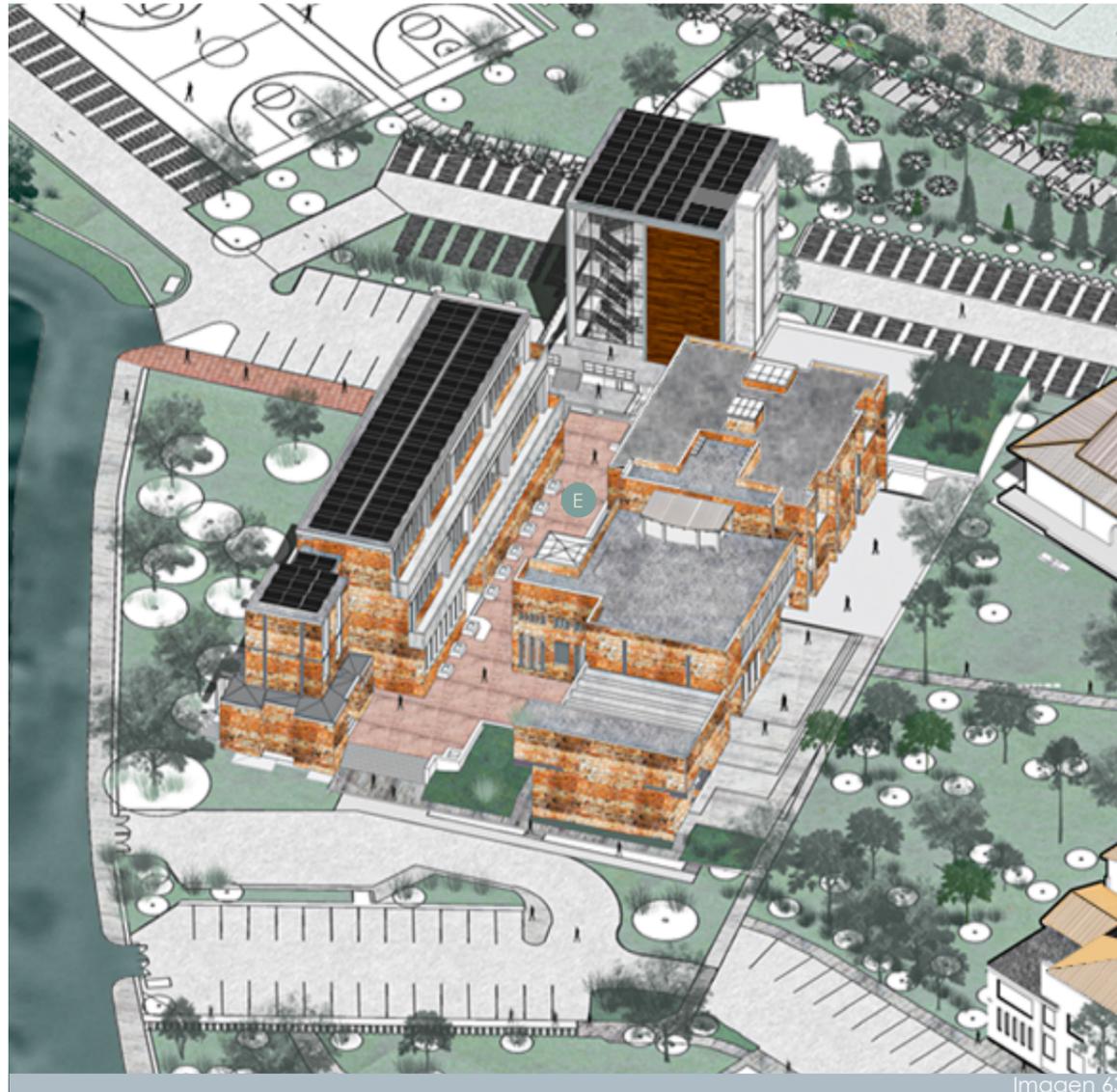
Gráfico 10 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### 4.4.4 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 4.

La facultad de arquitectura posee un área de techumbre de 1,078.41m<sup>2</sup> en donde se distribuyen 256 PVs con un área total de 476.16m<sup>2</sup>. Durante el año de estudio la producción energética es de 133,969.47kWh, de la misma manera que los grupos anteriores el mes con mayor generación de energía es diciembre (14,159.90kWh) y junio es el mes con menor generación (8,531.57kWh) (ver Gráfico 10).

Los meses de consumo durante el año de estudio, presentan un valor promedio de requerimiento energético de 11,246.25kWh, frente al potencial de generación en esos mismos meses con un valor promedio de 11,164.12kWh, se observó que el sistema cubre con el 99.3% de la energía requerida.



E Arquitectura

Producción de energía y demanda por mes grupo 4 Arquitectura

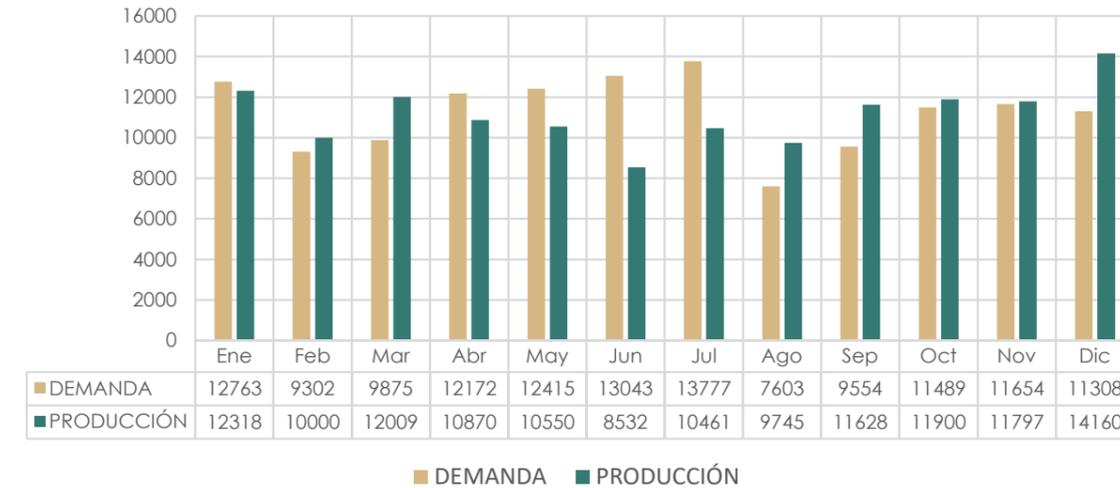


Gráfico 10

Imagen 63 Isometría Grupo 4

Imagen 64 Planta de cubierta Grupo 4

Gráfico 10 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### 4.4.5 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 5.

La facultad de Psicología y el edificio de PROMAS cuentan con un área total de cubierta de 1,512.82m<sup>2</sup>. Se colocaron 273 PVs en la cubierta de Psicología obteniendo un área de PVs de 470.58m<sup>2</sup>. La energía que producen estos PVs es de 139,651.20kWh, el mes de diciembre presenta una producción de 12,997.40kWh siendo el mes con mayor generación energética, mientras que el mes de junio presenta menor producción, 10,110.70kWh (ver Gráfico 11).

Al comparar los meses de consumo durante el año de estudio, los cuales presentan un valor promedio de requerimiento energético de 11,706.83kWh, frente al potencial de generación en ese mismo año de 11,637.60kWh, se cubre el 99.41% de la demanda.



Imagen 65

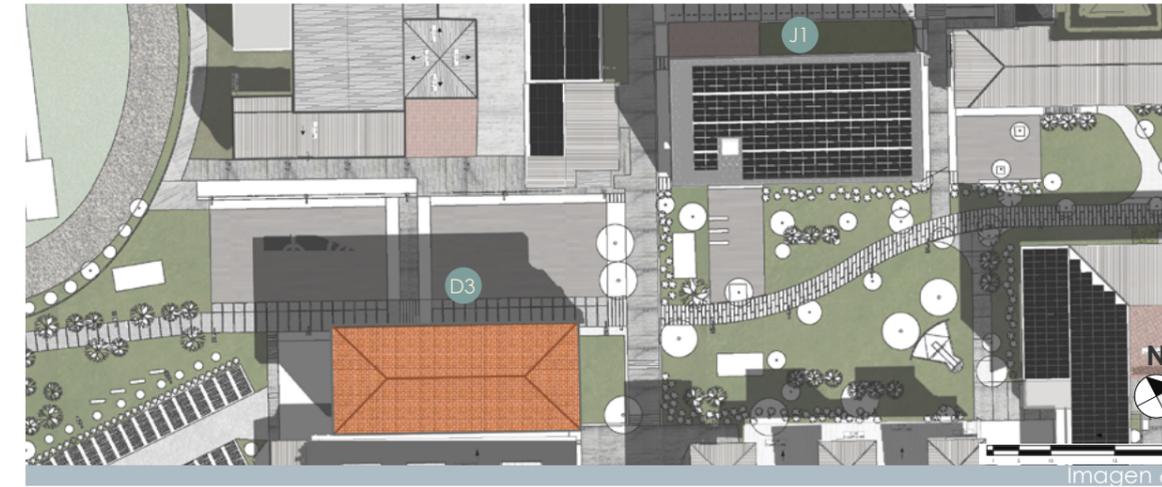


Imagen 66

Producción de energía y demanda por mes grupo 5 D3 y J1.

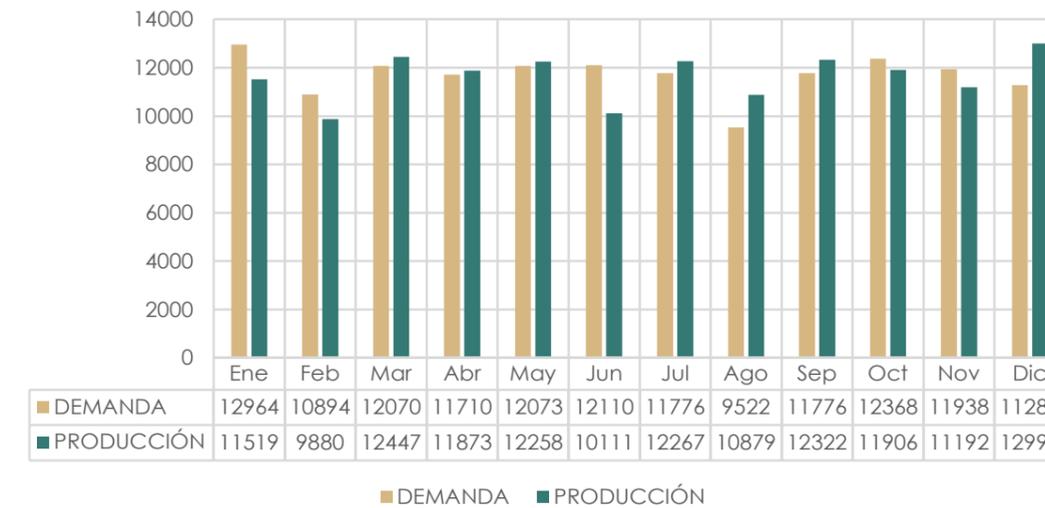


Gráfico 11

D3. Promas  
J1. Psicología

Imagen 65 Isometría Grupo 5.

Imagen 66 Planta de cubierta Grupo 5.

Gráfico 11 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.6 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 6.

El área de techumbre del Grupo 6, conformado por las facultades de Economía, Filosofía bloque A y Jurisprudencia, es de 5,941.05m<sup>2</sup> en el cual se distribuyeron 585 PVs. El área de PV es de 1,088.10m<sup>2</sup> con producción energética de 309,016kWh. De la misma manera que los grupos antes mencionados los meses con mayor y menor producción son diciembre y junio respectivamente, con 34,179.30kWh y 18,951.00kWh (ver Gráfico 12).

El valor promedio de requerimiento energético del grupo 6 es de 25,725.25kWh, mientras que el valor promedio de producción en el mismo periodo es de 25,751.30kWh, en comparación se aprecia que se cubre el 100% de la demanda energética.

Imagen 67 Isometría Grupo 6

Imagen 68 Planta de cubierta Grupo 6

Gráfico 12 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021



Producción de energía y demanda por mes grupo 6 H1, I1, I2, K1, K2, K3, L1.

