

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un sistema fotovoltaico solar para la carga de unidades de  
transportación eléctricas en el campus ESPOL”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Lizbeth Naidine Guillca Álvarez

Álvaro Daniel Villacís Calderón

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a las personas que han sido mis pilares durante todo este proceso académico. A mi papá por ser mi modelo a seguir y mi guía. A mi mamá por ser mi mayor soporte y fuente de admiración. A Connie, mi hermana, por motivarme a ser mejor cada día. Y a toda mi familia que me impulsa a seguir mis metas y objetivos. A cada uno de mis profesores que aportaron con sus conocimientos y consejos en mi formación académica. Finalmente, a mis amigos que hicieron esta etapa inolvidable.

### **Lizbeth Guillca Álvarez**

Dedico el presente proyecto a mi padre, quien me motiva a seguir creciendo y entregar lo mejor de mí en cada trabajo, a mi madre, quien me enseñó que todo es más fácil con un orden, a mi hermano, en quien veo un ejemplo a seguir, y a mi familia en general, que siempre me ha apoyado. También quisiera dedicarlo a mis amigos, que siempre estuvieron presentes para ayudarme y sacarme una sonrisa en los momentos de mayor tensión, a mis profesores y a todos los que contribuyeron en mi formación.

### **Álvaro Villacís Calderón**

## **AGRADECIMIENTO**

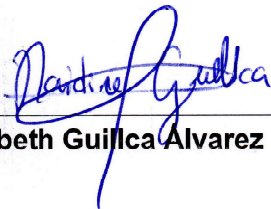
Agradecemos a Dios por habernos dado la vida y todas las oportunidades a lo largo de nuestra carrera universitaria. A nuestras familias por su soporte, y a todos los docentes de la Escuela Superior del Litoral, pues ellos formaron los cimientos de los profesionales que somos hoy.

También, a nuestro tutor de tesis, profesora de materia integradora y departamento de sostenibilidad pues ellos contribuyeron a la culminación y desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a todos los lectores, esperamos que este trabajo les sea de ayuda para su formación.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al Reglamento de Propiedad Intelectual de la institución; y nosotros *LIZBETH GUILLCA ALVAREZ* y *ÁLVARO VILLACÍS CALDERÓN* damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio, con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

**Lizbeth Guillca Álvarez**



---

**Álvaro Villacís Calderón**

# EVALUADORES

EMERITA  
ALEXANDR  
A  
DELGADO  
PLAZA

Firmado digitalmente por  
EMERITA ALEXANDRA  
DELGADO PLAZA  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=SECURITY  
DATA S.A. 1, ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE  
INFORMACION,  
serialNumber=280920191019  
, cn=EMERITA ALEXANDRA  
DELGADO PLAZA  
Fecha: 2021.09.24 15:45:30  
-05'00'

---

**PhD. Emérita Delgado Plaza**

Profesora de la materia

JUAN  
MANUEL  
PERALTA  
JARAMILLO

Firmado digitalmente por JUAN  
MANUEL PERALTA JARAMILLO  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 1,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION  
DE INFORMACION,  
serialNumber=280920183144,  
cn=JUAN MANUEL PERALTA  
JARAMILLO  
Fecha: 2021.09.23 00:19:59 -05'00'

---

**PhD. Juan Peralta Jaramillo**

Profesor tutor

## RESUMEN

El uso de vehículos convencionales que emplean combustible fósil dentro del campus ESPOL forma parte de las actividades que emiten dióxido de carbono al ambiente conformando el 16% de la huella de carbono de la institución. Esto afecta la salud del personal y degrada el ecosistema del Bosque protector Prosperina, donde se ubica el campus. El presente proyecto busca diseñar una estación de carga fotovoltaica que permita la transición hacia la movilidad sostenible cambiando los buses de recorrido interno convencionales a eléctricos y además permita la carga de *scooters* eléctricos que servirán como transporte complementario dentro del campus. Para esto primero se hizo un estudio de parámetros climáticos y demanda energética estimada a fin de verificar si existían las condiciones idóneas para el proyecto.

Se realizó un predimensionamiento del sistema y en base al área de captación necesitada se seleccionó una estructura que cumpla con este requerimiento en el campus. Se procedió a validar la alternativa seleccionada mediante una simulación usando el software PVsyst, determinando que la alternativa puede abastecer 1 bus eléctrico y 100 *scooters*, y además existirá un excedente de producción el cual sería inyectado a la red del campus. Adicionalmente, se diseñó una estructura de soporte para el montaje de los paneles en la infraestructura seleccionada.

La inversión del proyecto será de \$ 55,925 con un periodo de amortización de 20 años en el cual se tendría un ahorro estimado de \$29,833 por excedentes de producción.

Finalmente, el proyecto evitaría la emisión de 13.88 tonCO<sub>2</sub> al año al ambiente por el cambio de los sistemas de movilidad.

**Palabras Clave:** Paneles fotovoltaicos, movilidad sostenible, emisiones de dióxido de carbono.

## **ABSTRACT**

*The large quantity of conventional fossil fuel vehicles at the ESPOL campus causes large amounts of carbon dioxide to be emitted into the environment, which affects the health of the staff and contributes to the increase of greenhouse gases. This project seeks to design a photovoltaic charging station that allows the transition to sustainable mobility by changing the conventional buses to electric and allows the charging of electric scooters that will serve as complementary transportation within the campus. First, a study of climatic parameters and energy demand was carried out to verify if the ideal conditions for the project existed.*

*A pre-dimensioning of the system was carried out and, based on the area needed, a structure on the campus was selected that meets this requirement. The selected alternative was validated through a simulation using PVSyst software, determining that the alternative can supply 1 electric bus and 100 scooters, and that there will also be a production surplus which would be injected into the university network. Additionally, an auxiliary support structure was designed for mounting the panels on the selected infrastructure.*

*The project investment will be \$55,925 with an amortization period of 20 years in which there would be an estimated savings of \$29,833 from surplus production.*

*Finally, the project would avoid the emission of 13.88 tonCO<sub>2</sub> per year into the environment due to the replacement of the mobility systems.*

**Keywords:** *Photovoltaic panels, sustainable mobility, carbon dioxide emissions.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Principios de conversión de energía solar .....	3
1.4.2 Célula Solar .....	6
1.4.3 Sistemas fotovoltaicos .....	7
1.4.4 Elementos de un sistema fotovoltaico conectado a la red .....	8
1.4.5 Transporte terrestre eléctrico.....	10
1.4.6 Huella de carbono.....	13
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología .....	14
2.1 Flujo de trabajo.....	15
2.2 Especificaciones y restricciones.....	16



2.2.1	Requerimientos del sistema.....	16
2.2.2	Normas y códigos .....	16
2.3	Estudio demanda energética.....	17
2.3.1	Bus de 8 metros de largo.....	17
2.3.2	Bus de 12 metros de largo.....	18
2.3.3	Scooter genérico.....	18
2.4	Escala de Satisfacción .....	18
2.5	Determinación de la carga del sistema.....	18
2.5.1	Selección de alternativas de transporte .....	18
2.5.2	Carga final diaria.....	19
2.6	Condiciones climáticas en campus ESPOL-Prosperina.....	19
2.6.1	Tipo de sistema fotovoltaico.....	20
2.7	Diseño de la instalación fotovoltaica.....	21
2.7.1	Selección de panel solar e inclinación óptima .....	21
2.7.2	Pre-dimensionamiento del sistema.....	22
2.7.3	Lugar de instalación del sistema de generación fotovoltaica .....	22
2.7.4	Dimensionamiento campo de captación .....	24
2.7.5	Selección de Inversor .....	25
2.8	Validación del diseño con PVsyst.....	25
2.8.1	Pérdidas detalladas .....	26
2.8.2	Diseño del entorno y ubicación de paneles .....	28
2.8.3	Resultados obtenidos .....	28
2.8.4	Esquema Simplificado del diseño .....	30
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados y análisis .....	31
3.1	Resultados del diseño final.....	31
3.1.1	Comparación de resultados.....	31

3.1.2	Análisis de factibilidad energética.....	32
3.2	Análisis estructural .....	34
3.3	Análisis de costos.....	38
3.4	Viabilidad del proyecto .....	39
3.4.1	Viabilidad energética.....	39
3.4.2	Viabilidad económica .....	39
3.5	Análisis de reducción de huella de carbono .....	40
3.6	Ilustración del Proyecto .....	43
3.7	Análisis final .....	45
CAPÍTULO 4.....		46
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	46
4.1	Conclusiones.....	46
4.2	Recomendaciones.....	46
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
IEC	International Electrotechnical Commission
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
FV	Fotovoltaico
CTFE	Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero

## SIMBOLOGÍA

CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
K	Kelvin
m	Metro
W	Watts
h	Hora
d	Día
° C	Grados Celsius
Pa	Pascales
N	Newton
L	Litro
gal	Galón
tons	Toneladas
mi	Millas

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Geometría solar terrestre .....	5
Figura 1.2 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	8
Figura 1.3 Imagen de un Generador Fotovoltaico .....	9
Figura 1.4 Esquema general de carga de un bus eléctrico con celdas de hidrógeno....	10
Figura 1.5 Esquema general de carga de un bus eléctrico con baterías.....	11
Figura 1.6 Configuración de Buses eléctricos con baterías.....	11
Figura 1.7 Ubicación de motores eléctricos en bus modelo K9FE-BYD.....	12
Figura 1.8 Componentes de un scooter eléctrico .....	12
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto.....	15
Figura 2.2 Recorrido del bus interno del campus-ESPOL .....	17
Figura 2.3 Irradiancia global promedio mensual del 2009 al 2012 .....	20
Figura 2.4 Velocidad promedio mensual del 2009 al 2012.....	20
Figura 2.5 Modulo solar AE_HM6L-72-450W .....	21
Figura 2.6 Selección del ángulo de inclinación.....	22
Figura 2.7 Área ideal central rectorado o tecnologías (406 m <sup>2</sup> ) .....	23
Figura 2.8 Área ideal subestaciones (31m <sup>2</sup> ).....	23
Figura 2.9 Área ideal central coliseo (2.900m <sup>2</sup> ).....	23
Figura 2.10 Ubicación ideal de los paneles solares.....	25
Figura 2.11 Menú Principal PVsyst.....	26
Figura 2.12 Diseño del entorno y ubicación de paneles .....	28
Figura 2.13 Diagrama de Sankey de la instalación .....	29
Figura 2.14 Esquema simplificado.....	30
Figura 3.1 Irradiación mensual promedio .....	32
Figura 3.2 Generación vs consumo diario .....	33
Figura 3.3 Resultados energéticos mensuales.....	33
Figura 3.4 Desglose de energía inyectada a la red del campus .....	34
Figura 3.5 Vista isométrica de la estructura.....	34
Figura 3.6 Modelo simplificado del canal crítico .....	35
Figura 3.7 Diagrama de momento flector del canal crítico .....	35
Figura 3.8 Diagrama de fuerza cortante del canal crítico .....	35
Figura 3.9 Esfuerzos de von Mises del arco.....	36
Figura 3.10 Pandeo de la columna.....	36

Figura 3.11 Estructura para soporte de paneles.....	37
Figura 3.12 Análisis de carga en los canales de la nueva estructura .....	37
Figura 3.13 Esfuerzos de VonMises en el arco a causa de la nueva estructura .....	38
Figura 3.14 Balance energético de carga mensual .....	39
Figura 3.15 Emisiones de CO <sub>2</sub> según tipo de bus .....	42
Figura 3.16 Emisiones de CO <sub>2</sub> según tipo de generación eléctrica .....	43
Figura 3.17 Estación de bicicletas (Campus-ESPOL). .....	43
Figura 3.18 Ilustración del proyecto.....	44
Figura 3.19 Ilustración del proyecto.....	44
Figura 3.20 Ilustración del proyecto.....	44
Figura 3.21 Ilustración del proyecto.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Demanda energética de Bus (8m.).....	17
Tabla 2.2 Demanda energética de Bus (12m.).....	18
Tabla 2.3 Demanda energética de un scooter genérico .....	18
Tabla 2.4 Escala de Satisfacción.....	18
Tabla 2.5 Matriz de decisión del tipo de bus.....	19
Tabla 2.6 Matriz de decisión del tipo de scooter.....	19
Tabla 2.7 Carga diaria .....	19
Tabla 2.8 Matriz de decisión del tipo de sistema .....	21
Tabla 2.9 Pre-Dimensionamiento del campo de captación .....	22
Tabla 2.10 Matriz de decisión del lugar de Instalación .....	24
Tabla 2.11 Dimensionamiento en base a la ubicación e inclinación ideal .....	24
Tabla 2.12 Factores por pérdidas térmicas .....	27
Tabla 2.13 Resumen de resultados.....	28
Tabla 3.1 Costo del sistema de captación.....	38
Tabla 3.2 Costos de la estructura .....	38
Tabla 3.3 Costo total del proyecto .....	39
Tabla 3.4 Datos de Huella de Carbono en ESPOL.....	40
Tabla 3.5 Reducción de emisiones por electricidad .....	41
Tabla 3.6 Recorrido anual de un bus interno.....	41
Tabla 3.7 Emisiones de un bus a diésel .....	41
Tabla 3.8 Reducción de emisiones por combustible .....	42
Tabla 3.9 Reducción total de emisiones en el campus.....	42

# ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Estructura de soporta del sistema de captación



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En el 2016 se implementaron 17 objetivos de carácter global, denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para terminar con la pobreza, preservar el planeta y asegurar una buena calidad de vida para todas las personas. (Naciones Unidas, 2020).

Ante esto, las diferentes instituciones del Ecuador, entre ellas las de Educación Superior, están tomando acciones para alcanzar metas relacionadas con los ODS. Uno de los sectores en los que se debe trabajar es el del transporte, donde la principal fuente energética son combustibles fósiles que contribuyen con el calentamiento global.

El campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, se desarrolla en alrededor de 40 hectáreas urbanizadas, y cuenta con aproximadamente 14.000 personas, entre estudiantes, profesores y administrativos, quienes se movilizan casi en su totalidad en vehículos propios como en buses contratados por la institución.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una estación solar fotovoltaica, que permita la carga de unidades de transporte eléctricas dentro del campus Prosperina-ESPOL, como un plan piloto para la evaluación del transporte sostenible dentro de la institución que le permita ser carbono-neutro.

### 1.1 Definición del Problema

La gran afluencia de personas que utiliza vehículos convencionales, a base de combustibles fósiles, dentro del campus; ocasionan una elevada emisión de carbono que afecta la salud del personal y contamina el ambiente de la ESPOL. Es por esto, que la institución busca implementar un plan piloto de transporte eléctrico, alimentado por energías renovables, que permita reducir las emisiones de carbono.

Adicionalmente, se desean evaluar estrategias de transporte eléctrico complementario para evitar aglomeraciones considerando las regulaciones actuales derivada por el COVID-19.

El problema planteado requiere considerar los siguientes ODS que son de aspecto global, y que se listan a continuación:

- O3. Salud y bienestar.
- O7. Energía asequible y no contaminante.
- O9. Industria, innovación e infraestructuras.
- O11. Ciudades y comunidades sostenibles.
- O13. Acción por el clima.

Otro criterio importante es fomentar estrategias que permita mejorar el bienestar de los estudiantes, profesores y trabajadores dentro del Campus. Un punto clave, para lograr esta meta es la continua necesidad de movilización y un incremento en los periodos de cobertura del servicio de transporte dentro de la institución. Este parámetro, es influenciado desde el contexto económico, cultural, logístico y bienestar, pues de manera sinérgica cualquier cambio en criterios de movilidad impactará en las actividades del campus. Sin embargo, estos criterios quedan fuera del alcance de este proyecto, debido a que el diseño de la estación de carga es un paso previo a la ejecución del plan piloto y no se considera la etapa de operatividad, manejo de la demanda de movilización y el análisis de aceptación de usuario.

Para atender este problema se deberá realizar, además, un estudio de factibilidad económica que permita evaluar la viabilidad de las posibles alternativas de solución.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Las soluciones implementadas, relacionadas a la movilidad dentro del campus, no han logrado cubrir la demanda en horarios de mayor afluencia ocasionando inconvenientes como: aglomeración en los buses, impuntualidad a las clases y contaminación debido al uso de transporte convencional. Adicionalmente, debido al riesgo por contagio de COVID-19, los buses no pueden ir a su máxima capacidad, lo que agravara los problemas antes mencionados.

De esta forma, se busca diseñar una estación de carga, alimentada por paneles solares, que contribuya a un proyecto piloto de reemplazo de los

buses actuales por eléctricos, así como la implementación del servicio de transporte complementario de *scooters* eléctricos.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Diseñar una estación de carga solar, usando criterios de movilidad sostenible, que permita la carga de un bus eléctrico y de *scooters* dentro del campus Prosperina-ESPOL.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar el sistema fotovoltaico por medio un estudio de demanda de energética
- Diseñar la estructura de la estación de carga por medio del análisis estructural
- Evaluar la prefactibilidad del sistema de captación mediante un análisis de costos
- Estimar la tasa de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> empleando criterios de movilidad sostenible

### 1.4 Marco teórico

#### 1.4.1 Principios de conversión de energía solar

##### **El sol**

Es una estrella de materia gaseosa formada de hidrógeno (70%), helio (23%) y otros elementos químicos (3%). Tiene un diámetro de  $1,39 \times 10^9$  m y está aproximadamente a  $1,5 \times 10^8$  km de la tierra. Tiene una temperatura efectiva de cuerpo negro de 5777 K y se estima que la temperatura en las regiones interiores centrales está entre  $8 \times 10^6$  y  $40 \times 10^6$  K. (Duffie & Beckman, 2013).

##### **Constante solar**

“Es la energía del sol por unidad de tiempo recibida sobre una superficie perpendicular a los rayos solares” (Duffie & Beckman, 2013). Según la sociedad estadounidense para pruebas y materiales (ASTM) la constante

es 1366.1 W/m<sup>2</sup> y varía en un 3% debido a la forma elíptica de la tierra.

## Geometría solar

### Declinación

“La declinación solar es la distancia angular entre los rayos solares y el plano ecuatorial” (Kalogirou, 2013). Se la puede calcular para cualquier día del año (N), según la siguiente expresión propuesta por (ASHRAE, 2019):

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360^\circ}{365} (284 + N) \right] \quad (1.1)$$

### Ángulo horario

“Es el ángulo a través del cual la tierra giraría para llevar el meridiano de un punto en la superficie terrestre directamente debajo del sol” (Kalogirou, 2013). Se lo puede obtener a partir de la siguiente expresión (ASHRAE, 2019):

$$h = \pm 0.25 * (\text{min. desde el medio día}) \quad (1.2)$$

### Ángulo de la altitud solar

“Es el ángulo entre los rayos del sol y un plano horizontal” (Kalogirou, 2013).

$$\sin(\alpha) = \sin(\lambda) \sin(\delta) + \cos(\lambda) \cos(\delta) \cos(h) \quad (1.3)$$

Donde:

$\lambda$ : Latitud

### Ángulo cenital

“Es el ángulo entre los rayos solares y la vertical” (Kalogirou, 2013).

$$\cos(\Phi) = \sin(\alpha) \quad (1.4)$$

### Ángulo azimutal

“Es el ángulo de los rayos del sol medido en el plano horizontal, desde el sur para el hemisferio norte o desde el norte para el hemisferio sur” (Kalogirou, 2013).

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (1.5)$$

### Ángulo incidente

“Es el ángulo entre los rayos solares y la normal en una superficie”  
(Kalogirou, 2013).

$$\cos(\theta) = \cos(\alpha) \cos(\gamma) \sin(\beta) + \sin(\alpha) \cos(\beta) \quad (1.6)$$

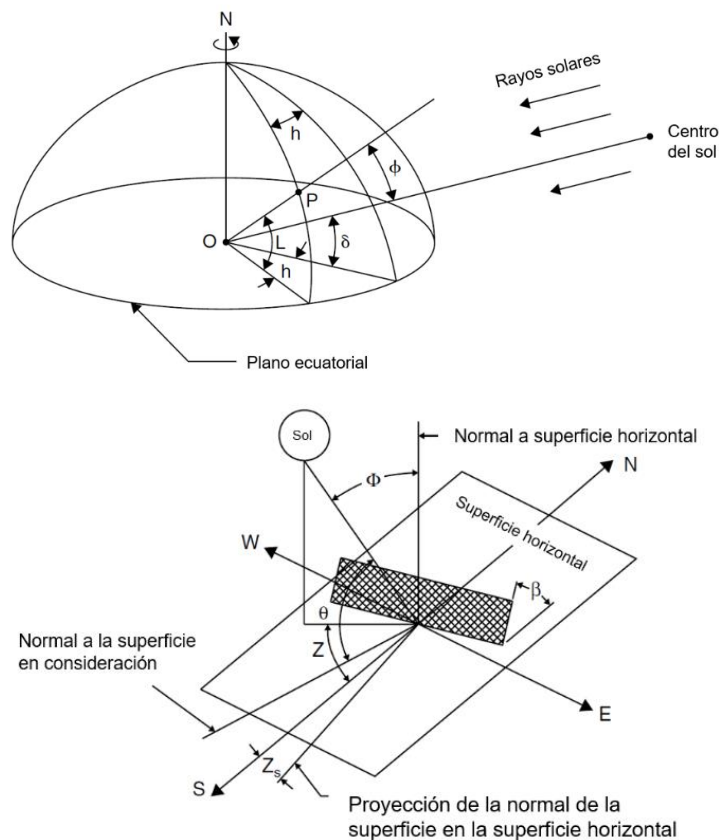
Donde:

$\beta$ : Inclinación de la superficie desde la horizontal.

$\gamma$ : Ángulo solar azimutal de la superficie

$$\gamma = z \pm Z_s$$

A continuación, en la Figura 1.1 se muestra el diagrama con los ángulos mencionados anteriormente:



**Figura 1.1 Geometría solar terrestre**

**Fuente: Solar energy: processes and systems (p.58), (Kalogirou, 2013)**

### Radiación solar

La radiación o irradiancia solar es la energía incidente del sol sobre la atmósfera, la cual depende del ángulo de incidencia respecto con la

perpendicular de la superficie y del porcentaje que se dispersa al entrar a la atmósfera debido a las nubes o contaminantes presentes (Çengel & Ghajar, 2011).

$$G_{solar} = G_{D.T} + G_{d.T} \quad (1.7)$$

Donde:

$G_{D.T}$ : Radiación solar directa total

$G_{d.T}$ : Radiación difusa total

### ***Radiación solar directa***

“Es la energía incidente de sol sin que desvíe su paso por la atmosfera” (Duffie & Beckman, 2013).

$$G_{D.T} = G_D R_D \quad (1.8)$$

Donde:

$R_D$ : Factor de conversión de la radiación solar directa

$$R_D = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\Phi)}$$

### ***Radiación solar difusa***

Es la radiación que se dispersa por las nubes o contaminantes presentes en el aire, por lo que se torna difícil modelarla. Según Çengel, puede variar entre un 10% a 90% de la radiación total dependiendo de la cantidad de nubes presentes, mientras que Duffie propone el siguiente modelo para cielos isentrópicos:

$$G_{d.T} = G_d \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + (G_D + G_d) \rho_g \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (1.9)$$

Donde:

$\rho_g$ : reflectancia

## **1.4.2 Célula Solar**

La energía fotovoltaica usa celdas semiconductoras compuestas por diodos p-n, para transformar la luz solar en energía eléctrica. Genera electricidad

sin producir gases de efecto invernadero y su operación es silenciosa pues, generalmente, no cuenta con partes móviles. De esta forma, se considera de fácil mantenimiento y tienen un mayor tiempo de vida promedio (Patel, 2021).

### **Funcionamiento de la célula solar**

Las células solares generalmente están hechas de silicio cristalino y se componen de dos capas dopadas de diferente manera. La capa que apunta al sol se encuentra dopada negativamente con fósforo, mientras que la otra está dopada positivamente con boro. Consecuentemente, con la presencia de los rayos solares se produce un campo eléctrico que separa las cargas. Para poder tomar esta energía es necesario instalar contactos metálicos en la parte delantera y trasera de la célula y tienen forma de cuadrícula o una estructura de árbol. Las pérdidas internas son a causa de la recombinación, reflexión o sombreado por los contactos frontales y además no es posible aprovechar toda la radiación solar debido a su longitud de onda (The german energy society [DGS], 2008)

### **1.4.3 Sistemas fotovoltaicos**

En base a la tecnología presentada previamente se puede diseñar sistemas fotovoltaicos que generen electricidad para aplicaciones cotidianas. Estos sistemas pueden ser de distintos tipos que se presentaran a continuación.

#### **Sistema fotovoltaico conectado a red**

“Un sistema fotovoltaico conectado a la Red es un sistema cuya función principal es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada a la red convencional” (Perpiñán, 2020).

En estos sistemas se busca maximizar la producción de energía de la planta fotovoltaica, debido a que la energía producida será distribuida parcial o totalmente en áreas cercanas y la energía sobrante será inyectada a la red. Así también cuando las condiciones no permitan la generación suficiente de energía solar, se consumirá de la red.

### Sistema fotovoltaico autónomo

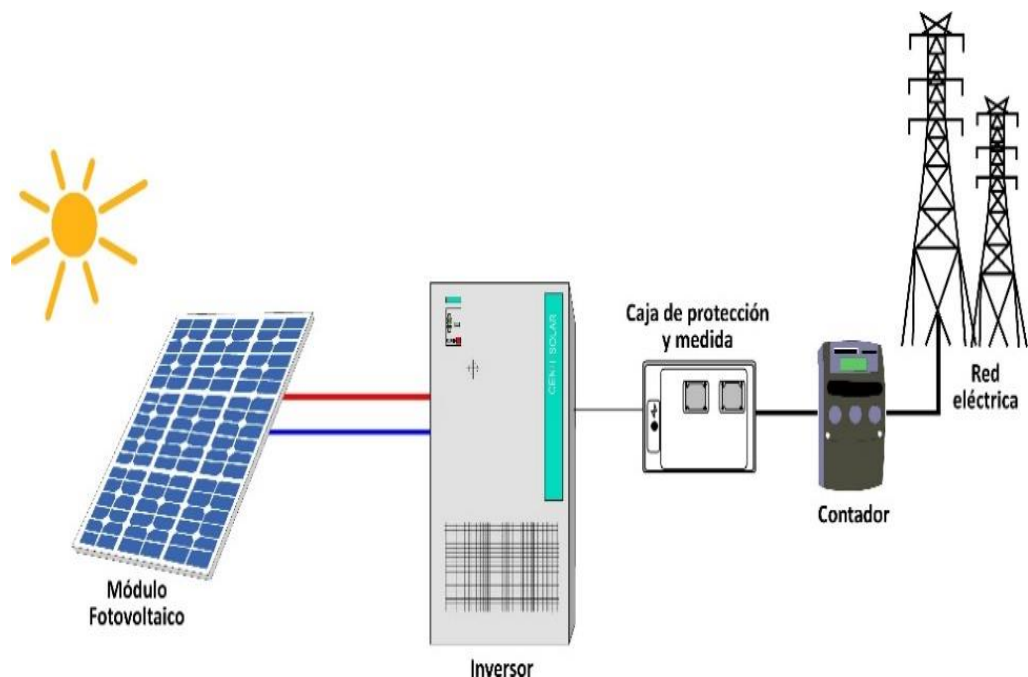
“Un sistema fotovoltaico autónomo produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo” (Perpiñán, 2020).

### Sistema híbrido

En sistemas híbridos más de un tipo de generador de electricidad es implementado. El generador secundario puede ser de tipo renovable como: turbinas eólicas, conexión geotérmica; o convencional, por ejemplo: un generador a base de diésel, gasolina o biocombustibles. Los elementos y conexiones dependerán de cada sistema (Kalogirou, 2013).

#### 1.4.4 Elementos de un sistema fotovoltaico conectado a la red

En el presente proyecto se diseñará un sistema fotovoltaico conectado a red, cuyo esquema general se presenta en la Figura 1.2.



**Figura 1.2 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red**  
Fuente: Fotovoltaica conectada a red (CENIT SOLAR P.E.I.E, 2021)



## **Generador Fotovoltaico**

“Un generador fotovoltaico es una asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada” (Perpiñán, 2020). El número de paneles fotovoltaicos, que componen al generador y su conexión dependerán de los requisitos del diseño o de las restricciones de espacio.



**Figura 1.3 Imagen de un Generador Fotovoltaico**

**Fuente:** <https://www.solarwatt.es/>

## **Inversor**

El inversor se usa para convertir la corriente directa que generan los paneles solares a corriente alterna que usan los equipos conectados al sistema. Puede tener una salida monofásica o trifásica. Además, debe mantener un voltaje constante en la salida (Kalogirou, 2013).

## **Controlador**

Se encargan de regular la energía proveniente de los módulos fotovoltaicos para evitar que las baterías se sobrecarguen, asimismo, pueden desconectar los consumos cuando no haya suficiente voltaje y consecuentemente evitar que la batería se descargue en exceso (Kalogirou, 2013).

### 1.4.5 Transporte terrestre eléctrico

Un vehículo eléctrico es aquel cuyo funcionamiento únicamente se deriva de la electricidad. Tienen bajo impacto ambiental ya que pueden recargarse con energía derivada de fuentes renovables. A continuación, se presentarán tecnologías existentes.

#### Buses eléctricos

Los buses eléctricos nacen como una alternativa a los buses convencionales que usan combustibles fósiles, cuyo funcionamiento emite altas cantidades de gases de efecto invernadero que contribuyen con el calentamiento global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). Otra razón por la cual resultan atractivos es que reducen la contaminación del aire en sectores urbanos, ya que no emiten sustancias nocivas como óxidos de nitrógeno (NOx) (MRCagney, 2017).

#### *Buses eléctricos con celdas de hidrógeno*

Las celdas de hidrógeno usan una reacción química entre hidrógeno almacenado y el oxígeno del aire. Existen muchos tipos de celdas, pero las celdas de combustible de membrana polimérica son las más apropiadas para aplicaciones de propulsión vehicular (Larminie & Lowry, 2012). En la Figura 1.4 se presenta un esquema del funcionamiento general. Debido a las instalaciones que se requiere para bombear hidrógeno, este tipo de transporte eléctrico queda fuera del alcance de este proyecto.



**Figura 1.4 Esquema general de carga de un bus eléctrico con celdas de hidrógeno Fuente: Electric Bus Technology - Final Report (p.11), (MRCagney, 2017)**

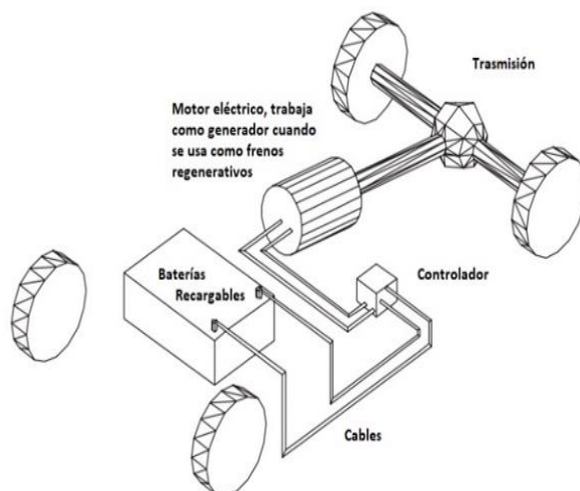
### Buses eléctricos con baterías

Estos buses almacenan toda la energía requerida en baterías que llevan a bordo. La energía se obtiene de un sistema externo de carga como se muestra en la Figura 1.5, mientras que para recuperar la energía cinética durante la operación se usa un sistema de frenos regenerativos (MRCagney, 2017).