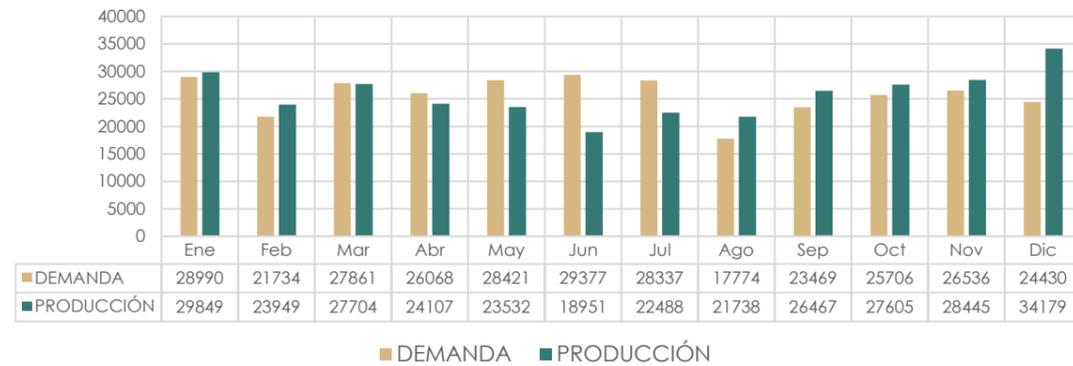


Gráfico 12

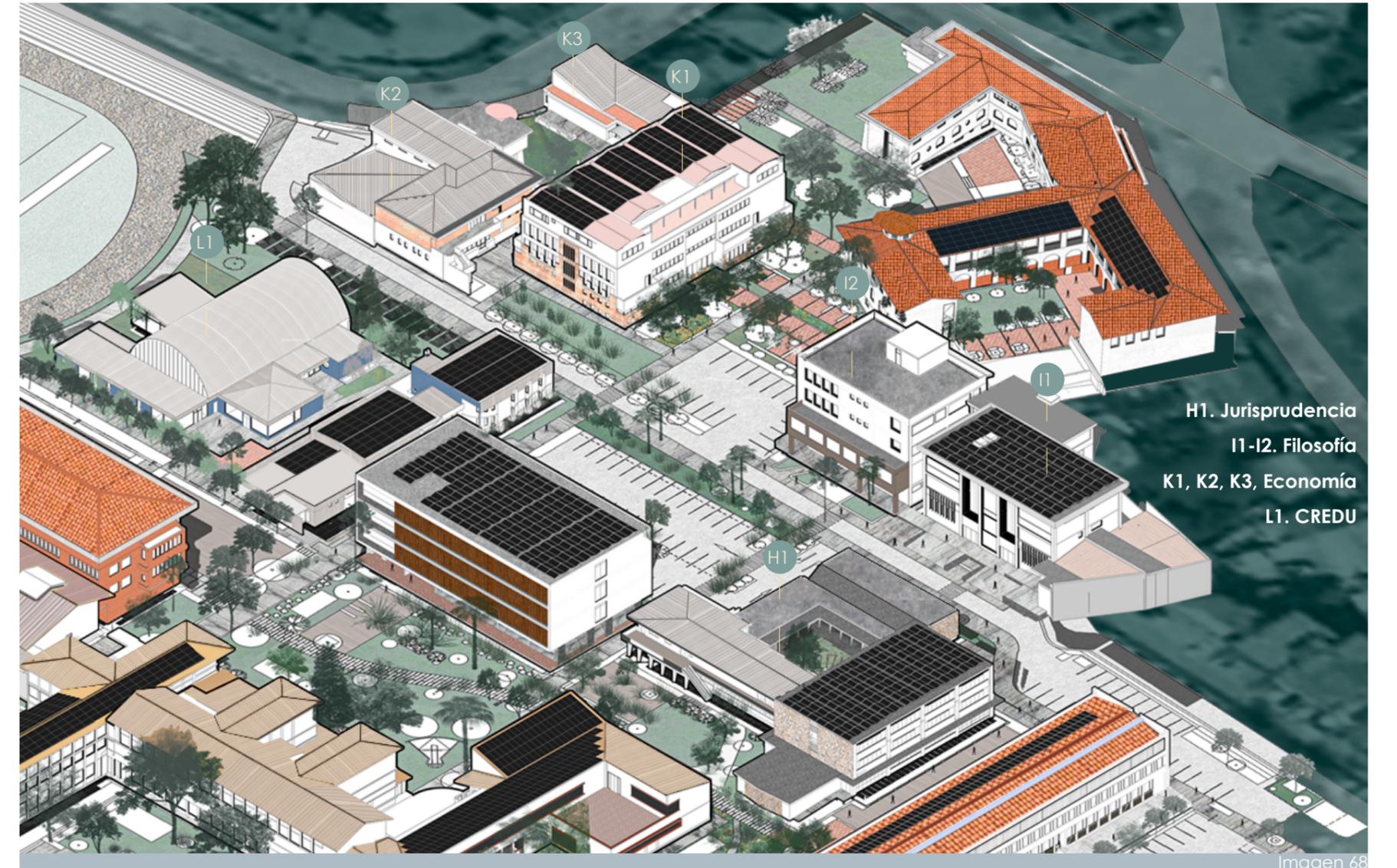


Imagen 68

#### 4.4.7 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 7.

En la facultad de Filosofía G1 se proponen 160 PVs sobre una superficie de techo de 1,418.84m<sup>2</sup>, el área total de PVs es de 289.60m<sup>2</sup> generando 89,388.20kWh, en donde el mes de diciembre registra mayor producción energética (8,574.49kWh), al contrario del mes de junio el cual es el mes con menor producción 6,309.49kWh (ver Gráfico 13).

La energía producida promedio es de 7,449.01kWh y el valor promedio de demanda es 7,432.0kWh. Al comprar estos valores se aprecia que la demanda se cubre en su totalidad, 100%.

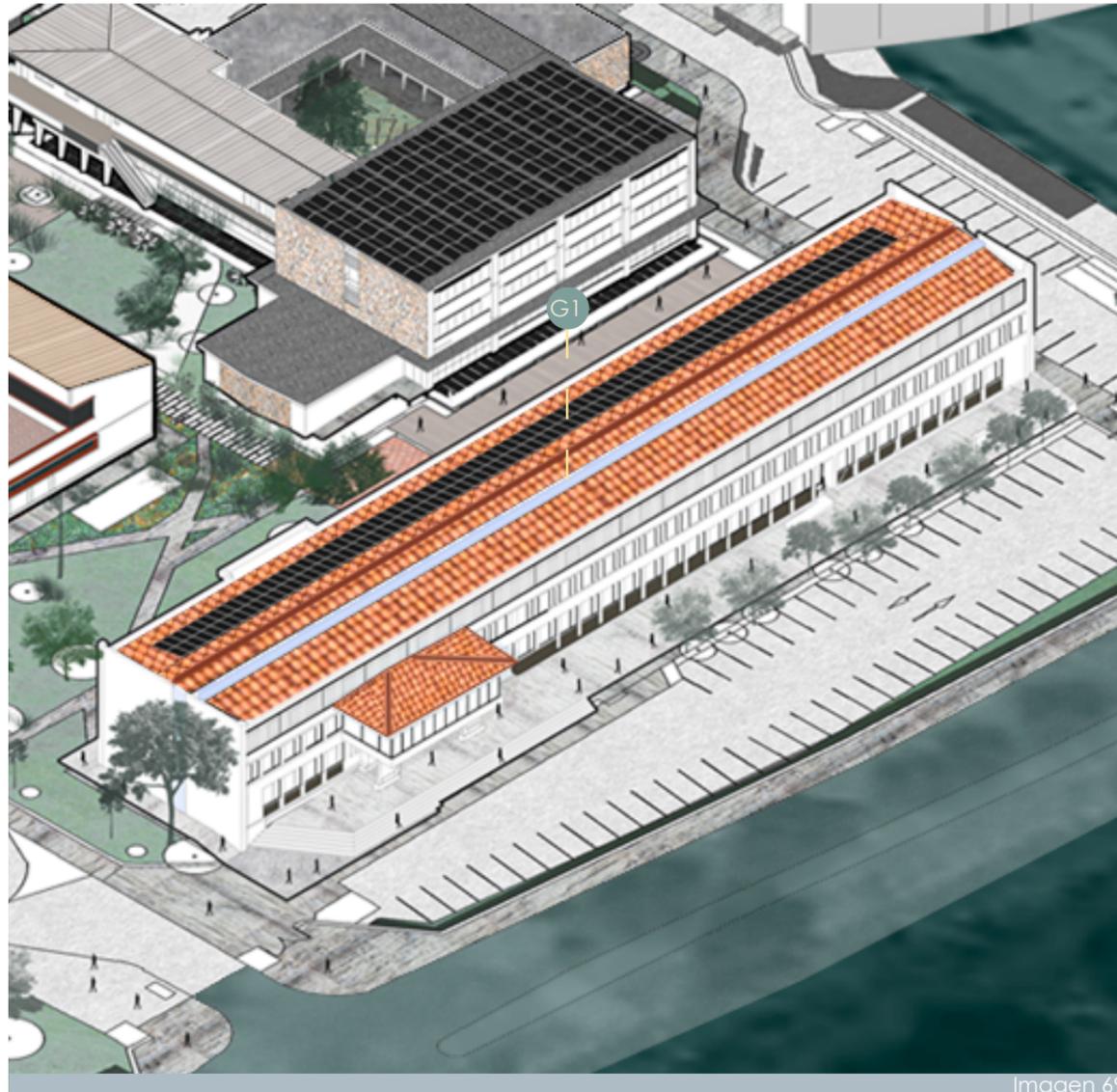


Imagen 69

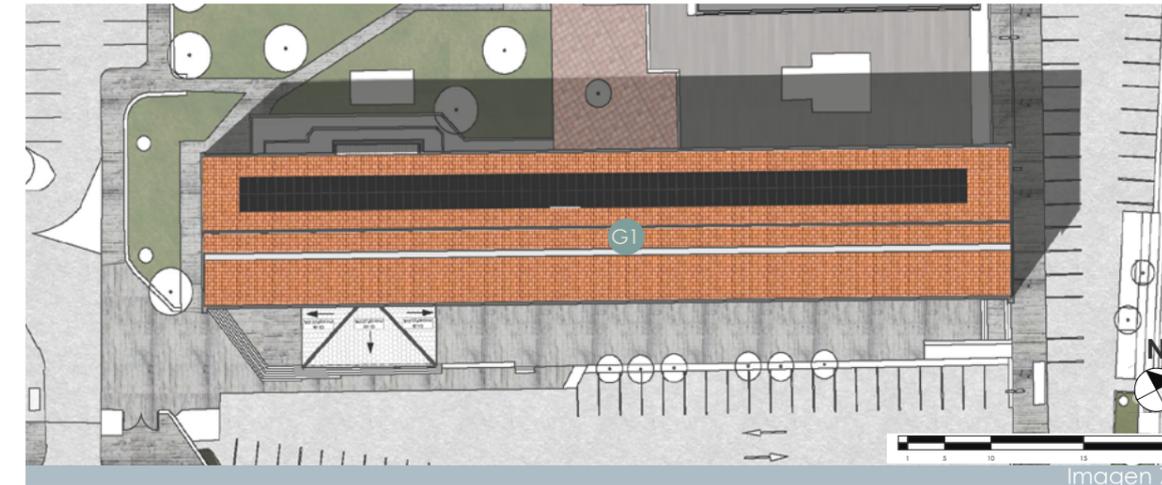


Imagen 70

Producción de energía y demanda por mes grupo 7 Filosofía B.

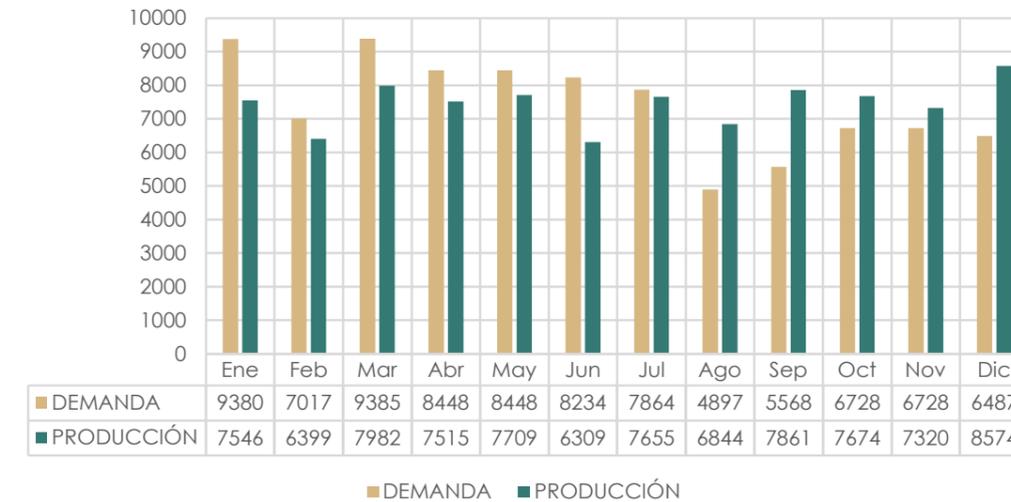


Gráfico 13

G1. Filosofía

Imagen 69 Isometría Filosofía G1

Imagen 70 Planta de cubierta Filosofía G1

Gráfico 13 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### 4.4.8 Simulación y rendimiento de paneles solares del grupo 8.

El edificio de Economía K4 cuenta con un área de techo de 1,828.38m<sup>2</sup>, se proponen 128 PVs sobre esa superficie, el área total de PVs es de 238.08m<sup>2</sup> generando 72,716.10kWh, en donde el mes de diciembre registra mayor producción energética (8,330.00kWh), al contrario del mes de junio el cual es el mes con menor producción (4,173.72kWh) (Ver Gráfico 14).

El sistema cubre el 99.7% de la energía requerida, pues la energía producida promedio es 6,059.70kWh y el valor promedio de demanda es 6,080.75kWh.