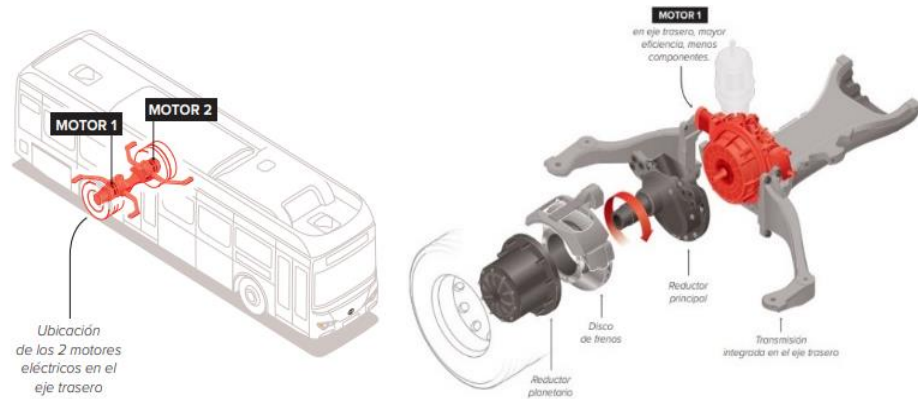


**Figura 1.5 Esquema general de carga de un bus eléctrico con baterías**  
Fuente: Electric Bus Technology - Final Report (p.11), (MRCagney, 2017)

La configuración típica se representa en la Figura 1.6, donde se mencionan los componentes más relevantes dentro del diseño de estos buses. Las baterías comúnmente usadas en este tipo de buses son: Litio – ferro fosfato, Titanato de Litio y óxido de litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC Li-ion) (Thorpe, 2016). Un ejemplo del acople del motor se muestra en la Figura 1.7.



**Figura 1.6 Configuración de Buses eléctricos con baterías**  
Fuente: Electric Vehicle Technology Explained (Larminie & Lowry, 2012)



**Figura 1.7 Ubicación de motores eléctricos en bus modelo K9FE-BYD**  
**Fuente: Infografía bus eléctrico K9FE (BYD CHILE, 2020)**

## Sistemas individuales de transporte

### *Scooter eléctrico*

Es un vehículo personal que funciona con un motor eléctrico de corriente directa, también conocido como e-scooter puede llegar a velocidades entre 40 y 65 km/h. Este vehículo es una adaptación de los scooters convencionales que no tienen un sistema motorizado, que permite menor esfuerzo físico al conducirlos. Generalmente este tipo de transporte usa baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) (Noor, et al., 2017). En la Figura 1.8 se pueden ver sus diferentes componentes.



**Figura 1.8 Componentes de un scooter eléctrico**  
**Fuente: Partes del scooter eléctrico (iTecnotoys, 2018)**

#### **1.4.6 Huella de carbono**

Es la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) que son generados por las actividades humanas y se miden en unidades de dióxido de carbono (Muthu, 2016). Según el IIGE entre el 2009 y 2019 ha habido un incremento del 19.3% en los GEI en Ecuador, siendo el sector que más generó el de transporte cuya fuente principal fue el combustible diésel (Instituto de Investigación Geológico y Energético [IIGE], 2019).

##### **Factor de emisiones de CO<sub>2</sub>**

Representa la masa de CO<sub>2</sub> liberada a la atmósfera a partir de la generación eléctrica a través de un combustible fósil.

##### **CO<sub>2</sub> equivalente**

Es una medida utilizada para comparar las emisiones de varios gases de efecto invernadero, en base a su potencial de calentamiento global, con la cantidad equivalente de dióxido de carbono y así poder estandarizar su efecto climático.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto se siguió el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.1:

- Se definió el problema y se lo limitó en base a los requerimientos del cliente y las normativas técnicas que aplicaban a este tipo de instalaciones.
- Se realizó un estudio de demanda energética para definir la carga del sistema tomando en cuenta los vehículos eléctricos que se implementarían en el plan piloto.
- Se llevó a cabo un pre-dimensionamiento para determinar el área necesaria para la planta fotovoltaica y definir la ubicación dentro del campus.
- Se efectuó la selección de equipos disponibles en el mercado local.
- Se realizó una simulación para encontrar la generación energética real del sistema.
- Se evaluó el proyecto tomando en cuenta un análisis energético, estructural, de costos y de emisiones de dióxido de carbono.

## 2.1 Flujo de trabajo

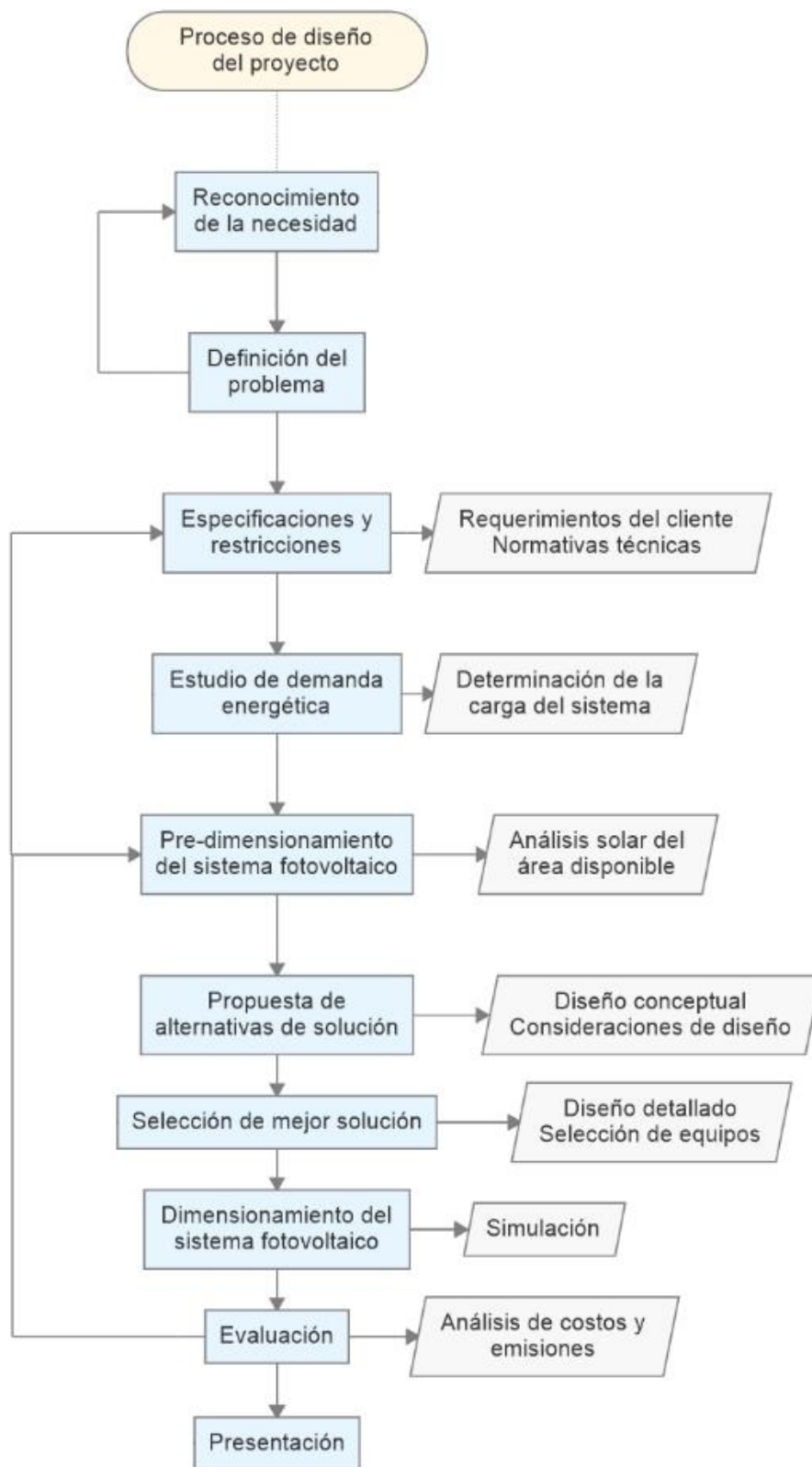


Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto

## **2.2 Especificaciones y restricciones**

### **2.2.1 Requerimientos del sistema**

El sistema deberá estar en capacidad de compensar la carga adicional generada a la red eléctrica del campus ESPOL resultante de 1 bus y 100 scooter eléctricos. Adicionalmente, el sistema deberá ser instalado en una estructura existente a fin de minimizar los costos de implementación.

### **2.2.2 Normas y códigos**

A continuación, se mencionan las normas y certificaciones que se consideraron en el presente proyecto.

#### **Sistema fotovoltaico**

*Regulación Nro. ARCONEL-003/18*

Aplicada para todo usuario que quiera instalar un sistema de microgeneración fotovoltaica con capacidad máxima de 100 kW y que opere en sincronismo con la red eléctrica.

#### **Certificación de equipos**

Para la selección de equipos se consideró el cumplimiento de las certificaciones norteamericanas pertenecientes a la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la cual es avalada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

*IEC 61215:2016*

Establece los requisitos para la cualificación del diseño y homologación de módulos FV para uso terrestre adecuados para operación de larga duración en ambientes exteriores.

*IEC 61730:2016*

Específica y describe los requisitos fundamentales de construcción de módulos FV para asegurar una operación eléctrica y mecánica segura.

*IEC 62108:2016*

Establece los requisitos para la cualificación del diseño y la homologación de módulos y sistemas de concentración fotovoltaica adecuados para operación de larga duración en ambientes exteriores.



## 2.3 Estudio demanda energética

En esta sección se realizó un cálculo de la demanda energética de los distintos tipos de transporte eléctrico que se pueden implementar en el plan piloto de movilidad sostenible en el campus ESPOL. Como parte del estudio se consideró la distancia recorrida dentro del campus, mostrada en la Figura 2.2, lo cual permitió analizar la funcionalidad de los transportes considerados.

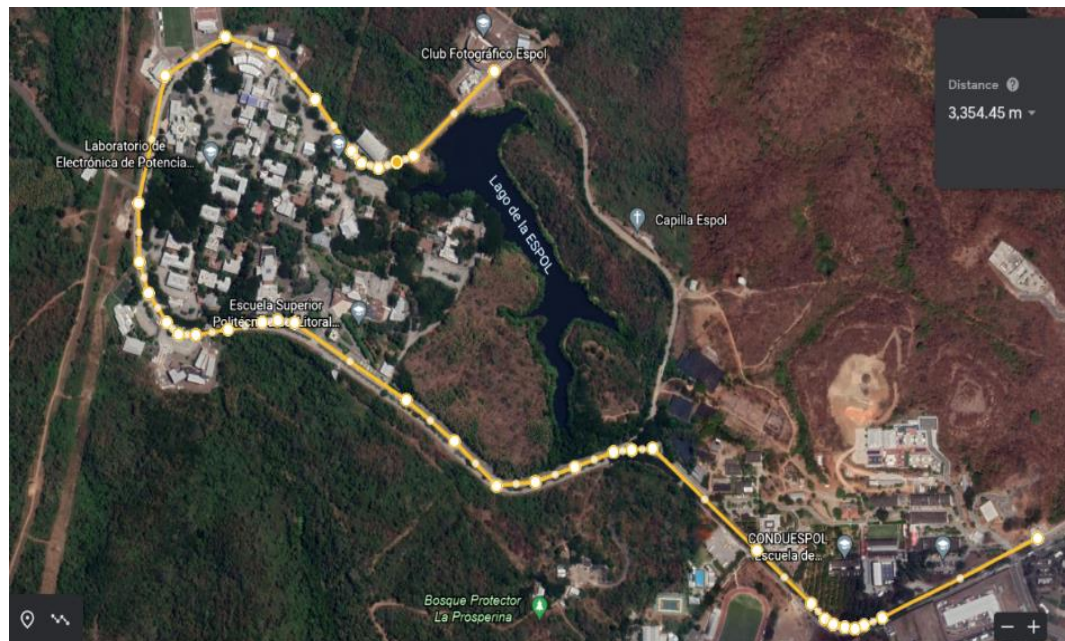


Figura 2.2 Recorrido del bus interno del campus-ESPOL

Dentro de los tipos de buses aprobados por el cliente, se tiene una opción con capacidad de 58 pasajeros y otra de 84 pasajeros, la demanda energética de estos modelos se encuentra en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2 respectivamente. En el caso de los scooters se consideró características genéricas para determinar su demanda energética y se muestra en la Tabla 2.3.

### 2.3.1 Bus de 8 metros de largo.

Tabla 2.1 Demanda energética de Bus (8m.)

Capacidad batería [kWh]	Tasa de consumo [kWh/km]	Autonomía [Km]	Número Vueltas	Tiempo de carga [h]	Unidades	Carga total [kWh/d]
130	0.95	109.47	18	1.37	1	130

### 2.3.2 Bus de 12 metros de largo

Tabla 2.2 Demanda energética de Bus (12m.)

Capacidad batería [kWh]	Tasa de consumo [kWh/km]	Autonomía [Km]	Número Vueltas	Tiempo de carga [h]	Unidades	Carga total [kWh/d]
258	0.95	217.26	36	2.22	1	258

### 2.3.3 Scooter genérico

Tabla 2.3 Demanda energética de un scooter genérico

Capacidad batería [kWh]	Tasa de consumo [kWh/km]	Autonomía [Km]	Número Vueltas	Tiempo de carga [h]	Unidades	Carga total [kWh/d]
0.27	-	29.93	-	5.5	1	0.2736

## 2.4 Escala de Satisfacción

Dentro de este proyecto se utilizó una escala de satisfacción mostrada en la Tabla 2.4, en conjunto de matrices de decisión ponderadas que se incluyeron a lo largo del documento.

Tabla 2.4 Escala de Satisfacción

1	2	3	4	5
Insatisfactorio	Poco Satisfactorio	Neutro	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisfactorio

## 2.5 Determinación de la carga del sistema

Para la determinación de carga se realizaron dos matrices de decisión la primera para seleccionar los buses, presentada en la Tabla 2.5, tiene los siguientes criterios: Capacidad de pasajeros, tiempo de carga, costo, autonomía y demanda Energética. La segunda, presentada en la Tabla 2.6, para decidir entre los tipos de scooter contiene: Tiempo de carga, autonomía, demanda energética, inclusión de una aplicación móvil y costo.

### 2.5.1 Selección de alternativas de transporte

Los criterios considerados para cada una de las matrices de selección fueron conversados con el departamento de sostenibilidad de ESPOL para así poder determinar el peso de cada criterio en las decisiones del tipo de bus y scooter.