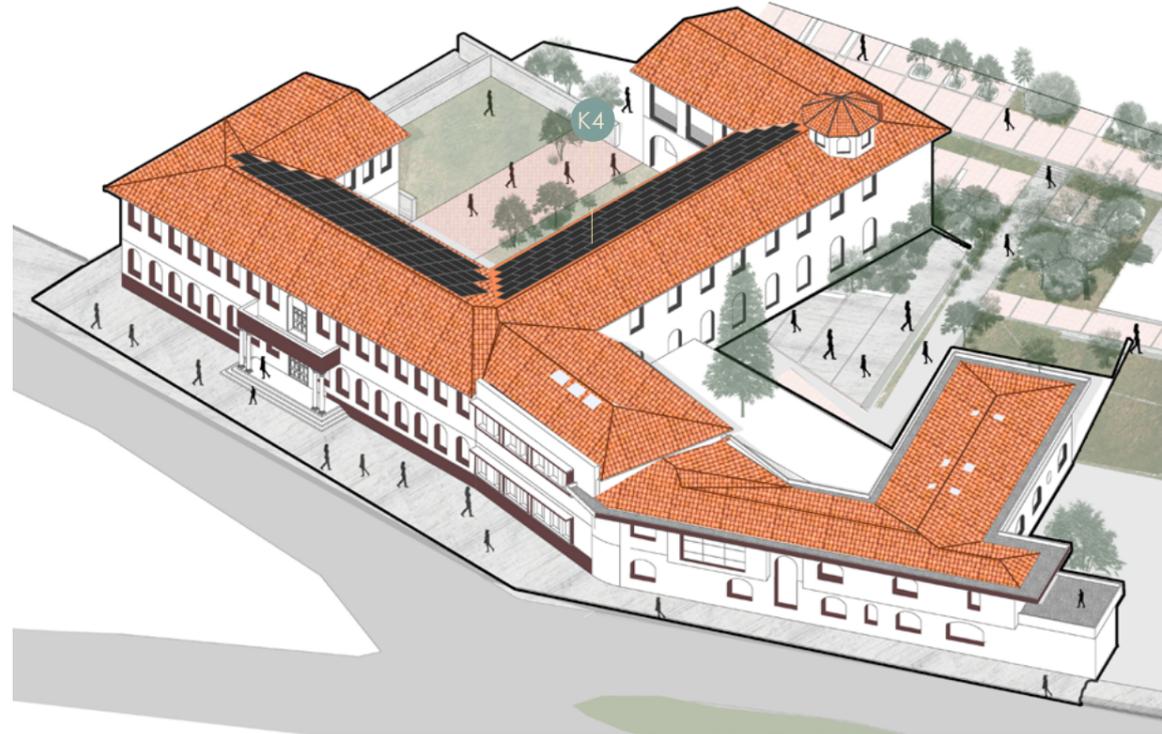


Imagen 71



Imagen 72

Producción de energía y demanda por mes grupo 3 M1, N1, O1 y P1.

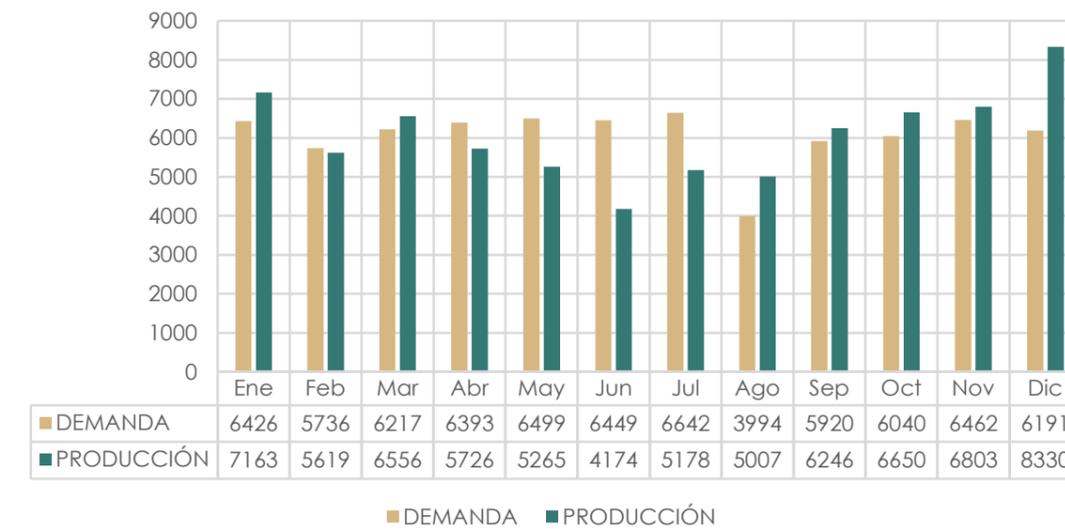


Gráfico 14

K4. Economía

Imagen 71 Isometría Economía K4

Imagen 72 Planta de cubierta Economía K4

Gráfico 14 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### 4.4.9 Simulación y rendimiento de colectores solares del CREDU.

Dentro del grupo 6 se encuentra el CREDU. En él se colocan colectores solares térmicos en sus cubiertas para el calentamiento de la piscina de 400m³. El área de techumbre que corresponde al CREDU es de 2,001.1m² en donde se colocaron 125 colectores. La energía anual generada equivale a 557,491.80 kWh (Gráfico 15).

Asumiendo que 1kg de gas equivale a 13.38 kWh y que un litro de diésel equivale a 10 kWh (Selectra, 2021), la demanda energética total en este edificio es de 554,508.99 kWh. Al comparar la energía producida con la demanda se observa que la energía producida cubre la totalidad de la demanda.

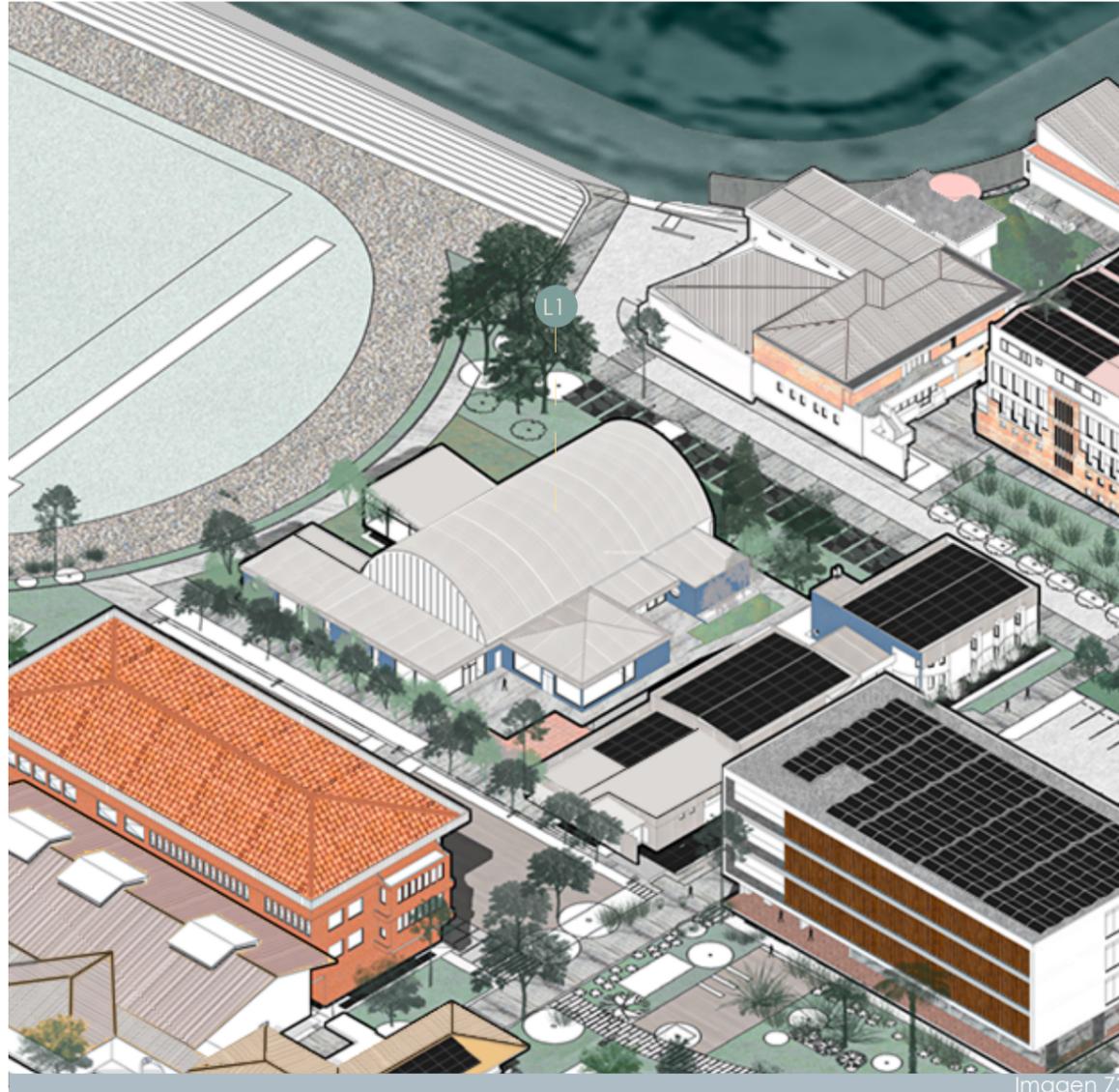


Imagen 73

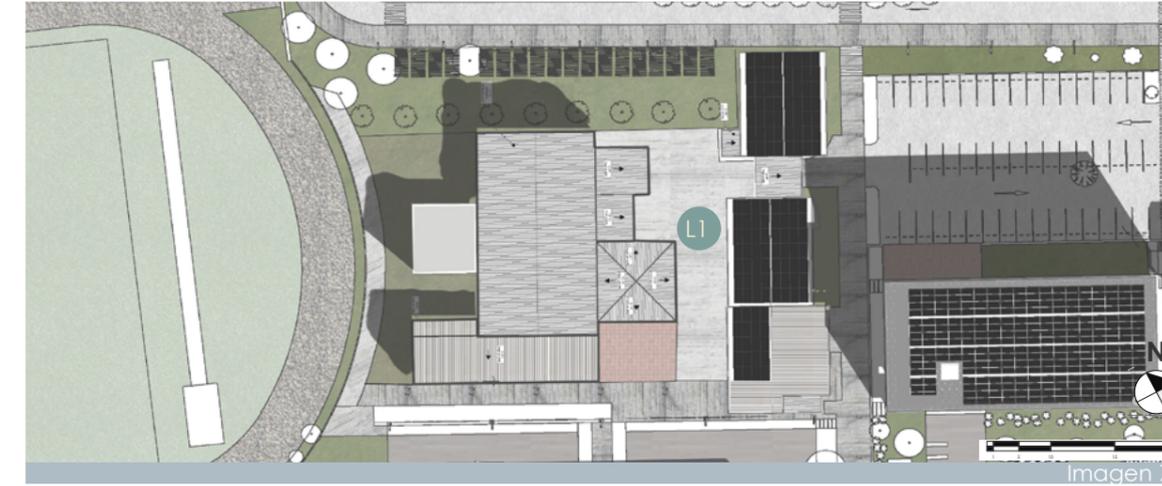


Imagen 74

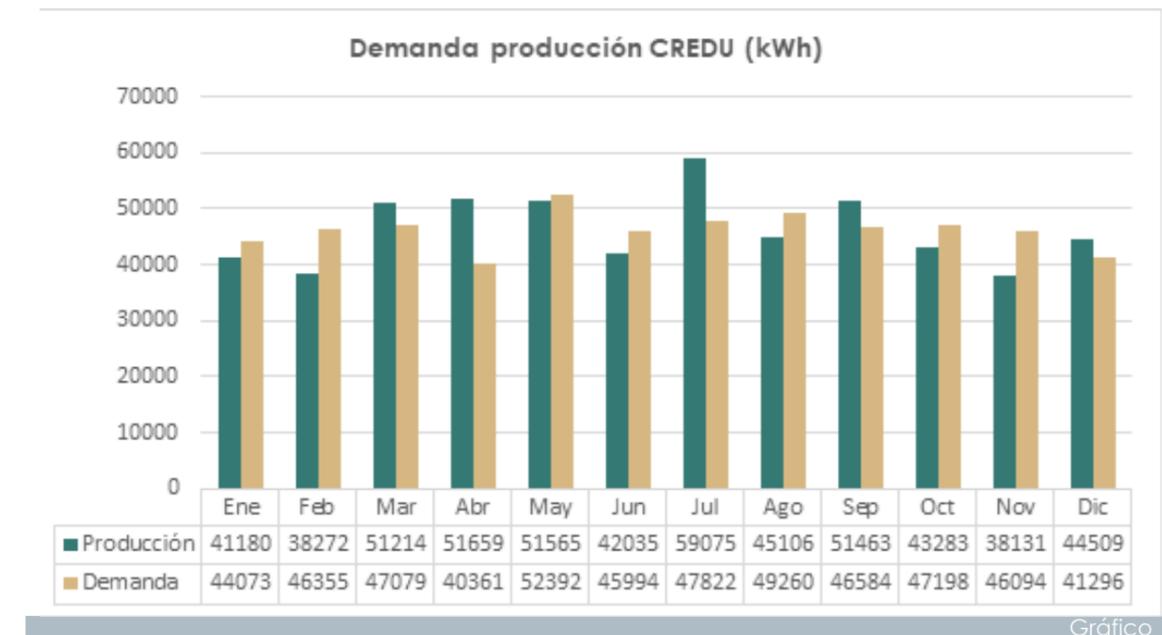


Gráfico 15

L1. CREDU

Imagen 73 Isometría CREDU (L1)

Imagen 74 Planta de cubierta CREDU (L1)

Gráfico 15 Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021

### 4.4.10 Demanda y producción del campus central de la Universidad de Cuenca

El resultado de las simulaciones en el programa SAM arroja un total de energía producida equivalente a 2,283,200.0kWh durante el año de estudio. Como se mencionó anteriormente la demanda energética total es de 2,330,646.83kWh; al comparar estos datos se determina que la producción de los PVs y CSTs autoabastecen el 96.03% del requerimiento energético del campus central de la Universidad de Cuenca (ver Gráfico 16 y Tabla 5).

Así mismo, la superficie de la cubierta del Complejo deportivo universitario CREDU abarca el número de paneles necesarios para climatizar la piscina del complejo dando la posibilidad de suplir el uso de las formas convencionales de energías que requieren dicho equipamiento.

Como conclusión la producción de energía fotovoltaica y térmica del campus central de la Universidad de

Cuenca cubre sin complicaciones la demanda energética, dándole el potencial para cumplir los estándares de edificaciones Netzero.

**Tabla 5** Demanda y producción energética total en el año de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 16** Demanda y producción energética total en el año de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

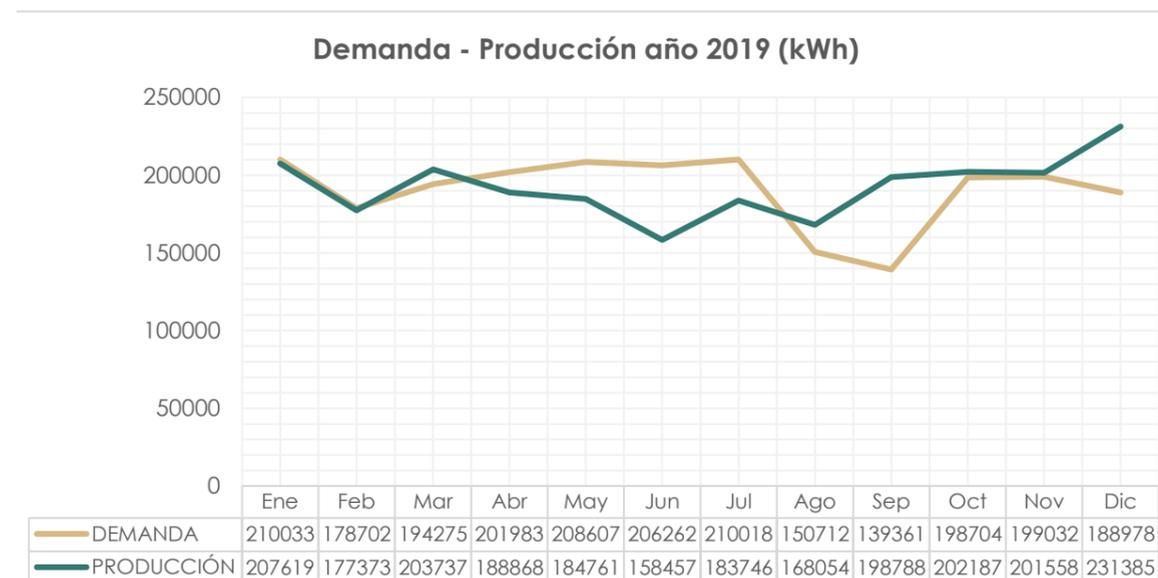


Gráfico 16

TABLA RESUMEN					
GRUPO	LUGAR/FACULTAD	DEMANDA (kWh)	PRODUCCIÓN (kWh)	ÁREA DE TECHO (m²)	ÁREA DE PANEL (m²)
1	Edificio Administrativo A1	577,491.0	483,766.0	2,868.87	1,718.94
	Teatro Carlos Cueva A2				
	Biblioteca A3				
2	Ciencias Químicas C1	326,662.0	325,469.0	5,074.52	1,037.88
	Ingeniería D1				
	Laboratorio suelos D2				
3	Talleres de Mantenimiento M1	125,159.0	126,732.0	4,056.93	424.08
	Estadio				
	Coliseo N1				
	Instituto de Educación Física O1				
	Talento Humano P1				
4	Guardería M2	134,955.0	133,969.0	1,078.41	476.16
Arquitectura E1					
5	Psicología J1	140,816.0	139,651.0	1,512.82	470.58
	Promas D3				
6	Filosofía bloque "A" I1	308,743.0	309,016.0	5,941.05	1,088.10
	Jurisprudencia H1				
	Economía K1, K2				
	Posgrados Economía K3				
7	CREDU L1	89,342.0	89,388.0	1,418.84	289.60
8	Filosofía bloque "B" G1	72,969.0	72,716.0	1,828.38	238.08
	Economía (Monjas) K4				
CREDU	Bloque del CREDU	554,509.0	557,492.0	2,001.1	474.70
<b>TOTAL</b>		<b>2,330,645.7</b>	<b>2,238,200.00</b>	<b>24,184.59</b>	<b>179,393.18</b>

Tabla 5

## 4.5 Implicaciones Arquitectónicas.

Basados en el estudio "Aesthetic impact of solar energy systems" (Sánchez-Pantoja *et al.*, 2018), se establecen los factores influyentes, los cuales son la visibilidad (o tamaño) y el grado de integración. Además, las autoras proponen un marco metodológico para evaluar el impacto estético. Para poder relacionar los factores objetivos con la percepción, en el marco metodológico propuesto, el impacto estético es desglosado en tres niveles o subimpactos. El primero es llamado uso del suelo, que depende del tamaño; el segundo es el sistema de energía solar, que está en relación con la visibilidad; y, el tercero, el grado de integración y el deslumbramiento, que igualmente depende de la visibilidad (Sánchez-Pantoja *et al.*, 2018).

**Imagen 75** Fotomontaje Vista Aerea General con sistema solar en el Campus Central de la Universidad de Cuenca

Fuente: elaboración propia



Imagen 75

En cuanto al uso del suelo, considera la alteración en la calidad del paisaje como causa de la instalación del sistema, es decir, explica la diferente percepción estética de una misma instalación en diferentes ubicaciones. En este nivel, la percepción es casi nula en el paisaje urbano y negativa en paisajes de alta calidad no transformados por el ser humano.

El sistema de energía solar, al contrario que el uso de suelo, es independiente de la ubicación, pues toma en cuenta únicamente la percepción estética del propio sistema. Este nivel depende de visibilidad y grado de integración. Al encontrarse en un entorno urbano la visibilidad también está relacionada con la ubicación del sistema ya sea en techo o en fachada. El valor de este subimpacto está influenciado a su vez por factores como el color, la textura, la fractalidad, que componen la visibilidad o el grado de integración. Por tanto, la percepción estética para este nivel será casi nula o negativa cuando el grado de integración es cero.

**Imagen 76** Fotomontaje Ortofoto con sistema solar en el Campus Central de la Universidad de Cuenca

Fuente: Elaboración Propia

El deslumbramiento incluye la percepción negativa producida por los materiales del panel. El valor de este subimpacto está influenciado por las propiedades de reflexión de los materiales.



Imagen 76

#### 4.5.1 Impacto visual al entorno inmediato

Por la ubicación del campus las tecnologías se visibilizan en mayor grado desde el Barranco, la plazoleta del Vado y edificios aledaños de altura. Por lo contrario, dentro del campus generalmente las tecnologías son imperceptibles en la mayoría de los ángulos visuales a nivel de suelo, volviéndose más notorios desde las plantas altas de los edificios que comprenden el campus.



**Imagen 77** Fotomontaje del Campus Central de la Universidad de Cuenca con sistema solar. Punto de vista Plazoleta del Vado.

Fuente: Elaboración Propia

En la mayoría de los edificios del campus, los equipos de captación no generan mayor impacto visual con excepción del edificio de Economía K4 Monjas, Coliseo N1 e Ingeniería D1 por: su altura, su ubicación; parcialmente aislado del resto de edificios y sus cubiertas; son las que presentan mayor grado de inclinación. En conclusión, la percepción es casi nula por estar en un contexto urbano, ya que no afecta significativamente al paisaje natural (ver imagen 78, 79, 80).

Desde la perspectiva arquitectónica y de conservación del patrimonio. Se propone una postura amplia basada en el concepto de la ciudad como paisaje urbano, permitiendo límites aceptables de transformación sin perder aquellas características más distintivas y valoradas.

**Imagen 78** Integración de PVs en el edificio patrimonial de economía "Monjas" K4

**Imagen 79** Integración de PVs en la edificación N1 Coliseo Universitario Julio Abad

**Imagen 80** Integración de PVs en el edificio de Ingeniería D1

Fuente: Elaboración Propia



Imagen 78



Imagen 79



Imagen 80

Existen tres tipos de integración morfológica mencionados anteriormente, en el caso del edificio patrimonial de Monjas (K4) se colocó paneles solares superpuestos, se puede evidenciar que la integración arquitectónica no es posible, ya que no reemplazaría el material de cerramiento de la cubierta, aun así mantiene relación en términos de tamaño.

Para el caso de la integración en centros patrimoniales urbanos latinoamericanos, la teja de arcilla es el material tradicional. Entonces las tejas fotovoltaicas poseerían las mejores condiciones de integración estética por mimetización (Zalamea-León et al., 2017).

**Imagen 81** Integración de PVs en el edificio de Monjas K4 | Ortofoto

**Imagen 82** Integración de PVs en el edificio de Monjas K4 | Vista aérea

Fuente: Elaboración Propia



Imagen 81



Imagen 82

#### 4.5.2 Percepción estética del sistema energético solar

El panel Sunpower SPR-A400-BLK mide 1835x1016x40 mm y es monocromático, de color negro, de un aspecto sobrio que proporciona mayor grado de integración; las células del panel son imperceptibles por no poseer contactos metálicos. Los captadores solares poseen una textura lisa por las características del panel.

Con respecto a la fractalidad, responde a la forma geométrica de los faldones y losas de cubierta, que generalmente son trapecios, cuadrados, triángulos y rectángulos.

En las cubiertas planas, la percepción es casi nula, ya que la cubierta y el panel presentan tonalidades similares, de gris a negro, mientras que en cubiertas de fibrocemento ondulado, de placas metálicas y recubrimiento de teja, la percepción es negativa porque la textura y color de la cubierta se modifican.



Imagen 83



Imagen 84



Imagen 85

**Imagen 83** Integración de PVs en las edificaciones de Arquitectura I Ortofoto

**Imagen 84** Integración de PVs en las edificaciones de Arquitectura I Vista aérea

Fuente: Elaboración Propia

**Imagen 85** Integración de PVs en el edificio de Psicología J1 I Ortofoto

Fuente: Elaboración Propia

**Imagen 86** Integración de PVs en el edificio de Psicología J1 I Vista aérea

Fuente: Elaboración Propia



Imagen 86



**Imagen 87** Integración de PVs en el conjunto de edificaciones Jurisprudencia, idiomas, Filosofía bloque I1y I2| Ortografía

**Imagen 88** Integración de PVs en el conjunto de edificaciones Jurisprudencia, idiomas, Filosofía bloque I1y I2| Vista aérea

Imagen 87



Imagen 88

### 4.5.3 Niveles de integración arquitectónica de las tecnologías

En cuanto a los niveles de integración arquitectónica de las tecnologías, se analizó la implicancia visual generada por los PVs desde la perspectiva arquitectónica y urbanística con base en los criterios antes mencionados. Además, se determinó el nivel de integración según el artículo “Criterios de Integración de Energía solar Activa en la arquitectura” de los autores Zalamea y Quesada (2017).

Nivel 0 (Sin integración): Cuando los colectores son geoméricamente independientes y utilizan la estructura del edificio como soporte.

Nivel 1 (Formal). Cuando los colectores se encuentran en paralelo y coplanar a fachadas o cubiertas del edificio y son independientes entre sí.

Nivel 2 (Funcional): Cuando los equipos reemplazan recubrimientos de fachadas o cubiertas brindando protección a la intemperie.



Imagen 89



Imagen 90

Nivel 3 (Expresión): Cuando las superficies de los colectores aportan al sentido expresivo del edificio.

Nivel 4 (Multiplicidad): Cuando los paneles contribuyen de manera máxima en la eficiencia, producción y expresividad formal.

**Imagen 89** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Ciencias Química e Ingeniería I Ortofoto

**Imagen 90** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Ciencias Química e Ingeniería I Vista aérea

**Imagen 91** Integración de PVs en el conjunto de edificios de A1 Teatro Carlos Cueva, A2 Administración Central, A3 Biblioteca Juan Bautista Vázquez I Ortofoto

**Imagen 92** Integración de PVs en el conjunto de edificios de A1 Teatro Carlos Cueva, A2 Administración Central, A3 Biblioteca Juan Bautista Vázquez I Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Imagen 91



Imagen 92

En este análisis los paneles de 66 celdas con placas sin contactos metálicos entre células están superpuestos a las cubiertas, se categorizan como tecnologías de Nivel-1. La superficie de los equipos de captación se encuentra en su mayoría de manera paralela y coplanar a las cubiertas. Al no formar parte de las techumbres como un material de revestimiento los equipos son prescindibles en la edificación.

**Imagen 93** Integración de PVs en el edificio de Filosofía bloque B G1 | Ortofoto

**Imagen 94** Integración de PVs en el edificio de Filosofía bloque B G1 | Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Imagen 93



Imagen 94

En todas las edificaciones del campus universitario se propone una disposición de PV continua a excepción del coliseo, debido a la luz cenital del edificio los PVs se disponen de manera que estos posean un ritmo creando una organización visual con los tragaluces.

**Imagen 95** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Talleres de mantenimiento M1, Guardería M2, Coliseo Universitario N1, Talento Humano P1 y Cultura Física O1 | Ortofoto

**Imagen 96** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Talleres de mantenimiento M1, Guardería M2, Coliseo Universitario N1, Talento Humano P1 y Cultura Física O1 | Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Imagen 95



Imagen 96

Con el rediseño final de las cubiertas de los edificios del campus central de la Universidad de Cuenca se puede evidenciar que la integración arquitectónica de PVs y CSTs no es posible en su totalidad, ya que no reemplazaría el material de cerramiento de las cubiertas, aun así se logra de manera efectiva una superposición que mantiene relación en términos de tamaño y aspecto con la cubierta.