**Tabla 2.5 Matriz de decisión del tipo de bus**

Criterios	Peso	Alternativas			
		Bus de 8m		Bus de 12m	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Capacidad de pasajeros	4	3	12	4	16
Tiempo de carga	3	4	12	3	9
Costo	2	4	8	2	4
Autonomía	5	3	15	5	25
Demanda energética	5	5	25	3	15
	<b>Total</b>	72		69	

**Tabla 2.6 Matriz de decisión del tipo de scooter**

Criterios	Peso	Alternativas							
		S1		S2		S3		S4	
		Calificación	Total	Calificación	Total	Calificación	Total	Calificación	Total
Tiempo de carga	4	2	8	3	12	4	16	4	16
Autonomía	5	5	25	4	20	3	15	4	20
Demanda energética	5	2	10	3	15	5	25	4	20
Cuenta con App	3	5	15	5	15	1	3	2	6
Costo	2	2	4	3	6	5	10	4	8
	<b>Total</b>	62		68		69		70	

### 2.5.2 Carga final diaria

La Tabla 2.7, muestra el detalle de la carga diaria. El número de unidades se determinó en base a los requerimientos del cliente, mientras que el tipo de transporte se definió en el apartado anterior.

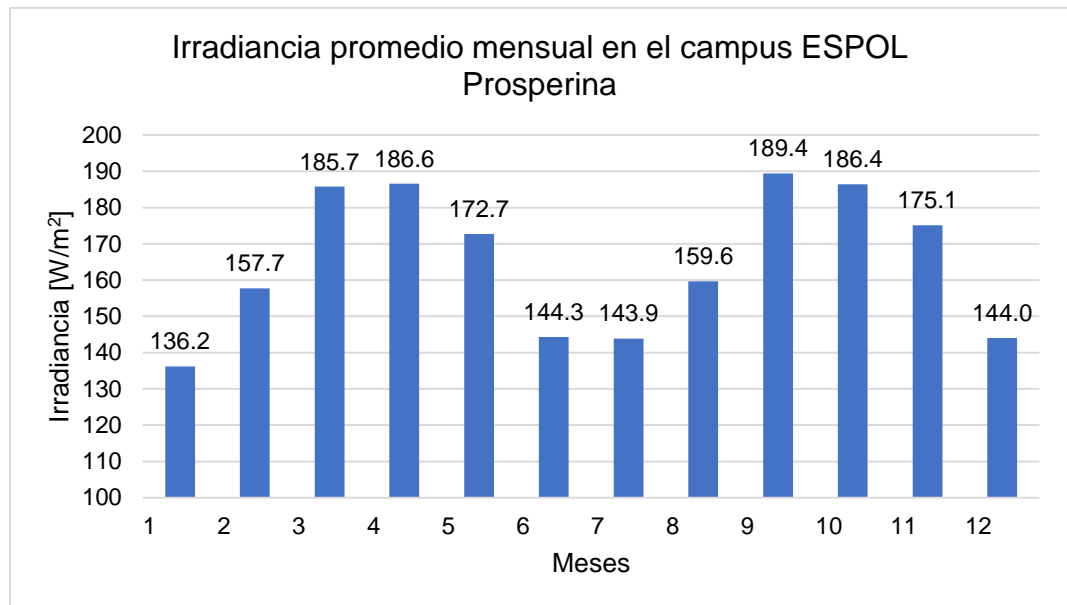
**Tabla 2.7 Carga diaria**

	Capacidad de batería [kWh]	Tasa de consumo [kWh/km]	Autonomía [Km]	Núm. Vueltas	Tiempo de carga [h]	Unidades	Carga total [kWh/d]
Bus (8m.)	130	0.95	109.47	18	1.37	1	130
Scooter	0.29	-	40.00	-	4	100	28.8
							<b>158.8</b>

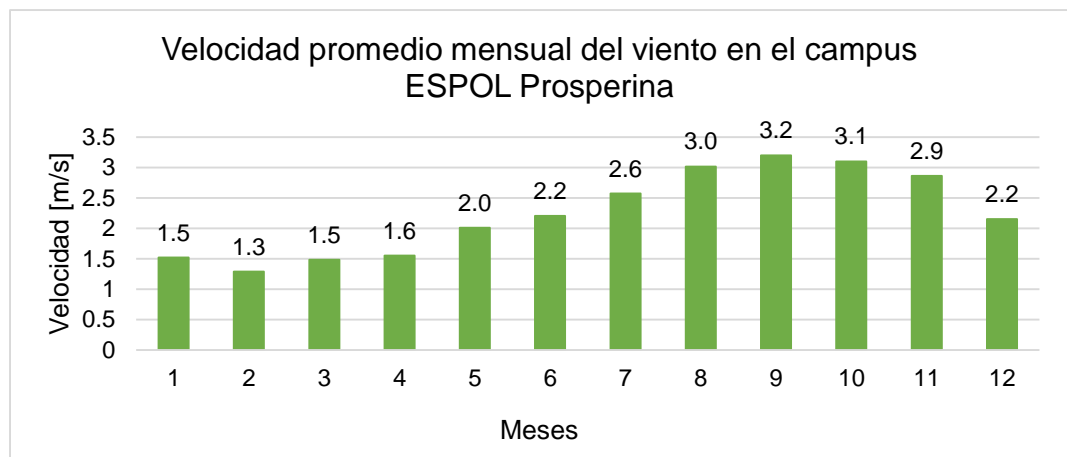
### 2.6 Condiciones climáticas en campus ESPOL-Prosperina.

Para el correcto dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica es importante conocer las condiciones climáticas del lugar donde se ubicará la

instalación, por ello para este proyecto se tomaron datos de una estación meteorológica ubicada en el campus en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) desde 2009 hasta 2012. Los datos, de irradiancia global y velocidad del viento, se presentan en la Figura 2.3 y Figura 2.4.



**Figura 2.3 Irradiancia global promedio mensual del 2009 al 2012**



**Figura 2.4 Velocidad promedio mensual del 2009 al 2012**

### 2.6.1 Tipo de sistema fotovoltaico

Como primer paso para el diseño de la planta fotovoltaica se determinó el tipo de conexión en base a los siguientes criterios: costo de operación, tiempo de vida útil del sistema, disponibilidad de energía eléctrica a lo largo

del día, autonomía del sistema y aprovechamiento de la energía eléctrica sobrante. En la Tabla 2.8 se muestra la matriz de decisión.

**Tabla 2.8 Matriz de decisión del tipo de sistema**

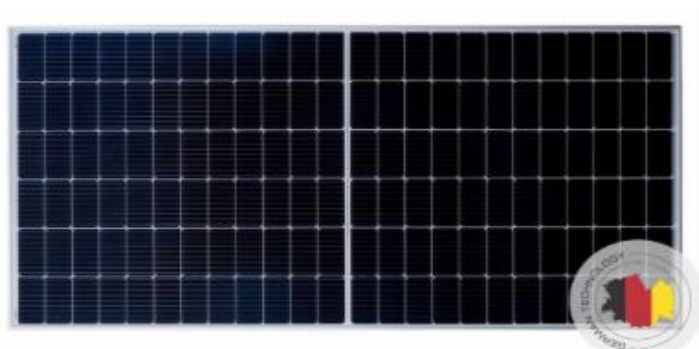
Criterios	Peso	Alternativas			
		Conectado a la red		Autónomo	
		Calificación	Total	Calificación	Total
Costo de operación	3	4	12	2	6
Tiempo de vida	3	5	15	2	6
Disponibilidad de energía	5	5	25	3	15
Autonomía del sistema	4	1	4	5	20
Aprovechamiento de la energía sobrante	4	5	16	1	4
	<b>Total</b>		76		51

## 2.7 Diseño de la instalación fotovoltaica

Para el diseño se consideró la carga determinada en el apartado 0 y en base al tipo de sistema con mayor puntaje de la Tabla 2.8

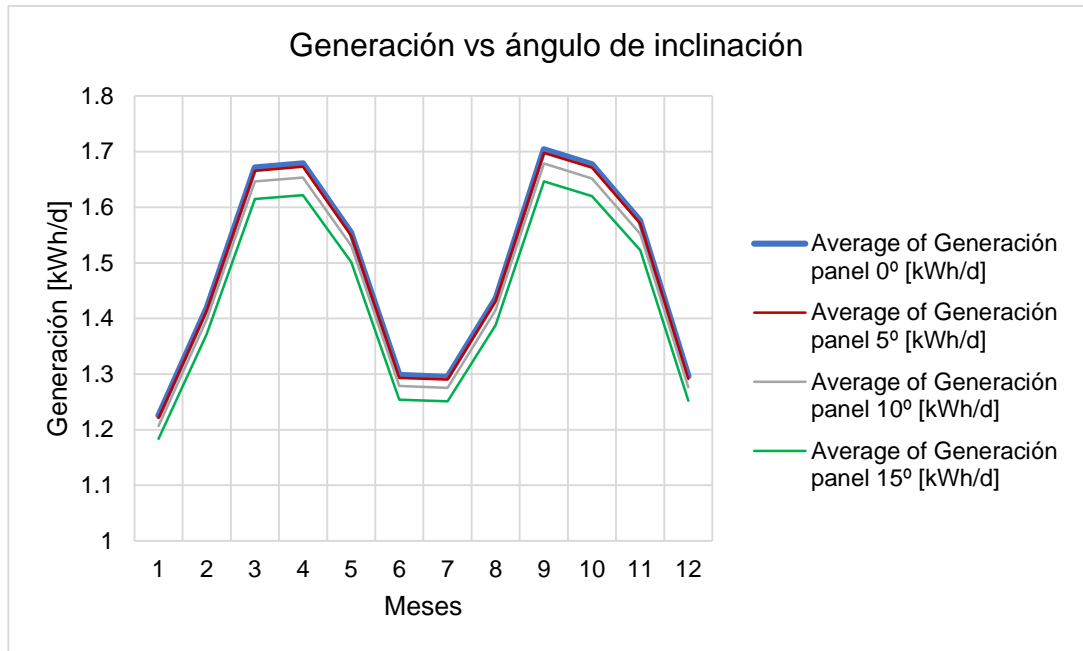
### 2.7.1 Selección de panel solar e inclinación óptima

Para la selección de paneles se consideró la disponibilidad en el mercado local, tomando en cuenta la potencia máxima, eficiencia y costo. A partir de esto, se seleccionó el panel monocristalino de marca AE Solar de 450 W cuya ficha técnica se encuentra disponible en el Apéndice 3. Por otro lado, se escogió 10° de inclinación, pues como se observa en la Figura 2.6 no se encuentra muy alejado del valor ideal (horizontal) y a su vez permite que no se acumule fácilmente polvo o gotas de agua debido a la lluvia.



**Figura 2.5 Modulo solar AE\_HM6L-72-450W**

Fuente: <https://ae-solar.com/products/ae-hm6l-72-430w-450w-e/>



**Figura 2.6 Selección del ángulo de inclinación**

### 2.7.2 Pre-dimensionamiento del sistema

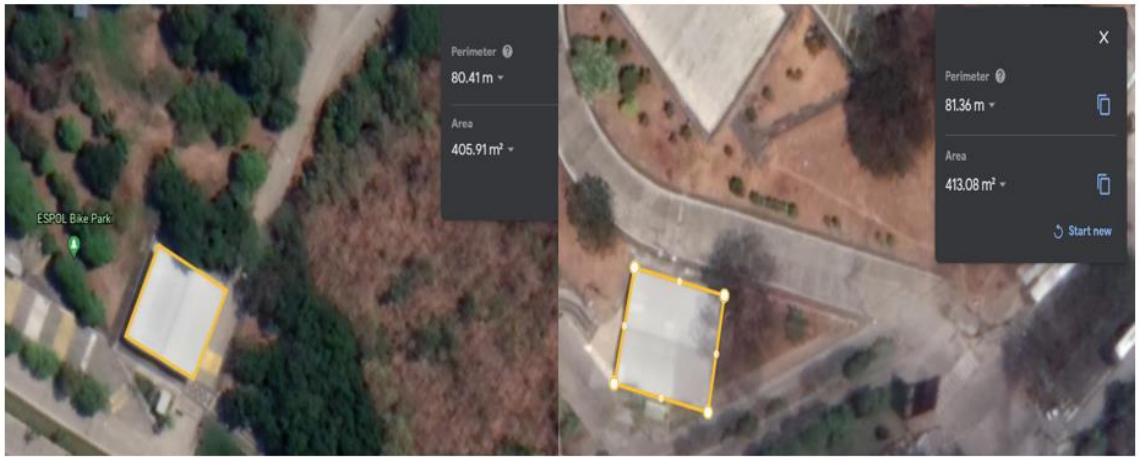
Se realizó un pre-dimensionamiento usando las características del panel y ángulo de inclinación seleccionado a fin de obtener aproximadamente el área necesaria para cubrir la demanda. El cálculo detallado se encuentra en el Apéndice A. En la Tabla 2.9 se muestra el resultado obtenido.

**Tabla 2.9 Pre-Dimensionamiento del campo de captación**

<b>Irradiación solar mínima [kWh/m<sup>2</sup>d]</b>	3.27
<b>Ángulo de inclinación [grad]</b>	10°
<b>Área panel [m<sup>2</sup>]</b>	2.17
<b>Potencia del panel [Wp]</b>	450
<b>Rendimiento</b>	0.21
<b>Área total estimada (S) [m<sup>2</sup>]</b>	265.38

### 2.7.3 Lugar de instalación del sistema de generación fotovoltaica

En base al área estimada en el pre-dimensionamiento se buscaron lugares dentro del campus ESPOL, que cumplieran con esta característica. En la Figura 2.7, Figura 2.8 y Figura 2.9 se observan los posibles lugares en donde se podría instalar el sistema.



**Figura 2.7 Área ideal central rectorado o tecnologías (406 m<sup>2</sup>)**



**Figura 2.8 Área ideal subestaciones (31m<sup>2</sup>)**



**Figura 2.9 Área ideal central coliseo (2.900m<sup>2</sup>)**

Con estas opciones se procedió a decidir a través de una matriz, expuesta en la Tabla 2.10, considerando los siguientes criterios: Área disponible para la instalación de los paneles, sombras presentes en los alrededores, costo de los equipos e instalación, facilidad de mantenimiento y vigilancia cercana para los equipos.

**Tabla 2.10 Matriz de decisión del lugar de Instalación**

Criterios	Peso	Alternativas							
		Central rectorado		Central tecnologías		Central coliseo		Subestaciones	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Área total disponible	4	3	12	3	12	5	20	4	16
Sombras presentes	5	4	20	2	10	5	25	2	10
Costo instalación	3	5	15	5	15	2	6	1	3
Mantenimiento	3	4	12	4	12	1	3	3	9
Seguridad para los equipos	2	3	6	5	10	4	8	3	6
<b>Total</b>		65		59		62		44	

#### 2.7.4 Dimensionamiento campo de captación

En base a las matrices presentadas se seleccionó un sistema fotovoltaico conectado a la red, ubicado en la central de bicicletas del rectorado, el cual permitirá la carga de un bus de 130 kWh y de 100 scooters de 0,29 kWh cada uno.

Para conocer el área real utilizada se usó el programa HelioScope, el cual ayudó a determinar la mejor ubicación de los paneles, su conexión y a seleccionar el número de inversores adecuado. Con esto se obtuvo el número de paneles y la potencia nominal del sistema. Los resultados obtenidos mediante el programa están en la Tabla 2.11 y Figura 2.10.

**Tabla 2.11 Dimensionamiento en base a la ubicación e inclinación ideal**

Área total real [m <sup>2</sup> ]	237
Número de paneles	108
Potencia nominal Instalada (kW)	48.6





**Figura 2.10 Ubicación ideal de los paneles solares**

### **2.7.5 Selección de Inversor**

El inversor se seleccionó en base a la potencia instalada, en el caso de este proyecto se deberá usar un inversor de 48 kW, sin embargo, como los inversores de mayor potencia requieren de un transformador por el voltaje nominal, se seleccionaron 3 inversores de 15 kW.