**Imagen 97** Integración de CSTs en los edificios del CREDU | Ortofoto

**Imagen 98** Integración de CSTs en los edificios del CREDU | Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Imagen 97

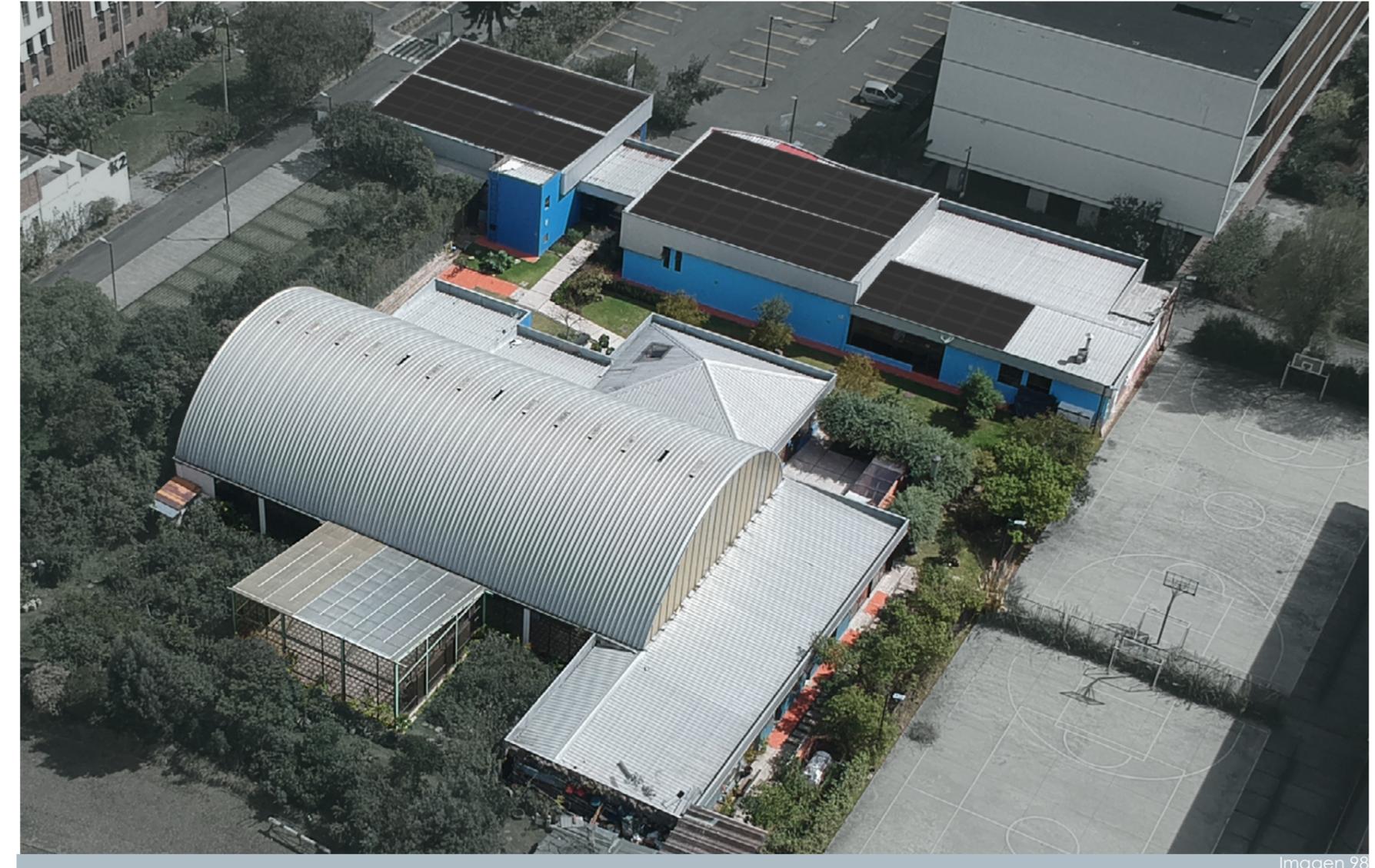


Imagen 98

## 4.6 Análisis Financiero

En el presente apartado se analiza la factibilidad de instalación de un sistema de captación solar a través de una evaluación económica.

Se evalúa la practicidad de la instalación desde el análisis del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

### 4.6.1 Análisis de paneles fotovoltaicos

Según las especificaciones técnicas del panel SPR-A400-BLK tiene una vida útil de 25 años. El costo de instalación es de 1.30 USD Wp (HELIOS STRATEGIA S.A.Ecuador, 2021) por lo que la inversión para la instalación de 5,736.63m<sup>2</sup> de PVs sería \$2,042,007.1. El costo promedio de la electricidad para la industria en Ecuador es de 0,083 USD el kWh (ARCONEL,2018), por tanto, con un VAN positivo de \$3,406,400.45 y una TIR de 4%, la inversión se recuperaría dentro de 8 años (Ver Tabla 6). Además, se podría ahorrar \$2,814,272.32 en el tiempo restante del periodo de vida de la instalación PVs.

Para este análisis se consideró el precio del kWh subsidiado, equivalente a 0.083 USD, es decir, el Estado contribuye con recursos públicos al precio de la electricidad; no obstante, en el Ecuador el precio real de la electricidad es de 0.159 USD (ARCERNNR, 2022), esto supone que la inversión se recupera mucho más rápido si en

verdad consideramos que el Estado gasta recursos públicos para cobrar un valor bajo de electricidad.

Periodos	Inversión	Flujos	Flujos Acumulados
0	\$ 2,042,007.10		
1		144816.23	144816.23
2		152057.04	296873.27
3		159659.89	456533.16
4		167642.89	624176.05
5		176025.03	800201.08
6		184826.28	985027.37
7		194067.60	1179094.97
8		203770.98	1382865.94
PRI	Año	Meses	Días
	8	2	24

Tabla 6

**Tabla 6** Período de recuperación de la inversión paneles fotovoltaicos

#### 4.6.2 Análisis de paneles colector solar

Al igual que el sistema PVs el colector solar plano FKT-2S posee una vida útil de 25 años. Considerando el precio unitario del colector a \$1,341.00. La inversión necesaria para la incorporación de esta tecnología sería de \$201,326.68 misma que se recuperaría mediante el ahorro obtenido por la utilización de los colectores en 12 años 6 meses con un VAN positivo de \$83,342.29 y una TIR de 8% (ver Tabla 7). Luego de este periodo se lograría ahorrar \$320,323.11.

Cabe mencionar que si bien la guerra ha implicado que se detenga la disminución de los costos de los sistemas PVs y CSTs, la tendencia es siempre a la reducción en un promedio del 2% anual, por ende a medida que pase el tiempo la integración de estas tecnologías se volverá una opción más rentable.

Períodos	Inversión	Flujos	Flujos acumulados
0	\$ 201.326,68		
1		\$ 11.941,95	\$ 11.941,95
2		\$ 12.539,05	\$ 24.481,00
3		\$ 13.166,00	\$ 37.647,00
4		\$ 13.824,30	\$ 51.471,31
5		\$ 14.515,52	\$ 65.986,82
6		\$ 15.241,29	\$ 81.228,12
7		\$ 16.003,36	\$ 97.231,48
8		\$ 16.803,53	\$ 114.035,00
9		\$ 17.643,70	\$ 131.678,70
10		\$ 18.525,89	\$ 150.204,59
11		\$ 19.452,18	\$ 169.656,77
12		\$ 20.424,79	\$ 190.081,56
13		\$ 21.446,03	\$ 211.527,59
PRI	Año	Meses	Días
	12	6	8

Tabla 7

Tabla 7 Período de recuperación de la inversión paneles fotovoltaicos



## 5.1 Conclusiones

La finalidad de este trabajo fue establecer la captación solar activa mediante la incorporación de PV y CST en las techumbres de las edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca, además se consideró la integración arquitectónica de las tecnologías solares en su entorno haciendo énfasis en la afectación visual.

Bajo las condiciones normales de ocupación del año 2019 los resultados evidenciaron que el consumo energético mensual promedio del campus central de la Universidad de Cuenca fue de 194,220.47kWh.

Al considerar la radiación promedio anual de 1,663.0kWh/m<sup>2</sup> de la ciudad de Cuenca y la superficie de techo del campus de 26,470.6 m<sup>2</sup> se determina que podría existir alrededor 44,032.85MWh de irradiación solar anual. Por otro lado, el análisis de sombras demuestra que su incidencia es mínima debido a que las techum-

bres recibe irradiación directa, por las características climáticas de las ciudades ecuatoriales andinas.

El campus central de la Universidad de Cuenca posee un gran potencial para integrar PVs y CSTs por la cantidad y superficie de techos en todas las edificaciones. Con la propuesta se pueden instalar 5,736.63m<sup>2</sup> de PVs y 318.75m<sup>2</sup> de CSTs lo que representa el 25.03% del área total de techumbre. Se dispusieron en los faldones y cubiertas planas 3,077 PVs con una potencia de 400 W y eficiencia del 21.4%; y 125 CSTs con un factor de eficiencia de 70%.

Los resultados de las simulaciones arrojan que los PVs producen al año 1,680,308.2kWh, mientras que los colectores producen 557,491.80kWh, cubriendo así el 96.03% de la demanda energética, siendo esta de 2,330,645.70kWh, esto permite prescindir de fuentes de energía convencionales. Los meses con menor producción energética son junio y julio, que llegan a cubrir el 77% y 87% respectivamente, mientras que en

septiembre y diciembre supera la demanda energética con el 42% y 21% respectivamente. En el caso de la sobreproducción el excedente se acumula para cubrir las demandas de los próximos meses. Además se determina la ventaja de la latitud ecuatorial, que permite la captación de irradiación en las losas y faldones orientados en cualquier dirección.

Este trabajo permite determinar que el campus central de la Universidad de Cuenca podría alcanzar estándares Net Zero y de esta manera evitar las emisiones de 871.77 tn de CO<sub>2</sub>. Sin embargo es necesario realizar un análisis de ciclo de vida de los paneles, fabricación, transporte, etc; para poder estimar el valor de emisiones de manera precisa.

Los casos de estudio indican que en el campus de la Universidad Politécnica de Madrid (España) se autoabastece el 40%, mientras que la de Universidad de Dayton (EE.UU) 19%, seguido de Universidad Nacional Pukyong (Corea) que se autoabastece 13%; esto se debe a que se encuen-

tran en lugares con climas estacionales por lo que requieren de mayores servicios, por ende, mayor demanda, además el potencial PV es menor en comparación al de la latitud ecuatorial. Por otro lado, en el Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente (Países Bajos) se autoabastece el 100% y en la Escuela Secundaria Green Dot Animo Leadership (EE. UU) el 75%, por la razón de que son equipamientos de menor escala y con menores demandas energéticas. Mientras que en el campus central de la Universidad de Cuenca se podría autoabastecer el 96.03%, puesto que en el Ecuador el potencial de energía PV oscila entre los 876-1753kWh/kWp/año ocupando los valores más altos a nivel mundial.

Respecto al nivel constructivo se logra identificar 4 tipos de material de recubrimiento en las techumbres, determinándose el uso de 4 sistemas de anclaje para los paneles: soporte coplanar continuo atornillado, auto-perforante, salvateja y soporte inclinado para cubierta plana.

Con el resultado de diseño obtenido no se llega a alcanzar una integración arquitectónica de PVs y CSTs completa ya que no reemplazan el material de las envolventes, aunque si se alcanza de manera efectiva una superposición que guarda relación de dimensión y aspecto con la cubierta.

Por último, la inversión estimada para la instalación de PVs sería de \$2,042,007.10 la misma que se recuperaría dentro de un periodo de 8 años, mientras que la inversión para la instalación de CSTs sería de \$201,326.68 la cual se recuperaría mediante el ahorro obtenido por su utilización durante 12 años 6 meses considerando que la garantía de PVs y CSTs es de 25 años. Cabe aclarar que el tiempo de recuperación podría reducirse si se tiene en cuenta el costo real de la energía eléctrica, el alza del precio de los combustibles fósiles y el desarrollo tecnológico de la energía solar convirtiéndose en una opción viable y beneficiosa.

## 5.2 Recomendaciones

Al finalizar la investigación, se recomienda que varios aspectos cumplan una mejoría, por ejemplo: mayor difusión de energías solares como una fuente de energía renovable sostenible y sustentable pues sus beneficios aún se encuentran infravalorados.

Como consecuencia del desarrollo tecnológico, la demanda energética puede aumentar con el paso del tiempo, razón por la cual se recomienda el uso de estas tecnologías en el campus central de la Universidad de Cuenca puesto que posee el potencial solar para cubrir la demanda energética a pesar de su posible aumento.

Al encontrarse en la región ecuatorial andina el campus central de la Universidad de Cuenca posee una alta irradiación solar que se recomienda ser aprovechada.

El campus central de la Universidad de Cuenca posee una gran cantidad de área de techumbres, apenas el 25.03% del área es necesaria para cubrir la demanda energética por lo que, se recomienda aprovechar el área de techumbre restante para otros tipos de proyectos que requieran el uso de tecnologías de captación solar.

La aplicación de PV y CST es recomendable, el estudio demuestra

que se puede producir la energía necesaria para cubrir el consumo energético del campus central de la Universidad de Cuenca.

Es conveniente que el campus universitario alcance los estándares Net Zero ya que tiene el potencial necesario para autoabastecerse y disminuir así las emisiones de CO<sub>2</sub> que producen las fuentes de energía convencionales.

La ubicación de los PVs y CSTs es importante pues de ello depende el aprovechamiento de la irradiación solar. En el Ecuador al no poseer un clima estacional se recomienda colocar los PVs y CSTs sobre las cubiertas de las edificaciones; colocarlos en las fachadas reduciría la eficiencia de las tecnologías solares ya que la luz solar cae de manera perpendicular, con mínimas variaciones, durante todo el año.

Se recomienda seguir metodologías de integración más a fondo debido a su complejidad ya que en el presente trabajo se expone la inte-

gración de las tecnologías solares de manera general siendo así el punto de partida para investigaciones más específicas.

Es importante realizar un análisis de las implicancias de integración arquitectónica de tecnologías solares en edificaciones con valor patrimonial puesto que este tipo de edificaciones son sensibles a cambios.

En las instituciones educativas es altamente recomendable la incorporación de las tecnologías solares porque permiten ahorros significativos en los costos de abastecimiento energético.

Para la formación profesional, es recomendable que la universidad impulse el estudio de las tecnologías solares, enfatice la integración arquitectónica y el uso de los softwares para la cuantificación de la energía que se genera, ya que el valor educativo es inmenso y formara a los líderes climáticos del mañana.