### **2.8 Validación del diseño con PVsyst.**

La herramienta de simulación PVsyst permitió diseñar el sistema fotovoltaico con mayor detalle en base a las condiciones climáticas y el entorno. Se usó la versión 7.2 en la etapa de prueba. En la Figura 2.11 se presenta una captura de pantalla del menú principal del software en donde se muestran los parámetros principales que permiten ejecutar la simulación. De esta forma, se ingresaron las variables de diseño y equipos seleccionados previamente. Adicionalmente, se consideraron las pérdidas más significativas que se detallan en el siguiente apartado.

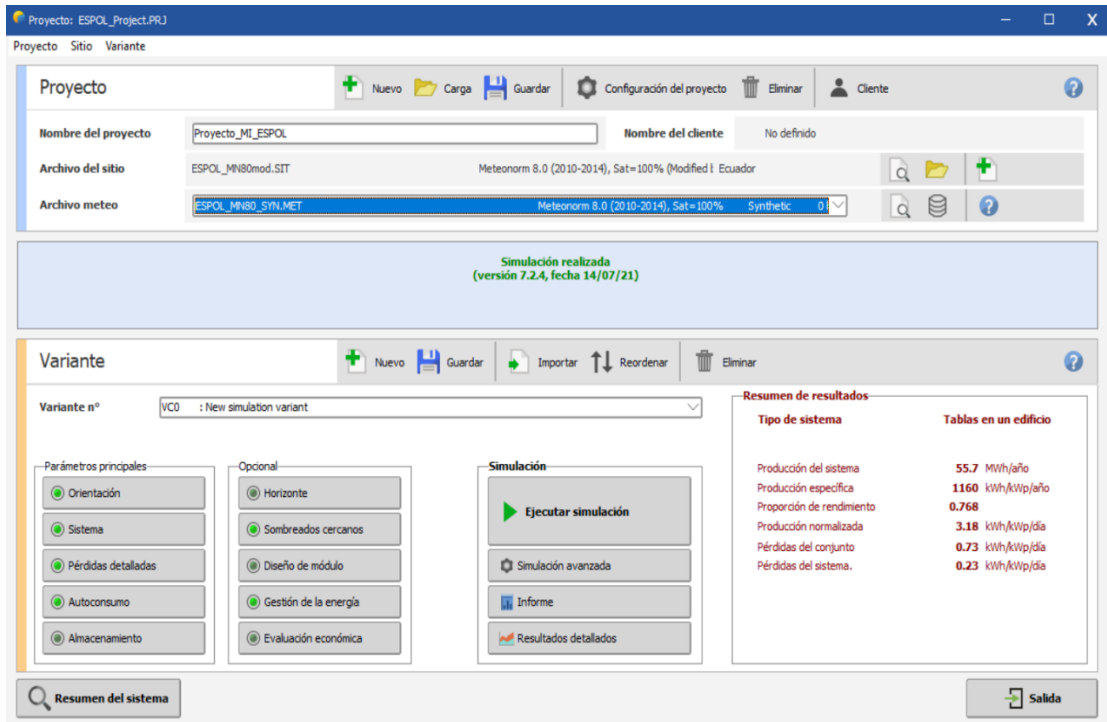


Figura 2.11 Menú Principal PVsyst

## 2.8.1 Pérdidas detalladas

### Pérdida por factores térmicos

Es necesario considerarla debido a que los paneles no trabajan a la temperatura nominal de 25° C en la que fueron probados. Para calcularla se usa el siguiente modelo:

$$U = U_o + \lambda_w * V \quad (2.1)$$

Donde:

$U$ : Factor de pérdida térmica

$U_o$ : Factor constante de pérdida  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$\lambda_w$ : Factor de pérdida por viento  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \frac{m}{s} \right]$

$V$ : Velocidad de viento  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

Dichos factores dependen de las características específicas de la instalación, de las condiciones ambientales externas y de la temperatura de las celdas. Para el diseño se usaron los factores descritos en la Tabla 2.12 (Kaldellis, Kapsali, & Kavadias, 2014).

**Tabla 2.12 Factores por pérdidas térmicas**

<b>Factor de pérdida constante</b> $U_o \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$	20
<b>Factor de pérdidas por viento</b> $\lambda_w \left[ \frac{W}{m^2K} \frac{m}{s} \right]$	6

### **Pérdida por factores eléctricos**

Ocurre debido a la resistencia interna del cableado, lo cual genera pérdidas de potencia en los módulos y los terminales de los subarreglos.

### **Pérdida por equipos**

Depende del modelo seleccionado tomando en cuenta su eficiencia. Los valores los considera el software tomando como referencia su base de datos y el arreglo seleccionado.

### **Pérdida por sombras**

Se produce cuando los módulos fotovoltaicos están a la sombra de edificios, árboles u otros objetos cercanos, para encontrarla se hace un bosquejo de la estructura en donde se instalarán los paneles junto con las sombras cercanas y en base a esto se analiza durante todo el año las pérdidas generadas a lo largo del día.

### **Pérdida por suciedad**

Depende de las condiciones y el entorno al que se encuentra expuesto el sistema. En este factor se considera el polvo acumulado, los desechos de animales y la lluvia.

## 2.8.2 Diseño del entorno y ubicación de paneles

En base a la ubicación de la instalación se ingresan los objetos que están próximos al lugar como se muestra en la Figura 2.12, en el caso de este proyecto lo puede generar sombras a la instalación son los árboles del sector.

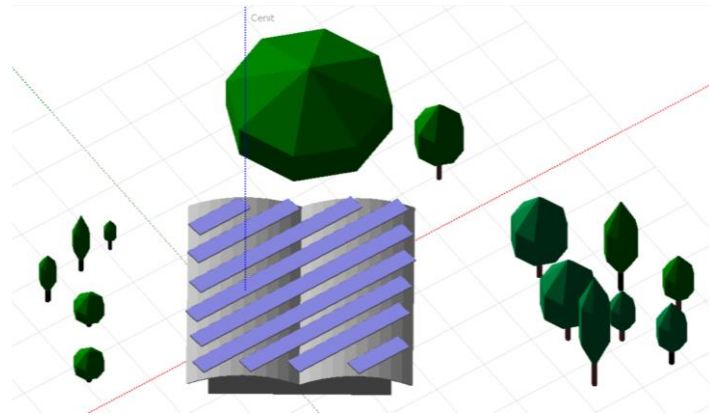


Figura 2.12 Diseño del entorno y ubicación de paneles

## 2.8.3 Resultados obtenidos

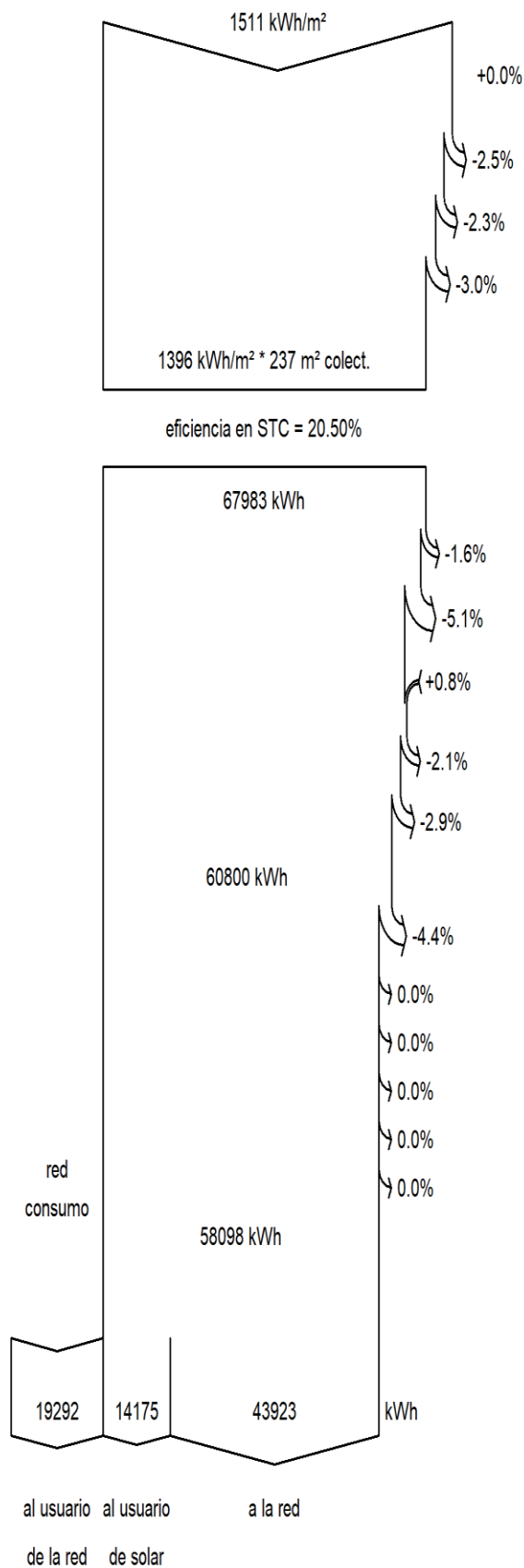
Luego de ingresar todas las variables de diseño se obtuvo los resultados presentados en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Resumen de resultados

Área total módulos [m <sup>2</sup> ]	237
Número de paneles	108
Potencia nominal instalada [kWp]	48.6
Producción del sistema [MWh/año]	58.1
Producción normalizada [kWh/kWp/día]	3.28
Pérdidas del arreglo [kWh/kWp/día]	0.71
Pérdidas del sistema [kWh/kWp/día]	0.15
Índice de rendimiento	0.79

### Diagrama de pérdidas

La herramienta de simulación entregó como resultado el diagrama de Sankey presentado en la Figura 2.13 donde se observa gráficamente el flujo de energía del sistema desde la captación solar hasta la cantidad entregada a la red eléctrica, detallando además los porcentajes de cada tipo de pérdida.



**Irradiación horizontal global**

**Global incidente plano receptor**

Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia

Factor IAM en global

Factor de pérdida de suciedad

**Irradiancia efectiva en colectores**

Conversión FV

**Conjunto de energía nominal (con efic. STC)**

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura.

Pérdida calidad de módulo

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas

Pérdida óhmica del cableado

**Energía virtual del conjunto en MPP**

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

**Energía disponible en la salida del inversor**

**Energía inyectada en la red**

**Figura 2.13 Diagrama de Sankey de la instalación**

### 2.8.4 Esquema Simplificado del diseño

Dado el tipo de sistema fotovoltaico, se presenta en la Figura 2.14 un esquema simplificado de las conexiones entre los principales componentes del sistema hasta llegar a la red eléctrica.

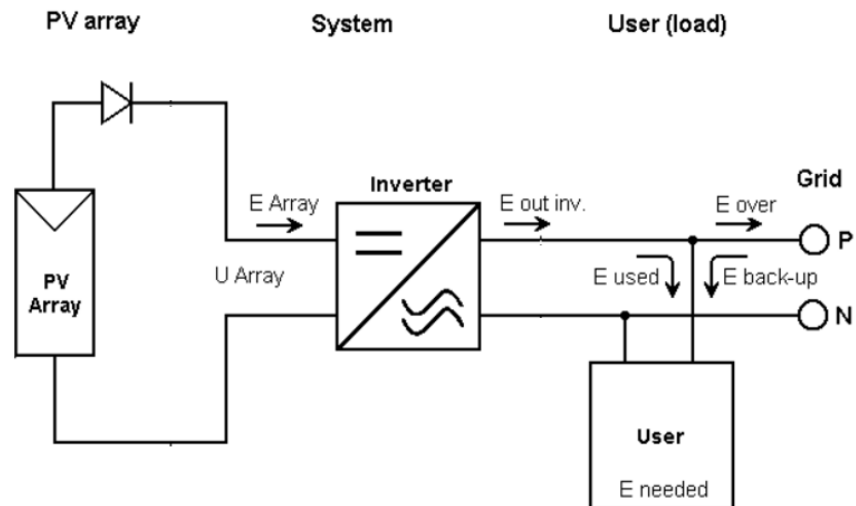


Figura 2.14 Esquema simplificado

# CAPÍTULO 3

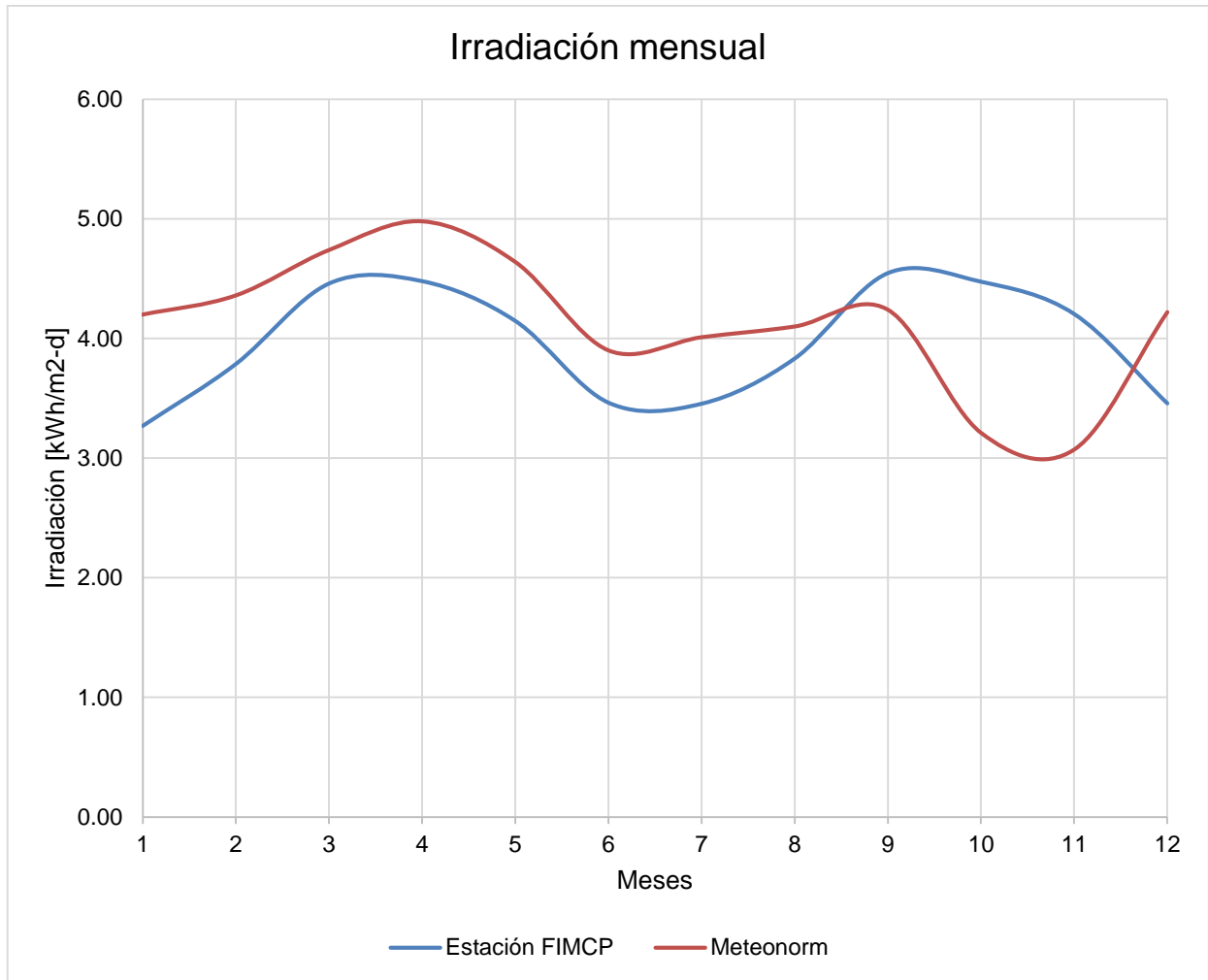
## 3. Resultados y análisis

Para verificar lo obtenido en el apartado 2 se realizó una comparativa entre los datos obtenidos de manera teórica a través de la información meteorológica de la estación de FIMCP y lo obtenidos mediante simulación con la base de datos de Meteonorm. Luego para determinar la factibilidad del proyecto se hizo un análisis energético, estructural y de costos y en base a esto se resolvió la viabilidad. Finalmente, para verificar el impacto ambiental del proyecto se hizo un análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Resultados del diseño final

#### 3.1.1 Comparación de resultados

Para realizar el predimensionamiento de manera analítica se tomaron como datos meteorológicos los de la estación de FIMCP, mientras que para la simulación en PVSyst, el software tomó como referencia la base de datos de Meteonorm. De esta forma, se buscó analizar el sesgo y error cuadrático medio que existe entre ambas series de datos a fin de corroborar la precisión de los resultados obtenidos por simulación. En la Figura 3.1 se muestra el comportamiento de los datos mensuales según su fuente, y se encontró que en la temporada de verano (diciembre – mayo) hay un sesgo de 0.59 kWh/m<sup>2</sup>-d y en la de invierno (junio – noviembre) de – 0.24 kWh/m<sup>2</sup>-d, asimismo el RMSE fue de 0.7 kWh/m<sup>2</sup>-d. Por lo cual, es posible decir que en verano la producción real será menor a la obtenida por el software y en invierno será mayor, consecuentemente, al ser la época de clases en su mayoría en temporada de invierno, y al lograr abastecer dicha carga mensual en la simulación, es válido afirmar que el diseño planteado cumple con los requerimientos energéticos.

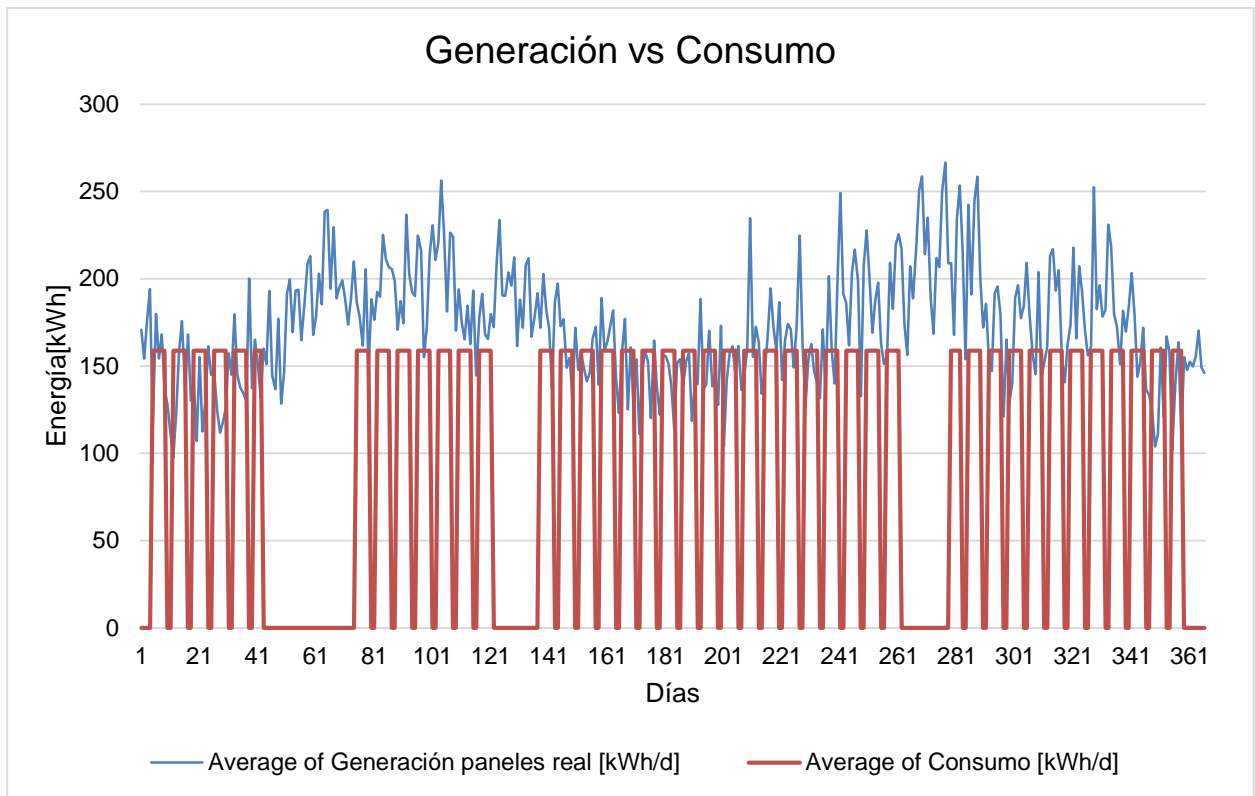


**Figura 3.1 Irradiación mensual promedio**

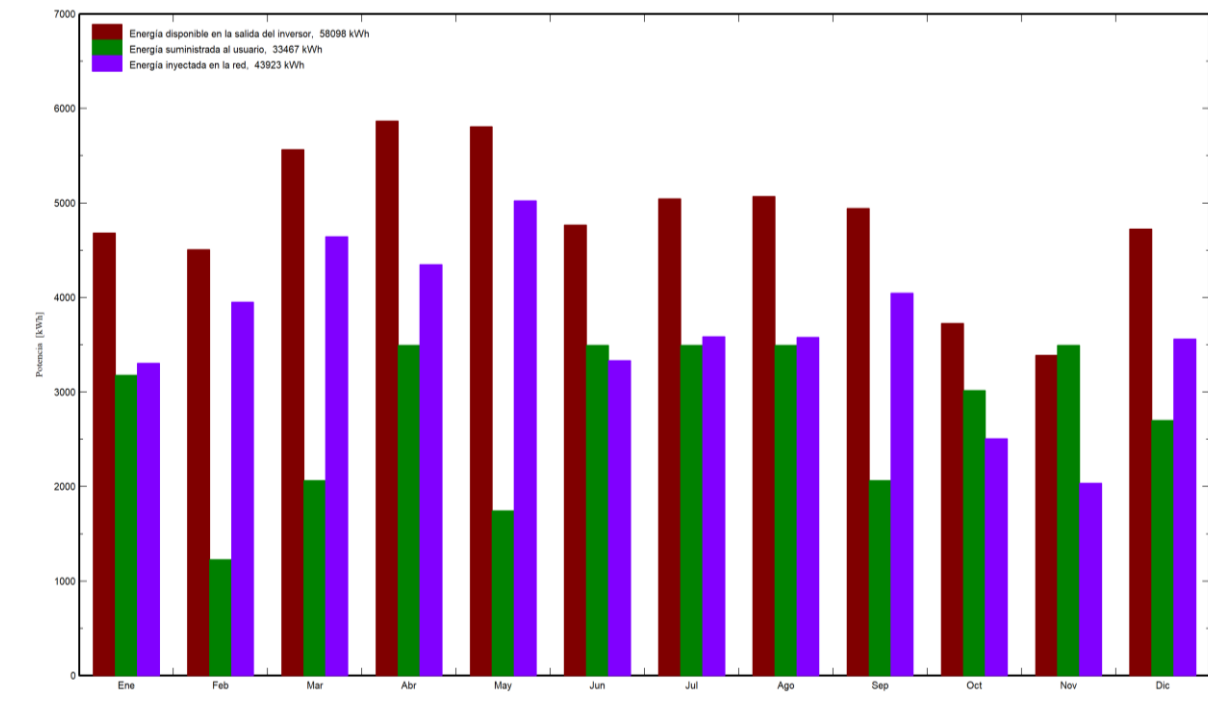
### 3.1.2 Análisis de factibilidad energética

A fin de comprobar la ventaja energética del proyecto, se realizó un gráfico diario en donde se observa la generación de los paneles versus el consumo de los transportes. Como se puede observar en la Figura 3.2, hay días en que la generación es menor que el consumo, no obstante, al analizar de manera mensual, como en la Figura 3.3, el balance energético es positivo, es decir hay una inyección de energía sustancial a la red del campus. Es importante destacar que el valor de inyección a la red que se observa en la Figura 3.3 no es el beneficio real que percibiría el campus, pues si se observa la Figura 3.4 para satisfacer el consumo del cliente se utiliza energía proveniente de la red en los días que la generación no es suficiente, de esta forma el beneficio final sería la resta entre inyección y uso energético de la red.



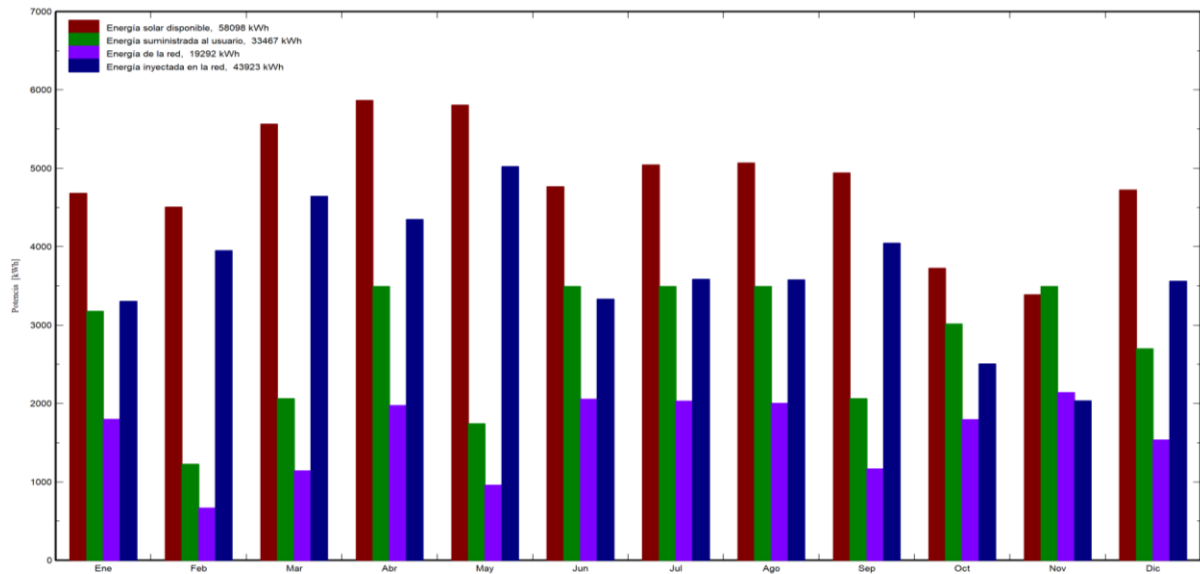


**Figura 3.2 Generación vs consumo diario**



**Figura 3.3 Resultados energéticos mensuales**

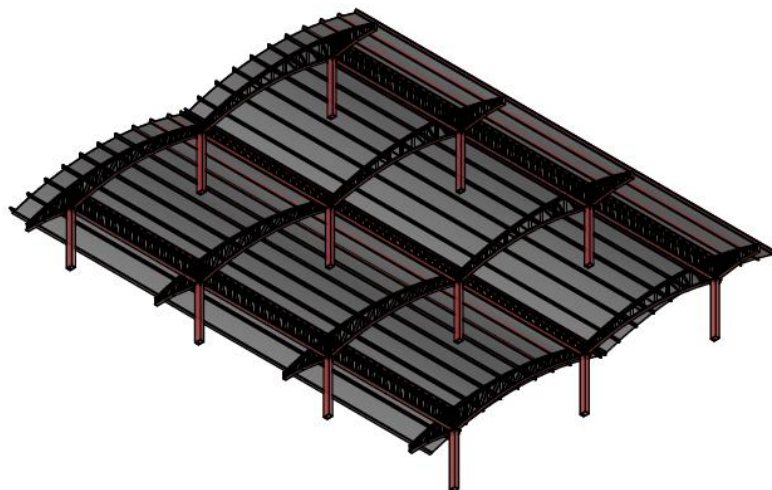
***Nota:** La barra roja: energía disponible a la salida del inversor, la verde: suministrada al usuario y la morada: inyectada a la red.*



**Figura 3.4 Desglose de energía inyectada a la red del campus**  
**Nota:** La barra roja: energía solar disponible, la verde: suministrada al usuario, la morada: proveniente de la red y la azul la inyectada a la red.

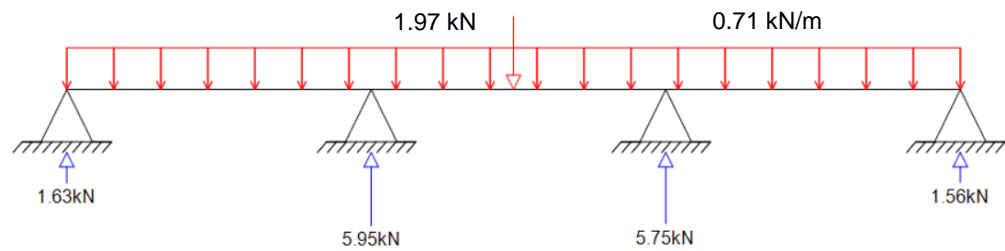
### 3.2 Análisis estructural

Para determinar si la estructura actual podría soportar los pesos adicionales debido al sistema de captación, se analizaron los canales y columnas más críticos a fin de comprobar su comportamiento. En la Figura 3.5 se presenta una vista isométrica donde se aprecia la forma cóncava del techo. Si se ubicaran los paneles directamente, esta geometría transmitiría el peso en los canales ubicados en el vértice, razón por la cual se distribuyó la carga total en los dos canales y se analizó su esfuerzo flector y cortante para verificar si falla.

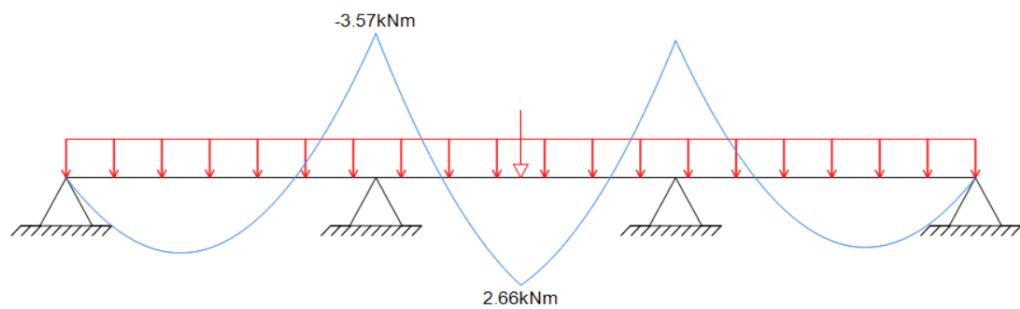


**Figura 3.5 Vista isométrica de la estructura**

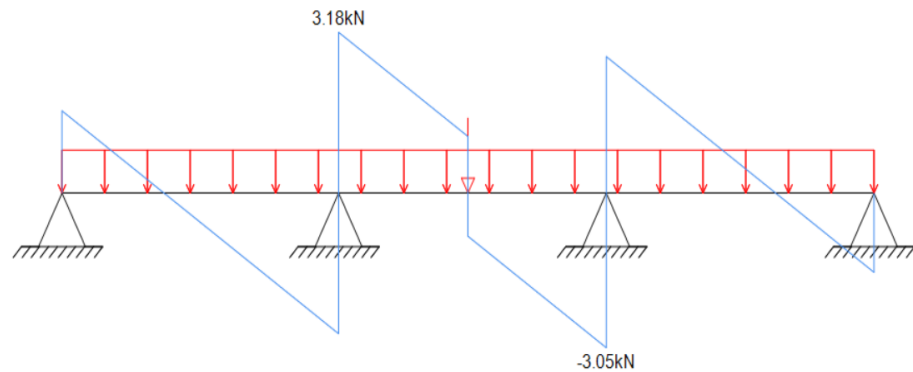
En la Figura 3.6 se observa el modelo simplificado del canal en análisis junto con las fuerzas que soporta, de esta forma, como se evidencia en la Figura 3.7 el momento máximo es de compresión, dando un esfuerzo de 375 MPa y un cortante de 7.5 MPa. El canal al ser de acero ASTM A36, tiene un punto de fluencia de 250 MPa el cual es menor al valor al que se encuentra sometido el canal, por lo tanto, se puede decir que este fallará.