## Referencias Bibliografías

ARCENNR. (2021a). Resolución-ARCENNR-001-2021. AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/regulaciones>

ARCENNR. (2021b). Resolución Nro. ARCENNR-002/2021. AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/regulaciones>

ARCENNR. (2022c). INFORME N°. DRETSE-2022-011. SUSTENTO DEL PROYECTO DE REGULACIÓN "TRATAMIENTO Y REPORTE DE SUBSIDIOS OTORGADOS POR EL ESTADO ECUATORIANO EN EL SECTOR ELÉCTRICO". <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/Informe-de-Sustento-Proyecto-Regulacion-de-Subsidios.pdf>

ARCONEL. (2018). *Regulación Nro. ARCONEL-003/18: Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de con-*

*sumidores finales de energía eléctrica.* <https://n9.cl/kxh0i>.

Auto Solar Energia. (2021). Estructura paneles solares. <https://autosolar.es/estructura-paneles-solares>

Barragán Escandón, E. A., Zalamea-León, E. F., Terrados-Cepeda, J., & Vanegas-Peralta, P. F. (2020). Energy self-supply estimation in intermediate cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109913. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109913>

Barragán, Escandón. (2018). El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador [Universidad de Jaen]. <http://ruja.ujaen.es/handle/10953/936>

Brooks, & Scarpa Architects. (2013, March 27). Green Dot Animo Leadership High School / Brooks + Scarpa Architects | Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-246916/green-dot-animo-leadership-high-school-brooks-scarpa-architects>

Bult, M., & Özcan, E. (2021). A new approach

to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment. *Reliability Engineering and System Safety*, 205, 107238. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107238>

Bureau SLA. (2016, February 19). Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente / Bureau SLA | Plataforma Arquitectura. Centro de Ciencias, Salas de Clases. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/781750/centro-de-aprendizaje-de-naturaleza-y-medio-ambiente-bureau-sla>

CENACE. (2018). *Informe del Factor de Emisión de CO2 2018*. <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/04/Informe-Factor-de-CO2-Sector-Eléctrico-2018.pdf>

Chavarro, D., Vélez, I., Tovar, G., Montenegro, I., Hernández, A., & Olaya, A. (2017). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Revista ResearchGate*, 1-27. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31118.87368>

Correa Álvarez, P. F., González González, D., &

Pacheco Alemán, J. G. (2016). Energías renovables y medio ambiente: su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 179–183.

Delgado Marín, J. P., Vera García, F., & García Cascales, J. R. (2019). Use of a predictive control to improve the energy efficiency in indoor swimming pools using solar thermal energy. *Solar Energy*, 179, 380–390. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.004>

Delpin, F., & Moreno, N. (2017). Plan de mantenimiento de paneles solares en planta fotovoltaica doña Carmen de la Ligua [Tesis de grado. Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://hdl.handle.net/11673/43749>

Fernández Ferichola, J. (2006). Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. [Tesis de grado. Universidad Carlos III Madrid]. <http://hdl.handle.net/10016/6037>

González, P., & Silva, M. (2010). *Comparación de dos programas de simulación de centrales termosolares de canal parabólico* [Tesis de grado. Universidad de Sevilla].

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4853/>

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), 1-9. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>

HELIOS STRATEGIA S.A. (2021). ENERGIA SOLAR-Heliostrategiaecuador. HELIOS. <https://heliostrategiaecuador.com/esolar/>

Hernández, H., & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de La Construcción*, 10(1), 53–63. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2011000100006>

IDAE, & ASIT. (2020). *Guía Técnica de Energía Solar Térmica*. 296. Madrid: IDEA, 2020. (Guías IDAE). [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/guiasolartermica\\_idae-](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-)

[asit\\_v3.0\\_20210111\\_nipo.pdf](https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4853/)

IEA & UNEP. (2018). Global Status Report 2018 : Towards a zero 0 emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *Global Status Report*, 325. 1-73 <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

Illescas, M. & Muentes, J. (2019). Cálculo de la Huella de Carbono del Campus Central de la Universidad de Cuenca en el período enero - diciembre 2017. [Tesis de grado. Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32151>

INEC. (2012). Proyecciones Poblacionales. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/presentacion.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/presentacion.pdf)

International Energy Agency. (2012). *Solar energy systems in architecture*. C. R. Munari Probst (Ed.), Integration criteria and guidelines (pp. 5-7). International Energy Agency. <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/t41da2-solar-energy-systems-in-architecture-28march20131.pdf>

- IRENA. (2020). Rise of Renewables in cities: Energy solutions for the urban future. IRENA, 1–114. file:///C:/Users/adela/AppData/Local/Temp/IRENA\_Renewables\_in\_cities\_2020.pdf
- Izquierdo, I., & Pacheco, G. (2017). Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca [Tesis de grado. Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27386>
- Junkers Bosch. (2021). Ficha técnica de captadores solares térmicos Junkers & Bosch. [https://www.junkers.es/ocsmedia/optimized/full/o416579v272\\_fichas\\_captadores\\_solares.pdf](https://www.junkers.es/ocsmedia/optimized/full/o416579v272_fichas_captadores_solares.pdf)
- Katsaprakakis, D. (2019). Introducing a solar-combi system for hot water production and swimming pools heating in the Pancretan Stadium, Crete, Greece. *Energy Procedia*, 159, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.047>
- Keirstead, J., Jennings, M., & Sivakumar, A. (2012). A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3847–3866.
- Lacomba, R. (1991). Manual de la Arquitectura Solar (H. Ferreiro, V. Fuentes, J. García, S. Gutiérrez, M. Hernadez, R. Martínez, & N. Olivares (eds.); Primera Ed). Trillas, S.A de C.V. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/289476275-Ruth-Lacomba-MANUAL-DE-ARQUITECTURA-SOLAR1.pdf>
- LMS Architects. (2018, July 14). Centro cultural para las Artes Mason / LMS Architects | Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/895976/centro-cultural-para-las-artes-mason-lms-architects>
- LMS Architects. (2021, March 14). Instituto Jacobs para la Innovación en el Diseño / LMS Architects | Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/958369/instituto-jacobs-para-la-innovacion-en-el-diseno-lms-architects>
- Marín-López, D. S., Zalamea-León, E. F., & Barragán-Escandón, E. A. (2018). Potencial fotovoltaico en techumbre de edificios industriales de alta demanda energética, en zonas ecuatoriales. *Revista Hábitat Sustentable*, 8(1), 28–41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.03>
- MEER. (2017). MEER. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Informe-RC-2017-MEER.pdf>
- Mehmood, U., Al-Sulaiman, F. A., & Yilbas, B. S. (2017). Characterization of dust collected from PV modules in the area of Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, and its impact on protective transparent covers for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 141, 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.051>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2019). *Balance Energetico Nacional 2019*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>
- Ministerio de Industria Energía Turismo España. (2015). BOE-A-2015-10927 Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con

- autoconsumo. BOE. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-10927>
- Mittag, M., Pfreundt, A., Shahid, J., Wöhrle, N., & Neuhaus, D. H. (2019). Techno-Economic Analysis of Half Cell Modules - the Impact of Half Cells on Module Power and Costs. 36th EU PV Solar Energy Conference and Exhibition, September, 1032–1039. <https://doi.org/10.4229/EU-PVSEC20192019-4AV.1.20>
- Munari Probst, M. C., & Roecker, C. (2019). Criteria and policies to master the visual impact of solar systems in urban environments: The LESO-QSV method. *Solar Energy*, 184, 672–687. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.031>
- Nandwani, S. S. (2005). ENERGIA SOLAR-CONCEPTOS BASICOS Y SU UTILIZACION. [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-27\\_10-14-37105995.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-27_10-14-37105995.pdf)
- NREL. (2020, December). System Advisor Model Update Includes New Data, Improved Model Integration. <https://www.nrel.gov/news/program/2020/system-advisor-model-update-includes-new-data-improved-model-integration.html>
- Olivieri, L., Caamaño-Martín, E., Sassenou, L. N., & Olivieri, F. (2020). Contribution of photovoltaic distributed generation to the transition towards an emission-free supply to university campus: technical, economic feasibility and carbon emission reduction at the Universidad Politécnica de Madrid. *Renewable Energy*, 162, 1703–1714. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.120>
- Parlamento Europeo. (2020). La energía renovable | Fichas temáticas sobre la Unión Europea. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>
- Parlamento Europeo, & Consejo de la Unión Europea. (2019). Directiva Union Europeo 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo (p. 75). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>
- Petroecuador EP. (2021, January). Precios de venta en terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/01/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-ENERO-2022.pdf>
- PLANEE. (2017). Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE). Celec EP. [https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN\\_NACIONAL\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf](https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf)
- PME. (2017). Plan Maestro de Electricidad 2016-2025. Celec EP. <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/plan-maestro-de-electricidad-2016-2025>
- Ponce-Jara, M. A., Castro, M., Pelaez-Samaniego, M. R., Espinoza-Abad, J. L., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade. *Energy Policy*, 113, 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>
- Qiu, Z., Wang, J., Yu, B., Liao, L., & Li, J. (2021). Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques. *Building and Environment*, 196, 107566. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107566>
- República del Ecuador. (2008). Constitución del Ecuador. Registro Oficial, 449 (Principios de la participación Art.), 67. <http://www.asambleanacional.gov.ec/docu->

mentos/constitucion\_de\_bolsillo.pdf

Rosas-Flores, J. A., Rosas-Flores, D., & Fernández Zayas, J. L. (2016). Potential energy saving in urban and rural households of Mexico by use of solar water heaters, using geographical information system. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 53, pp. 243–252). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.202>

Sánchez-Pantoja, N., Vidal, R., & Pastor, M. C. (2018). Aesthetic impact of solar energy systems. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 98, 227–238). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.021>

Sánchez, T., & Yacoub, E. (2015). Agua y ecología política. El extractivismo en la agroexportación, la minería y las hidroeléctricas en Latinoamérica. *Sección Justicia Hídrica*, 22, 17–18. <https://doi.org/10.14350/rig.59576>

Santamarta, J. (2007). Las energías renovables son el futuro. Ipq. <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>

Selectra. (2021). Factor de Conversión del

Gas Propano: m3 a kg a kWh (Fórmula). <https://propanogas.com/faq/factor-conversion>

Shea, R. P., Worsham, M. O., Chiasson, A. D., Kelly Kissock, J., & McCall, B. J. (2020). A lifecycle cost analysis of transitioning to a fully-electrified, renewably powered, and carbon-neutral campus at the University of Dayton. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100576>

Silva, M. (2020). Proyecto Final de Grado “Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos” [Tesis de grado. Universidad del Mar del Plata].

Solargis. (2017). Global Solar Atlas, World. Global Solar Atlas. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.261719,3%0Ahttps://globalsolaratlas.info/?m=sg:ghi%0Ahttps://olc.worldbank.org/content/global-solaratlas%0Ahttps://globalsolaratlas.info/downloads/world>

Song, J., & Choi, Y. (2015). Evaluation of rooftop photovoltaic electricity generation systems for establishing a green

campus. *Geosystem Engineering*, 18(1), 51–60. <https://doi.org/10.1080/12269328.2014.997892>

SunPower. (2021). SunPower A-Series A400-BLK | A390-BLK . <https://us.sunpower.com/sites/default/files/spr-a-series-400-390-blk-g-ac-datasheet-537616-reva.pdf>

Treviño, CU (2019, 19 de septiembre). *Certificación LEED México-Bioconstrucción*. Bioconstrucción y Energía Alternativa. <https://bioconstrucion.com.mex/certificacion-leed/>

Universidad de Cuenca. (2018). *Responsables sobre la ejecución de las tutorías específicas para la titulación* [https://www.ucuenca.edu.ec/images/direccion-planificacion/InformeDeGestion/INFORME-DE-GESTION-2018\\_compressed.pdf](https://www.ucuenca.edu.ec/images/direccion-planificacion/InformeDeGestion/INFORME-DE-GESTION-2018_compressed.pdf)

Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019). The water footprint of electricity in Ecuador: Technology and fuel variation indicate pathways towards water-efficient electricity mixes. *Water Resources and Industry*, 22, 100112. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100112>

Vaca, D., Ordóñez, F., & Villada, J. (2019). Atla Solar Ecuador. *Scinergy*, 30, 1-6. [https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa\\_Solar\\_del\\_Ecuador\\_2019.pdf](https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf)

Velasco, A., García, S. J., Guardo, A., Fontanals, A., & Egusquiza, M. (2017). Assessment of the use of venetian blinds as solar thermal collectors in double skin facades in mediterranean climates. *Energies*, 10(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/en10111825>

Zalamea-León, E., Mena-Campos, J., Barragán-Escandón, A., & Moscoso-Cordero, M. (2017). Perspectivas de cubiertas fotovoltaicas y arquitectura en contextos urbanos patrimoniales. : ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno *Resumen*. 301–324. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.13.38.5369>

Zalamea-León, E., & Quesada, F. (2017). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales. *Revista de Arquitectura*, 19(1), 65–79. <https://doi.org/10.14718/revarq.2017.19.1.1018>

Zomer, C., Custódio, I., Antonioli, A., & Rütther, R. (2020). Performance assessment of partially shaded building-integrated photovoltaic (BIPV) systems in a positive-energy solar energy laboratory building: Architecture perspectives. *Solar Energy*, 211, 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.026>

## Créditos de Imágenes

**Imagen 1:** Emisiones CO<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa CENTROSUR y CREU.

**Imagen 2:** Panel Solar Monocristalino Negro.

Fuente: Pagina web <https://sunpower.maxeon.com/es/productos-de-paneles-solares-paneles-solares-maxeon>.

**Imagen 3:** Panel Solar Monocristalino half-cell

Fuente: TECNOSOL. Tecnología perc y half cell en paneles solares. 2022. Elaborado por: TECNOSOL

**Imagen 4** Colector solar plano.

Fuente: Guía técnica de energía solar térmica. Elaborado por IDEA & ASIT.