**Figura 3.6 Modelo simplificado del canal crítico**

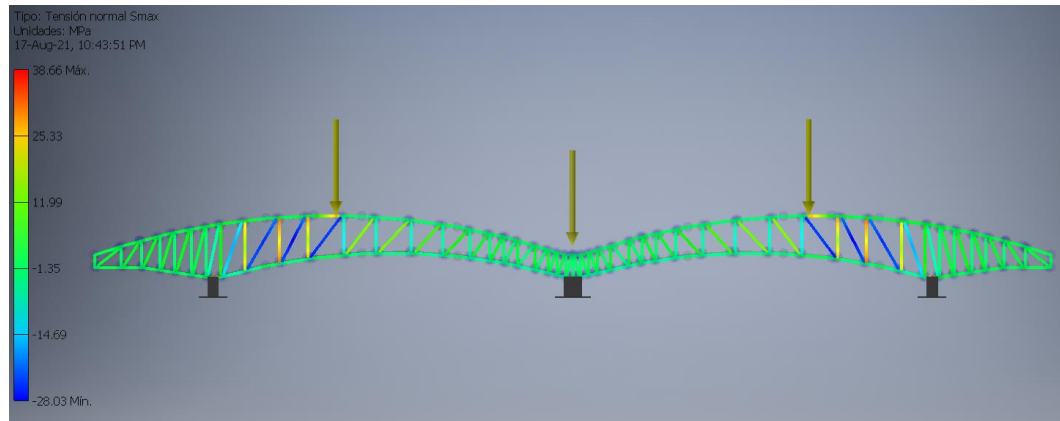


**Figura 3.7 Diagrama de momento flector del canal crítico**

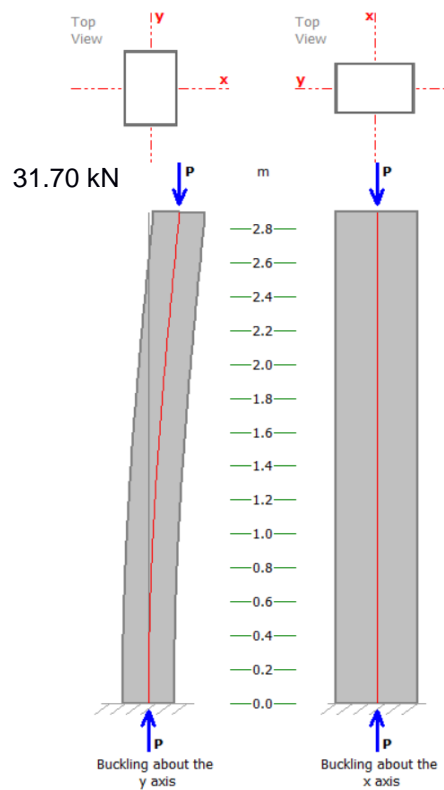


**Figura 3.8 Diagrama de fuerza cortante del canal crítico**

Asimismo, se verificó el comportamiento de los arcos y las columnas, sin embargo, al ser el arco una estructura más compleja no se la simplificó y se la analizó mediante elementos finitos.



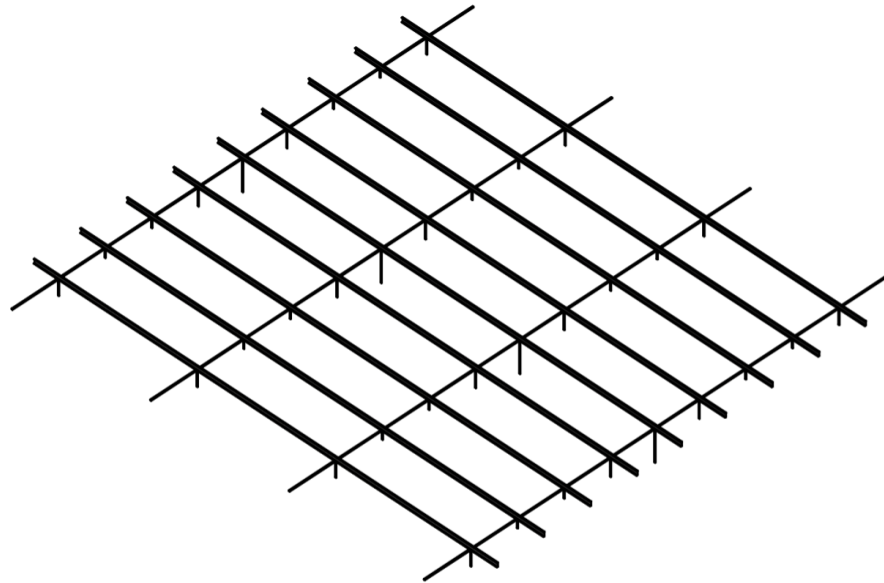
**Figura 3.9 Esfuerzos de von Mises del arco**



**Figura 3.10 Pandeo de la columna**

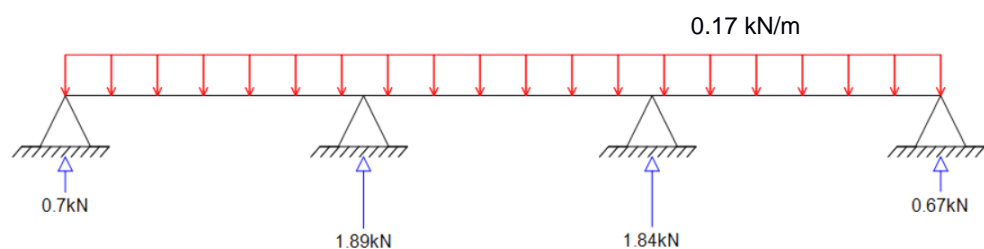
Como se observa en la Figura 3.9 y Figura 3.10, estos elementos no fallan con las cargas añadidas, por lo cual se debe proponer una alternativa que permita distribuir la carga en todos los canales y que además permita la fácil

instalación de los paneles. De esta forma se propone una cubierta compuesta por tubos rectangulares y canales tipo C. En la Figura 3.11 se muestra un isométrico de la estructura.

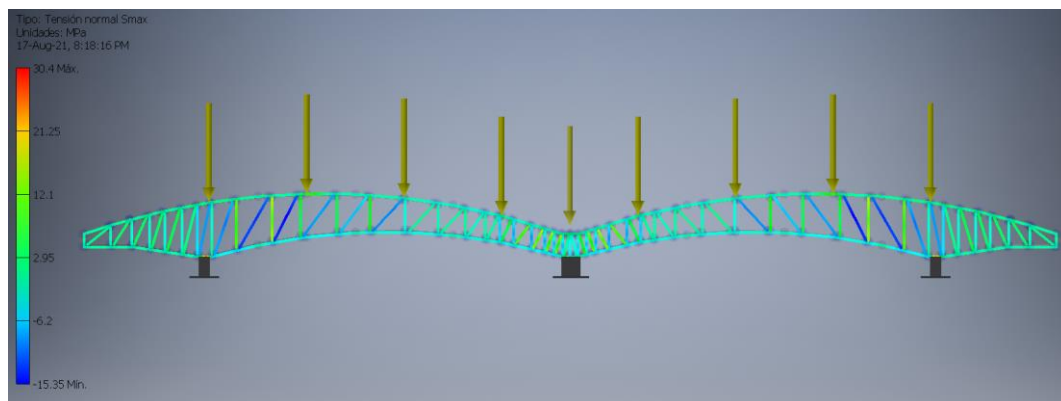


**Figura 3.11 Estructura para soporte de paneles**

Para comprobar el comportamiento de la estructura con los pesos añadidos, se analizaron los elementos más críticos. En la Figura 3.12 se analizó un canal de donde se obtuvieron las nuevas cargas puntuales que deberá soportar el arco, y en la Figura 3.13 se observan los esfuerzos de von Mises que experimenta el arco.



**Figura 3.12 Análisis de carga en los canales de la nueva estructura**



**Figura 3.13 Esfuerzos de VonMises en el arco a causa de la nueva estructura**

### 3.3 Análisis de costos

Para determinar la inversión necesaria para el proyecto se realizaron cotizaciones en el mercado local y se seleccionaron los equipos más convenientes. Se detallan a continuación:

**Tabla 3.1 Costo del sistema de captación**

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio Total
108	Módulos solares AE SOLAR Monocrystalino 450W	\$225.00	\$24,300.00
3	Inversor Fronius Symo15.0-3 208	\$4,292.61	\$12,877.83
108	Soporte paneles	\$50.00	\$5,400.00
5	Componentes eléctricos	\$150.00	\$750.00
5	Material menor	\$200.00	\$1,000.00
1	Instalación	\$4,000.00	\$4,000.00
<b>Subtotal sin impuestos</b>			\$48,327.83
<b>Subtotal IVA 0%</b>			\$24,300.00
<b>Subtotal IVA 12%</b>			\$24,027.83
<b>Descuento 10%</b>			\$4,832.78
<b>IVA 12%</b>			\$2,883.34
<b>Total</b>			\$46,378.39

**Tabla 3.2 Costos de la estructura**

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio Total
17	Tubo rectangular 25x50x2	\$27.58	\$468.86
30	Canal C 150x60x5	\$91.82	\$2,754.60
1	Instalación	\$300.00	\$300.00
<b>Subtotal sin impuestos</b>			\$3,523.46
<b>IVA 12%</b>			\$422.82
<b>Total</b>			\$3,946.28

Finalmente, se procede a realizar un resumen de todos los costos y agregar el componente de diseño y dimensionamiento.

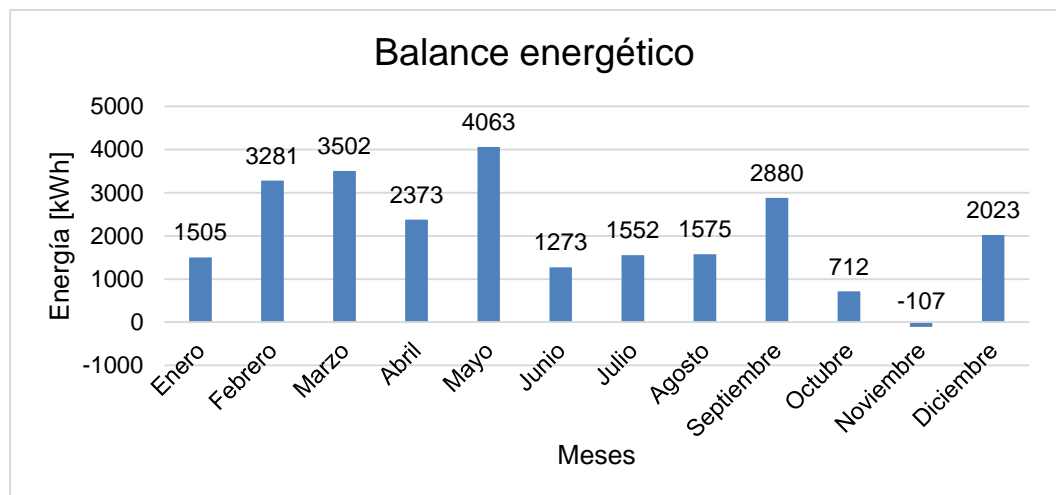
**Tabla 3.3 Costo total del proyecto**

Descripción	Valor
Sistema de captación	\$46,378.39
Estructura	\$3,946.28
Diseño e ingeniería	\$9,600.00
<b>Total</b>	<b>\$59,924.66</b>

### 3.4 Viabilidad del proyecto

#### 3.4.1 Viabilidad energética

En el apartado 3.1.2 se determinó que mensualmente existiría un excedente de energía eléctrica el cual sería inyectado a la red del campus, de esta forma, se puede decir que es energéticamente viable, pues además de abastecer las cargas de los equipos, ayudará a disminuir el consumo actual de energía eléctrica. En la Figura 3.14 se muestra la cantidad de energía estimada que se inyectaría a la red cada mes.



**Figura 3.14 Balance energético de carga mensual**

#### 3.4.2 Viabilidad económica

Según se determinó en la sección de costos, la inversión del proyecto es de \$59,979, si se considera que el costo de la energía eléctrica para el campus es de \$0.065/kWh se podría estimar que el ahorro anual debido a la inyección de energía es de \$1,601. Por otro lado, el consumo anual de

un bus a combustible diésel es de aproximadamente 891 galones, y el costo actual en Ecuador es de \$1.56/gal, dando un valor de \$1,391. De esta forma, el proyecto generaría un ahorro de \$2,992 al año y se amortizaría en 20 años. Adicionalmente, el fabricante garantiza un desempeño de hasta el 80% por 30 años por lo cual el ahorro en su tiempo mínimo de vida útil sería de \$29,832. Así pues, es correcto decir que este proyecto es económicamente factible.

### 3.5 Análisis de reducción de huella de carbono

Para determinar el impacto del proyecto en la huella de carbono del campus es necesario conocer los datos pasados de generación de CO<sub>2</sub> los cuales fueron otorgados por el departamento de sostenibilidad de ESPOL y se presentan en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Datos de Huella de Carbono en ESPOL**

Año	Huella de carbono total [TonsCO <sub>2eq</sub> ]	Huella de carbono electricidad [TonsCO <sub>2eq</sub> ]	Huella de carbono combustibles vehículos [TonsCO <sub>2eq</sub> ]	Población ESPOL
2017	5009.23	3306.04	879.61	14064
2018	5028.58	3193.13	780.9	13938
2019	5340.31	3246.42	830.85	13170

Dentro del análisis se consideraron dos aspectos, con el primero se cuantificó la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que resulta del excedente de producción de energía solar, y con el segundo se compararon las emisiones de los buses convencionales y eléctricos, considerando el recorrido interno del campus.

Como se determinó en el apartado 3.4.1, la energía inyectada a la red del campus es de 24572 kWh/año y según la Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero (CTFE), el factor de emisión de generación eléctrica en Ecuador en el 2019 fue de 0,24 KgCO<sub>2eq</sub>/kWh, lo que daría una emisión de 5897.28 KgCO<sub>2eq</sub>. Asimismo, para determinar las emisiones generadas por el sistema fotovoltaico se utilizó un factor de 0,0021 KgCO<sub>2eq</sub>/kWh dando emisiones de 516.01 KgCO<sub>2eq</sub>. En la



Tabla 3.5 se presentan las emisiones correspondientes a cada caso y se determina la reducción.

**Tabla 3.5 Reducción de emisiones por electricidad**

Fuente	Energía [kWh/año]	Factor de emisión de generación eléctrica [Kg CO <sub>2eq</sub> /kWh]	Carbono Equivalente [KgCO <sub>2eq</sub> ]
Conectada a la red	24572	0.24	5897.28
Generación FV		0.021	516.01
Reducción de Emisiones			5381.27

Luego, para determinar las emisiones por el uso de combustible al cambiarse a un bus eléctrico, se calculó tomando en cuenta el recorrido interno del campus presentado en la Figura 2.2, que da 18 vueltas al día. El recorrido se presenta en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Recorrido anual de un bus interno.**

Recorrido [m]	# Vueltas	Días al año	Recorrido Anual [m]	Recorrido Anual [mi]
3400	18	211	12913200	8023.90

Este recorrido se usó para determinar el consumo de combustible diésel, teniendo en cuenta un rendimiento de 9 millas por galón de un bus convencional (NSCEP, 2008) y un factor de emisión por combustible diésel de 2,69 KgCO<sub>2eq</sub>/L. Alternativamente, el impacto real del uso de scooters en la huella de carbono no pudo ser cuantificado ya que su utilización dependerá de cada usuario, no obstante, en el Apéndice A se muestra un cálculo estimado. El resultado se muestra en la Tabla 3.7 y Tabla 3.8.