**Imagen 5** Sección transversal de un colector solar plano.

Fuente: Guía técnica de energía solar térmica. Elaborado por IDEA & ASIT.

**Imagen 6** Colectores simplemente colocados.

Fuente: Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales 2017, Elaborado por Zalamea & Quezada.

**Imagen 7** Colectores superpuestos.

Fuente: Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales 2017,

Elaborado por Zalamea & Quezada.

**Imagen 8** Colectores integrados.

Fuente: Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales 2017, Elaborado por Zalamea & Quezada.

**Imagen 9:** Emplazamiento campus universitario y ciudad universitaria Universidad Politécnica de Madrid.

Fuente: Contribución de la generación distribuida fotovoltaica a la transición hacia un suministro libre de emisiones al campus universitario: Universidad Politécnica de Madrid y Ciudad Universitaria, 2020. Elaborado: Olivieri, Caaman, Sassenou y Olivieri Francesca.

**Imagen 10:** Vista aérea del sistema PV en el edificio de vivienda universitaria de la Universidad de Dayton

Fuente: Google Eath, 2022

**Imagen 11** Vista Aérea del área de estudio, 19 edificios para evaluar el potencial de los sistemas fotovoltaicos en los tejados.

Fuente: Evaluación de sistemas de generación de electricidad fotovoltaica en azoteas para el establecimiento de un campus verde. Enero 2015. Elaborado: Jinyoung Songa y Yosoon Choia.

**Imagen 12:** Instituto Jacobs I Fachada Frontal.

Fuente: Plataforma Arquitectura-LMS Architects/Elaborado por Tim Griffith.

**Imagen 13:** Instituto Jacobs I Vista Aérea.

Fuente: Plataforma Arquitectura-LMS Architects. Elaborado por Tim Griffith.

**Imagen 14:** Instituto Jacobs I Sección 3D.

Fuente: Plataforma Arquitectura-LMS Architects. Elaborado por Tim Griffith.

**Imagen 15:** Escuela Secundaria Green Dot Animo. Leadership I Perspectiva.

Fuente: Plataforma Arquitectura-Brooks + Scarpa Architects/Elaborado por John Linden.

**Imagen 16:** Escuela Secundaria Green Dot

Animo Leadership I Composición Formal de paneles solares.

Fuente: Plataforma Arquitectura-Brooks + Scarpa Architects/Elaborado por John Linden.

**Imagen 17:** Escuela Secundaria Green Dot Animo

Leadership I Elevación lateral.

Fuente: Plataforma Arquitectura-Brooks + Scarpa Architects/Elaborado por John Linden.

**Imagen 18:** Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente I Perspectiva.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Bureau SLA / Elaborado por Filip Dujardin.

**Imagen 19:** Centro de Aprendizaje de Naturaleza y Medio Ambiente I Fachada Frontal.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Bureau SLA / Elaborado por Filip Dujardin.

**Imagen 20:** Centro de Aprendizaje de Natura-

leza y Medio Ambiente.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Bureau SLA / Elaborado por Filip Dujardin.

**Imagen 21:** Centro Cultural de Artes Mason I Axonometría explotada.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Leddy Maytum Stacy Architects / Elaborado por Bruce Damonte.

**Imagen 22:** Centro Cultural de Artes Mason I Sección Transversal.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Leddy Maytum Stacy Architects / Elaborado por Bruce Damonte.

**Imagen 23:** Centro Cultural de Artes Mason I Perspectiva interior.

Fuente: Plataforma Arquitectura - Leddy Maytum Stacy Architects / Elaborado por Bruce Damonte.

**Imagen 24:** Ubicación del ST para la calefacción de la piscina cubierta del municipio de Archena, España.

Fuente: Google Eath, 2021.

**Imagen 25:** Ubicación del ST para la calefacción de la piscina de la piscina del Estadio Deportivo Pancretano en Creta, Grecia.

Fuente: Potencial en la mejora del rendimiento energético de los estadios nacionales: un estudio de caso para el estadio Pancretan, Creta, Grecia, 2019.

**Imagen 26:** Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 27** Ubicación de medidores del Campus Central de la Universidad de Cuenca.

Fuente: Elaboración propia, 2021 En base a la información del Departamento de Planificación de la Universidad de Cuenca.

**Imagen 28** Planta de cubiertas de: Edificio Administrativo (A1), Biblioteca (A2), Teatro Carlos Cueva (A3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 29** Planta de cubiertas de: Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1) y Laboratorios (D2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 30** Planta de cubiertas de Laboratorio de Suelos (D2) y Psicología (J1).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 31** Planta de cubiertas de Arquitectura (E1, E2, E3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 32** Planta de cubiertas de Filosofía bloque B (G1).

Fuente: Elaboración propia, 2021

**Imagen 33** Planta de cubiertas de Economía (K4).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 34** Planta de cubiertas de Economía (K1, K2, K3), Filosofía A (I1, I2), CREDU (L1) y Jurisprudencia (H1).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 35** Planta de cubiertas de Educación Física (O1), VLIR (P1), Coliseo (N1) y Mantenimiento (M1) y Guardería (M2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 36** Análisis de sombra del Grupo 1: Edificio Administrativo (A1), Biblioteca (A2), Teatro Carlos Cueva (A3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 37** Análisis de sombra del Grupo 2: Ciencias Químicas (C1), Ingeniería (D1), Laboratorio Suelos (D2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 38** Análisis de sombra Grupo 3: Educación Física (O1), VLIR (P1), Coliseo (N1) y Mantenimiento (M1) y Guardería (M2).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 39** Análisis de sombra del Grupo 4 Arquitectura (E1, E2, E3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 40** Análisis de sombra Grupo 5: Psicología (J1) y PROMAS (D3).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 41** Análisis de sombra del Grupo 6 Economía (K1, K2, K3), Filosofía A (I1, I2), CREDU (L1) y Jurisprudencia (H1).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 42** Análisis de sombra Grupo 7: Filosofía bloque B.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 43** Análisis de sombra Grupo 8: Economía (K4).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 44** Panel monocristalino SPR-A400-BLK.

Fuente: Sunpower, 2021.

**Imagen 45** Cuelas Maxeon de Sunpower.

Fuente: Sunpower, 2021.

**Imagen 46** Colector solar plano.

Fuente: Junkers, 2021.

**Imagen 47** Sección 3D Colector solar plano.

Fuente: Junkers, 2021.

**Imagen 48** Placas fotovoltaicas sobre techumbre onduladas acondicionadas para generar ventilación pasiva.

Fuente: <http://www.sdyabaite.com>.

**Imagen 49** Estructura de soporte y aclaje de paneles solares.

**Imagen 50** Anclaje para Cubiertas con estructura de madera.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 51** Anclaje para cubiertas con estructura de metálica.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 52** Anclaje para Cubiertas con estructura de madera y recubrimiento de teja artesanal.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 53** Anclaje para Cubiertas planas de hormigon

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 54** Anclaje para Cubiertas con estructura de metal

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 55** Emplazamiento Campus Central Universidad de Cuenca.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 56** Axonometría General Campus Central Universidad de Cuenca.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 57** Isometría Grupo1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 58** Planta de cubierta Grupo 1.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 59** Isometría Grupo 2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 60** Planta de cubierta Grupo 2.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 61** Isometría Grupo 3.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 62** Planta de cubierta Grupo 3.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 63** Isometría Grupo 4.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 64** Planta de cubierta Grupo 4.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 65** Isometría Grupo 5.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 66** Planta de cubierta Grupo 5.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 67** Isometría Grupo 6

Fuente: elaboración propia, 2021

**Imagen 68** Planta de cubierta Grupo 6

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 69** Isometría Filosofía G1.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 70** Planta de cubierta Filosofía G1.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 71** Isometría Economía K4.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 72** Planta de cubierta Economía K4.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 73** Isometría CREDU (L1).

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 74** Planta de cubierta CREDU (L1)

Fuente: elaboración propia, 2021

**Imagen 75** Fotomontaje Vista Aerea General con sistema solar en el Campus Central de la Universidad de Cuenca.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 76** Fotomontaje Ortofoto con sistema solar en el Campus Central de la Universidad de Cuenca.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 77** Fotomontaje del Campus Central de la Universidad de Cuenca con sistema solar punto de vista Plazoleta del Vado.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 78** Integración de PVs en el edificio patrimonial de economía "Monjas" K4

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 79** Integración de PVs en la edificación N1 Coliseo Universitario Julio Abad

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 80** Integración de PVs en el edificio de Ingeniería D1.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

**Imagen 81** Integración de PVs en el edificio de Monjas K4 I Ortofoto.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 82** Integración de PVs en el edificio de Monjas K4 I Vista aérea.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

**Imagen 83** Integración de PVs en las edificaciones de Arquitectura I Ortofoto.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 84** Integración de PVs en las edificaciones de Arquitectura I Vista aérea.

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

**Imagen 85** Integración de PVs en el edificio de Psicología J1 I Ortofoto

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 86** Integración de PVs en el edificio de Psicología J1 I Vista aérea.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 87** Integración de PVs en el conjunto de edificaciones Jurisprudencia, idiomas, Filosofía bloque I1 y I2 I Ortofoto.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 88** Integración de PVs en el conjunto de edificaciones Jurisprudencia, idiomas, Filosofía bloque I1 y I2 I Vista aérea.

Fuente: elaboración propia, 2021.

**Imagen 89** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Ciencias Química e Ingeniería

I Ortofoto.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 90** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Ciencias Química e Ingeniería I Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 91** Integración de PVs en el conjunto de edificios de A1 Teatro Carlos Cueva, A2 Administración Central, A3 Biblioteca Juan Bautista Vázquez I Ortofoto.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 92** Integración de PVs en el conjunto de edificios de A1 Teatro Carlos Cueva, A2 Administración Central, A3 Biblioteca Juan Bautista Vázquez I Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 93** Integración de PVs en el edificio de Filosofía bloque B G1 I Ortofoto.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 94** Integración de PVs en el edificio de Filosofía bloque B G1 I Vista aérea.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 95** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Talleres de mantenimiento M1, Guardería M2, Coliseo Universitario N1, Talento Humano P1 y Cultura Física O1 I Ortofoto

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 96** Integración de PVs en el conjunto de edificios de Talleres de mantenimiento M1, Guardería M2, Coliseo Universitario N1, Talento Humano P1 y Cultura Física O1 I Vista aérea

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 97** Integración de CSTs en los edificios del CREDU I Ortofoto.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Imagen 98** Integración de CSTs en los edificios del CREDU I Vista aérea.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Tablas

**Tabla 1** Medidores de las Edificaciones del campus central de la Universidad de Cuenca.

Fuente: Elaboracion propia, 2021.

**Tabla 2** Área, inclinación y materialidad de techumbres por edificio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 3** Grupo de edificaciones del Campus Central según medidor.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 4** Consumo energético, costo por consumo, emisiones CO<sub>2</sub> y colorimetría

Fuente: Elaboración propia, 2021

**Tabla 5** Demanda y producción energética total en el año de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 6** Período de recuperación de la inver-

sión paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 7** Período de recuperación de la inversión colectores solares.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Gráficos

**Gráfico 1** Consumo de energía por fuente (%).

Fuente: Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2019. Elaboración: Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE.

**Gráfico 2:** Demanda de energía en Cuenca urbana.

Fuente: El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador 2018. Elaborado: Barragán Antonio.

**Gráfico 3** Tecnología activas y pasivas destinadas a demandas de edificios.

Fuente: IEA SHC Task 41, 2012.

**Gráfico 4** Consumo Energético total en el año 2019.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 5** Costo económico por consumo energético.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 6** Costo económico por consumo de gas y diésel.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 7** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 8** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 9** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 10** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 11** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 12** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 13** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 14** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 15** Producción mensual en un periodo de 1 año.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Gráfico 16** Demanda y producción energética total en el año de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Anexos

Medidor	Lugar/Facultad	Consumo Energético en el año 2019 (kWh)	Emisiones de CO <sup>2</sup> (kg)
2831765	Teatro Carlos Cueva Biblioteca Edificio Administrativo	577.491,00	236770.9
2831805	Ingeniería Ciencias Químicas Laboratorio suelos	326.662,28	133931.5
2831816	Talleres de Mantenimiento Estadio Coliseo Instituto de Educación Física VLIR Guardería	125.160,12	51315.6
2857694	Arquitectura	134.954,64	13832.6
9876459	Psicología Promas	140.815,80	57734.15
2831755	Filosofía bloque "A" Jurisprudencia Economía Posgrados Economía CREDU Instituto de Idiomas	308.743,00	126584.63
2831786	Filosofía bloque "B"	89.342,00	36630.22
3805604	Economía (Monjas)	72.969,00	29917.29
	Lugar/Facultad	Consumo Energético en el año 2019	Emisiones de CO <sup>2</sup> (kg)
GLP	CREDU	29850	89251.5
	CREDU	4097.73	44487.27

### Anexo 2: Costo Mensual de Energía en 2019 (\$)

Lugar/Facultad	Grupo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Teatro Carlos Cueva/Biblioteca/Edificio Administrativo	1	3890,68	3541,90	3377,48	3431,04	4000,52	3753,54	4107,36	3039,54	3743,75	4297,31	3875,42	3656,95
Ingeniería / Ciencias Químicas / Laboratorios	2	2473,22	1819,23	1793,49	2313,21	2320,00	2516,11	2454,91	2094,19	3087,46	2650,92	2445,04	2230,77
Suelos Talleres de Mantenimiento / Estadio, Coliseo / Instituto de Educación Física / VLIR / Guardería	3	909,80	757,86	753,30	830,94	940,47	924,12	941,12	639,40	712,88	900,10	934,93	841,29
Facultad de Arquitectura	4	1039,44	775,87	767,61	935,35	1031,99	1078,96	1146,77	630,13	787,27	947,70	961,20	934,13
Facultad de Psicología / PROMAS	5	1030,09	824,06	818,87	905,15	938,13	963,11	1393,55	739,36	937,27	976,98	959,34	909,58
Facultad de Filosofía "Bloque A" / Jurisprudencia / Economía / Postgrados Economía / CREDU / Instituto de Idiomas	6	2361,39	1741,59	1654,99	2085,82	2150,13	2352,32	2339,40	1476,99	1847,52	2100,42	2177,49	2024,51
Facultad de Filosofía "Bloque B"	7	761,35	509,82	559,51	722,60	688,47	679,77	644,56	383,99	472,87	567,83	580,61	554,54
Facultad de Economía "Monjas"	8	540,60	479,76	459,57	493,84	545,04	556,17	559,72	353,53	514,07	519,83	556,89	526,94

### Anexo 3: Demanda Energética Mensual en 2019 (kWh)

Lugar/Facultad	Grupo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Teatro Carlos Cueva/Biblioteca/Edificio Administrativo	1	50.302,00	45.435,00	47.32,00	48.470,00	51.251,00	48.319,00	53.017,00	39.383,00	48.455,00	50.666,00	49.066,00	45.795,00
Ingeniería / Ciencias Químicas / Laboratorios Suelos	2	31.377,24	23.186,64	25.258,66	31.946,40	28.925,16	31.569,00	31.129,86	13.251,84	23.124,42	29.513,06	30.159,26	27.220,74
Talleres de Mantenimiento / Estadio, Coliseo / Instituto de Educación Física / VLIR / Guardería	3	11.621,88	9.188,16	10.067,40	10.567,20	14.375,94	10.951,74	11.265,90	8.072,28	8.886,24	9.984,78	10.122,48	10.056,12
Facultad de Arquitectura	4	12.763,26	9.302,40	9.874,62	12.171,66	12.415,38	13.042,74	13.777,14	7.603,08	9.553,86	11.489,28	11.653,50	11.307,72
Facultad de Psicología / PROMAS	5	12.964,20	10.893,60	12.069,66	11.710,32	12.072,72	12.110,46	12.110,46	9.521,70	11.775,90	12.367,50	11.938,08	11.281,20
Facultad de Filosofía "Bloque A" / Jurisprudencia / Economía / Postgrados Economía / CREDU / Instituto de Idiomas	6	28.990,00	21.734,00	27.861,00	26.068,00	28.421,00	29.377,00	28.377,00	17.774,00	23.469,00	25.706,00	26.536,00	24.430,00
Facultad de Filosofía "Bloque B"	7	9.380,00	7.017,00	9.385,00	8.448,00	8.448,00	8.234,00	7.864,00	4.897,00	5.568,00	6.728,00	6.886,00	6.487,00
Facultad de Economía "Monjas"	8	6.426,00	5.736,00	6.217,00	6.393,00	6.499,00	6.449,00	6.642,00	3.994,00	5.920,00	6.040,00	6.462,00	6.191,00

#### Anexo 4: Producción Energética Mensual en 2019 (kWh)

Lugar/Facultad	Grupo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Teatro Carlos Cueva/ Biblioteca/Edificio Admi- nistrativo	1	55155,7	44193,0	53030,8	47869,2	45205,9	36236,9	45177,5	42247,8	51176,6	52966,4	52661,5	63788,1
Ingeniería / Ciencias Químicas / Laboratorios Suelos	2	32502,4	26114,7	31336,8	28296,8	26889,7	21577,1	26781,6	25033,8	30251,4	31237	31104,7	37588,1
Talleres de Manteni- miento / Estadio, Coliseo / Instituto de Educación Física / VLIR / Guardería	3	24107,8	20737,9	26395,4	25393	26120,9	21482,9	26289,2	23133,5	26192,1	25186	23475,1	27238,2
Facultad de Arquitectu- ra	4	15294,8	12328	14446,5	12767,2	12420,2	10023,5	12023,5	11472,9	13858,2	14380	14637,3	17559,3
Facultad de Psicología / PROMAS	5	12453,3	10706,2	13552,6	12976,6	13399,4	11021,6	13399,2	11844	13425,4	12930	12140,1	14077
Facultad de Filosofía "Bloque A"/Jurispru- dencia / Economía / Postgrados Economía / CREDU / Instituto de Idiomas	6	34426,6	28288,1	33726,8	30425,5	30408,3	24734,9	29536,6	27582,9	32636,6	33095,6	33102,91	39263,9
Facultad de Filosofía "Bloque B"	7	11730	9983,39	12370,8	11617,2	11967,7	9932,04	11960,7	10755,5	12189,3	11922,8	11276,5	13185,6
Facultad de Economía "Monjas"	8	7314,62	5736,25	6693,22	5846,01	5371,51	4254,59	5279,05	5104,45	6373,16	6788,5	6952,99	8513,89

#### Anexo 5: Consumo y Costo Mensual de GLP en 2019

Mes	Consumo (kg)	Costo (\$)
Enero	2240	238,93408
Febrero	2450	261,33415
Marzo	2560	273,06752
Abril	2370	252,80079
Mayo	2880	307,20096
Junio	2560	273,06752
Julio	2380	253,86746
Agosto	2550	272,00085
Septiembre	2500	266,6675
Octubre	2520	268,80084
Noviembre	2490	265,60083
Diciembre	2350	250,66745
<b>TOTAL</b>	<b>29850</b>	<b>3184,00995</b>

### Anexo 6: Consumo y Costo Mensual de Diésel en 2019 y 2022

Mes	Consumo (Gal)	Costo 2019 (\$)	Costo 2022 (\$)
Enero	372,52	386,30	707,78
Febrero	358,59	371,86	681,321
Marzo	338,84	351,38	643,79
Abril	228,51	236,96	434,16
Mayo	366,09	379,64	695,57
Junio	310,17	321,65	589,32
Julio	422,09	437,71	801,97
Agosto	399,97	414,77	759,94
Septiembre	346,97	359,81	659,24
Octubre	356,123	369,30	676,63
Noviembre	337,56	350,05	641,36
Diciembre	260,3	269,93	494,57
<b>TOTAL</b>	<b>4097,733</b>	<b>4249,35</b>	<b>7785,69</b>

### Anexo 7: Calculo de ahorro; PV

No.	Año	Demanda	Fotovoltaicos	Ahorro
1	2023	144.954,23	138,0	144.816,23
2	2024	145.679,00	144,9	145.534,10
3	2025	146.407,40	152,15	146.255,25
4	2026	147.139,44	159,75	146.979,69
5	2027	147.875,13	167,74	147.707,39
6	2028	148.614,48	176,13	148.438,35
7	2029	149.357,50	184,93	149.172,57
8	2030	150.104,20	194,18	149.910,02
9	2031	150.854,59	203,89	150.650,70
10	2032	151.608,68	214,08	151.394,60
11	2033	152.366,48	224,79	152.141,69
12	2034	153.128,00	236,03	152.891,97
13	2035	153.893,25	247,83	153.645,42
14	2036	154.662,24	260,22	154.402,02
15	2037	155.434,98	273,23	155.161,75
16	2038	156.211,48	286,89	155.924,59
17	2039	156.991,75	301,24	156.690,51
18	2040	157.775,80	316,3	157.459,50
19	2041	158.563,64	332,11	158.231,53
20	2042	159.355,28	348,72	159.006,56
21	2043	160.150,73	366,16	159.784,57
22	2044	160.950,00	384,46	160.565,54
23	2045	161.753,10	403,69	161.349,41
24	2046	162.560,04	423,87	162.136,17
25	2047	163.370,83	445,06	162.925,77

## Anexo 8: Calculo de ahorro; ST

No.	Año	Gas y Diésel	Colectores	Ahorro
1	2023	\$12.094,10	\$138,00	\$11.956,10
2	2024	\$12.698,80	\$144,90	\$12.553,90
3	2025	\$13.333,74	\$152,15	\$13.181,60
4	2026	\$14.000,43	\$159,75	\$13.840,68
5	2027	\$14.700,45	\$167,74	\$14.532,71
6	2028	\$15.435,47	\$176,13	\$15.259,35
7	2029	\$16.207,25	\$184,93	\$16.022,31
8	2030	\$17.017,61	\$194,18	\$16.823,43
9	2031	\$17.868,49	\$203,89	\$17.664,60
10	2032	\$18.761,91	\$214,08	\$18.547,83
11	2033	\$19.700,01	\$224,79	\$19.475,22
12	2034	\$20.685,01	\$236,03	\$20.448,98
13	2035	\$21.719,26	\$247,83	\$21.471,43
14	2036	\$22.805,22	\$260,22	\$22.545,00
15	2037	\$23.945,49	\$273,23	\$23.672,25
16	2038	\$25.142,76	\$286,89	\$24.855,87
17	2039	\$26.399,90	\$301,24	\$26.098,66
18	2040	\$27.719,89	\$316,30	\$27.403,59
19	2041	\$29.105,89	\$332,11	\$28.773,77
20	2042	\$30.561,18	\$348,72	\$30.212,46
21	2043	\$32.089,24	\$366,16	\$31.723,09
22	2044	\$33.693,70	\$384,46	\$33.309,24
23	2045	\$35.378,39	\$403,69	\$34.974,70
24	2046	\$37.147,31	\$423,87	\$36.723,44
25	2047	\$39.004,67	\$445,06	\$38.559,61

## Anexo 9: Datos de Panel Fotovoltaico

DATOS DEL PANEL		
Potencia Nominal	400	w
Eficiencia del Panel	21,4	%
Vmpp	39,5	v
Imp	10,1	A
Voc	48,1	v
Isc	10,9	A
Max Voltaje	1000	v
Coeficiente de Potencia x Temperatura	-0,29	% / C
Coeficiente De Voltaje x Temperatura	-136	mV / C
Coeficiente de Corriente x Temperatura	4,1	mA / C
Medidas del Panel	1,01	x

## Anexo 10: Calculo de Potencia del Inversor

Grupo	Demanda Total	Área de cubierta (m2)	Capacidad nominal Instalada (kw)	Potencia del Inversor (kw)
1	577491,00	2868,87	480,90	504,95
2	326662,28	5074,52	272,03	285,63
3	125160,12	4056,93	104,23	109,44
4	134954,64	1078,41	112,38	118,00
5	140815,80	1512,82	117,26	123,13
6	308743,00	2282,22	257,10	269,96
7	89342,00	1418,84	74,40	78,12
8	72969,00	1828,38	60,76	63,80

## Anexo 11: Calculo de número de paneles; Grupo 1

Grupo 1		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	80928,4	w
Voltaje Nominal Ac	0	v
Voltaje máximo mppt Dc	420	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	330	v
Corriente Máxima Dc	229,91	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	202	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	10,47	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	8,79	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	21,06	
Número de Paneles totales x entrada mppt	1300	
Energía Anual aproximada del sistema	624442	

## Anexo 12: Calculo de número de paneles; Grupo 2

Grupo 2		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	378000	w
Voltaje Nominal Ac	350	v
Voltaje máximo mppt Dc	825	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	450	v
Corriente Máxima Dc	615	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	945	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	20,567202	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	11,98317	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	56,338285	
Número de Paneles totales x entrada mppt	1400	
Energía Anual aproximada del sistema	672476	

## Anexo 13: Calculo de número de paneles; Grupo 3

Grupo 3		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	120000	w
Voltaje Nominal Ac	300	v
Voltaje máximo mppt Dc	825	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	450	v
Corriente Máxima Dc	600	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	300	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	20,567202	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	11,983175	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	54,964181	
Número de Paneles totales x entrada mppt	1100	
Energía Anual aproximada del sistema	528374	

## Anexo 14: Calculo de número de paneles; Grupo 4

Grupo 4		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	120000	w
Voltaje Nominal Ac	300	v
Voltaje máximo mppt Dc	825	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	450	v
Corriente Máxima Dc	245	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	300	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	20,56	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	11,98	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	22,44	
Número de Paneles totales x entrada mppt	440	
Energía Anual aproximada del sistema	211349,6	

## Anexo 15: Calculo de número de paneles; Grupo 5

Grupo 5		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	504000	w
Voltaje Nominal Ac	600	v
Voltaje máximo mppt Dc	1000	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	520	v
Corriente Máxima Dc	1120	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	1260	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	24,92	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	13,84	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	102,59	
Número de Paneles totales x entrada mppt	2550	
Energía Anual aproximada del sistema	1224867	

## Anexo 16: Calculo de número de paneles; Grupo 6

Grupo 6		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	504000	w
Voltaje Nominal Ac	600	v
Voltaje máximo mppt Dc	1000	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	520	v
Corriente Máxima Dc	1120	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	1260	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	24,92	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	13,84	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	102,59	
Número de Paneles totales x entrada mppt	2550	
Energía Anual aproximada del sistema	1224867	

Anexo 17: Calculo de número de paneles; Grupo 7

Grupo 7		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	504000	w
Voltaje Nominal Ac	600	v
Voltaje máximo mppt Dc	1000	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	520	v
Corriente Máxima Dc	1120	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	1260	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	24,92994	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	13,87225	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	102,5998	
Número de Paneles totales x entrada mppt	2550	
Energía Anual aproximada del sistema	1224867	

Anexo 18: Calculo de número de paneles; Grupo 8

Grupo 8		
DATOS DEL INVERSOR		
Potencia Máxima Dc	504000	w
Voltaje Nominal Ac	600	v
Voltaje máximo mppt Dc	1000	v
Voltaje Mínimo mppt Dc	520	v
Corriente Máxima Dc	1120	A
<b>Resultados</b>		
Número Máximo de Paneles X Inversor	1260	
#MAXIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	24,92	
#MINIIMO de Paneles en Serie por entrada mppt	13,87	
#MAXIMO ramales en Paralelo por entrada mppt	102,59	
Número de Paneles totales x entrada mppt	2550	
Energía Anual aproximada del sistema	1224867	