**Tabla 3.7 Emisiones de un bus a diésel**

Recorrido anual [mi]	Consumo de combustible [mi/gal]	Consumo anual [gal/año]	Consumo anual [L/año]	Factor Emisiones Diesel [KgCO <sub>2eq</sub> /L]	Carbono Equivalente [KgCO <sub>2eq</sub> ]
8023.90	9	891.60	3374.90	2.69	9078.40

**Tabla 3.8 Reducción de emisiones por combustible**

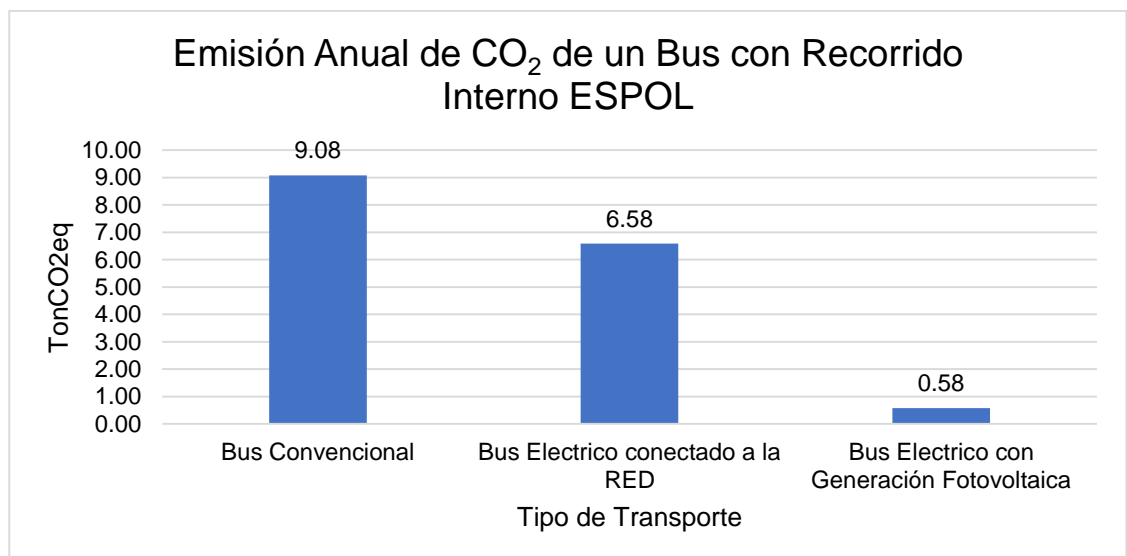
Tipo de bus	Carbono Equivalente [KgCO <sub>2eq</sub> ]
Combustible diésel	9078.40
Eléctrico con carga FV	576.03
Reducción de emisiones	8502.37

Finalmente, en Tabla 3.9 se muestra la reducción total de la huella de carbono en el campus con relación al año 2019 como consecuencia de la implementación del proyecto.

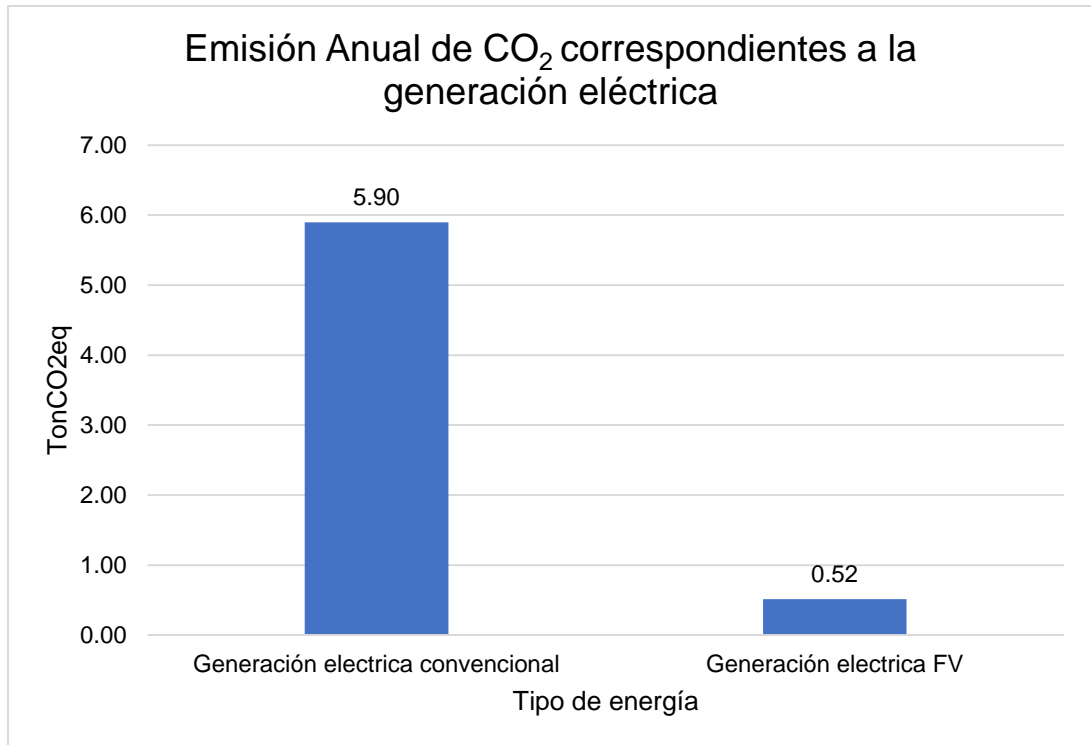
**Tabla 3.9 Reducción total de emisiones en el campus**

Fuente	Emisiones [tonCO <sub>2eq</sub> ]	Reducción HC [%]
Electricidad	5.38	0.26
Combustible diésel	8.50	
<b>Total</b>	13.88	

Tomando en cuenta lo anterior, se puede realizar una comparativa entre la emisión de los buses convencionales con combustible diésel, eléctricos conectados a la red, y eléctricos con generación fotovoltaica y, adicionalmente, de las emisiones correspondientes a la generación eléctrica. Esta se muestra en las Figura 3.15 y Figura 3.16.



**Figura 3.15 Emisiones de CO<sub>2</sub> según tipo de bus**



**Figura 3.16 Emisiones de CO<sub>2</sub> según tipo de generación eléctrica**

### 3.6 Ilustración del Proyecto

Esta sección contiene ilustraciones representativas de proyecto instalado en las figuras: Figura 3.18, Figura 3.19, Figura 3.20 y Figura 3.21.

Además, una imagen de la infraestructura real analizada en el apartado 3.2 se muestra en la Figura 3.17.



**Figura 3.17 Estación de bicicletas (Campus-ESPOL)**



**Figura 3.18 Ilustración del proyecto**



**Figura 3.19 Ilustración del proyecto**



**Figura 3.20 Ilustración del proyecto**



**Figura 3.21 Ilustración del proyecto**

### **3.7 Análisis final**

Finalmente, es importante el análisis de medidas más amigables con el ambiente dentro de un campus universitario ya que fomentan las prácticas sostenibles y reiteran el compromiso de la institución con los objetivos de desarrollo sostenible. En el caso de este proyecto al diseñar una planta fotovoltaica que permita la transición de transporte convencional a eléctrico con el menor impacto sobre el medio ambiente se buscó un enfoque integral que involucre el análisis de movilidad, energético, estructural y de viabilidad.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La planta fotovoltaica tiene una capacidad nominal de 48.6 kWp y contará con 108 paneles de 450 W y 3 inversores de 15 kW. Esto permitirá abastecer la carga energética de 1 bus y 100 *scooters* eléctricos.
- El consumo eléctrico anual de los vehículos es de 33.506 kWh y la planta generaría 58.095 kWh, es decir habría un excedente de producción de 24.589 kWh que sería inyectado a la red del campus ESPOL.
- La estructura donde se ubicará el sistema de captación puede soportar la carga añadida por el peso de los paneles, sin embargo, debido a la posición a lo que deben estar los módulos fue necesario el rediseño de toda la estructura. Por lo cual, se propuso adicionar un marco estructural que está compuesto por canales en C de 150 x 60 x 5 mm y columnas rectangulares de 25 x 50 2 mm. El factor de seguridad mínimo estimado fue de 3.
- La inversión de todo el proyecto es de \$59.925 y el ahorro anual debido a la inyección energética y disminución del consumo de diésel sería de \$2.291, de esta forma, se amortizaría la deuda en 20 años y la vida útil indica por el fabricante de los paneles es superior a 30 años, por lo que se tendría un ahorro posterior de \$29.833.
- Un bus convencional con combustible diésel emite aproximadamente 9 tonCO<sub>2</sub> al ambiente es decir 1.4 veces más que un bus eléctrico cargado mediante la red eléctrica y 15.6 veces más que uno cargado mediante paneles fotovoltaicos, es decir este proyecto evitaría la emisión de aproximadamente 13.88 tonCO<sub>2</sub>.

### 4.2 Recomendaciones

- Para inyectar el excedente de energía eléctrica a la red del campus es necesario realizar un análisis para determinar las modificaciones y

adaptaciones en el sector donde se ubicaría el sistema fotovoltaico, asimismo, se deberá diseñar las conexiones donde se cargarían los equipos por lo cual es necesario realizar un proyecto paralelo con profesionales del área en donde se consideren las normativas y regulaciones vigentes, tales como la ARCONEL-003/18.

- Para poner en operación el servicio de transporte complementario en el campus, se deberá realizar un aplicativo que permita enlazar el scooter en uso con el estudiante, esto para seguridad del equipo y de que se lo entregue de manera correcta en las estaciones de carga destinadas.
- Es necesario considerar para un estudio de factibilidad los costos de los buses, scooters y de conexión al sistema eléctrico del campus.
- Si se cambian las características de los vehículos analizados en este proyecto, se deberá repetir el estudio pues cambiarán las condiciones de demanda de energía.

# BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (2017). *Handbook: Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE Inc.
- ASHRAE. (2019). *Handbook: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Applications*. Atlanta: ASHRAE Inc.
- ASTM. (2014). *Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance (E490)*. West Conshohocken: ASTM International.
- BYD CHILE. (2020). CÓMO FUNCIONAN NUESTROS NUEVOS BUSES ELÉCTRICOS. Santiago, Chile. Retrieved from <http://www.bydchile.com/images/K9FE.pdf>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- CENIT SOLAR P.E.I.E. (2021). *CENIT SOLAR*. Retrieved from Fotovoltaica conectada a red: [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_red\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_red_esquema.php)
- Criollo, N. P., Ramirez, A. D., Salas, D. A., & Andrade, R. (2019). THE ROLE OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS REGARDING CLIMATE CHANGE: THE CASE OF ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL AND ITS CARBON FOOTPRINT IN ECUADOR. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Salt Lake City: ASME.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Danvers: John Wiley & Sons.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético [IIGE]. (2019). *Balance energético nacional*. Quito: Ministerio de energía y recursos naturales no renovables.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from United Nations: <https://www.ipcc.ch/>
- iTecnotoys. (2018). *iTecnotoys*. Retrieved from PARTES DEL PATINETE ELÉCTRICO: <https://itecnotoys.com/partes-del-patinete-electrico/>
- Kaldellis, J. K., Kapsali, M., & Kavadias, K. A. (2014). Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. *Elsevier: Renewable Energy*, 612-624.



- Kalogirou, S. A. (2013). *Solar energy engineering: processes and systems*. Burlington: Academic Press.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- MRCagney. (2017). *Electric Bus Technology, Transport Research Report*. Transport and Economic Research Institute. Siney: MRCagney.
- Muthu, S. S. (2016). *The carbon footprint handbook*. Boca Ratón: CRC Press.
- Naciones Unidas. (2020, Abril 9). *ODS Territorio Ecuador*. Retrieved from <https://odsterritorioecuador.ec/>
- National Service Center for Environmental Publications [NSCEP]. (2008). *Average Annual Emissions and Fuel Consumption for Gasoline-Fueled Passenger Cars and Light Trucks Emission Facts*. Retrieved from EPA United States Environmental Protection Agency: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100EVXP.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQField>
- Noor, A., Amirul, A., Azzamududdin, B., Luqman, B., Rahamat, M., & Wam, H. (2017). *KOUGAR SCOOTER (E-SCOOTER)*. Mara: Universiti Teknologi Mara.
- Patel, M. R. (2021). *Wind and solar power systems*. Boca Ratón: CRC Press LLC.
- Perpiñán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltáica*. Barcelona, España: Creative Commons.
- The german energy society [DGS]. (2008). *Planning and installing photovoltaic systems : a guide for installers, architects, and engineers*. Sterling: Earthscan.
- Thorpe, F. (2016). *Global Battery Electric Bus Market*. London: BYD.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### Dimensionamiento del sistema de captación

Se realiza el dimensionamiento en base al mes con menor irradiación solar promedio. Tomando un valor de 3.27 kWh/m<sup>2</sup>-d, una inclinación de 10° y un factor de 1.15 por pérdidas,

$$S = 1.15 * \left( \frac{E_d}{G_T * R_{panel}} \right)$$

$$S = 1.15 * \left( \frac{158.8}{3.27 * 0.21} \right) = 265.93 \text{ m}^2$$

Luego dividiendo para el área del panel se encuentra el número de paneles necesarios,

$$N_p = \frac{265.93}{2.17} = 122$$

Finalmente, si se multiplica el número de paneles por la potencia pico, se encuentra la potencia total nominal del sistema fotovoltaico,

$$P = 122 * 450 = 55.03 \text{ kW}$$

### Análisis de las emisiones de los scooters eléctricos

Para estimar las emisiones que generaría el uso de scooters eléctricos se asume que se cargan los 100 cada día, en base al calendario académico, y se obtiene un consumo de

6,077 kWh/año. Según lo analizado en el apartado 3.5 se obtendrían los siguientes resultados,

**Tabla A.1 Emisiones de los scooters eléctricos**

<b>Fuente</b>	<b>Energía [kWh/año]</b>	<b>Factor de emisión de generación eléctrica [Kg KgCO<sub>2eq.</sub> /kWh]</b>	<b>Carbono Equivalente [KgCO<sub>2eq.</sub>]</b>
Conectada a la red	6077	0.24	1458.48
Generación FV		0.021	127.62
Reducción de Emisiones			1330.86

De esta forma, al cargar los scooters mediante generación fotovoltaica se estaría evitando la emisión de 1.33 tonCO<sub>2</sub> al ambiente.









# APÉNDICE B

## Cotización 1 del sistema fotovoltaico


Datos del cliente:

Nombre/Razon Social:	ESPOL
Responsable / Attn.:	Daniel Villacis
Dirección:	Guayaquil

Proforma por:

Equipos Medición:		Equipos Generación:	X	Servicios internos:	Servicios externos:	
#	En Stock	Descripción Item:	Valor (USD)			
			Unidad	Total		
4	Pcs	0	<p><b>Inversor de inyección de alta calidad SMA SB7.7-US</b></p> <p>El nuevo Sunny Boy 7.7 es el sucesor del inversor fotovoltaico de éxito internacional Sunny Boy 7700TL. El Sunny Boy 7.7 es perfecto para generar energía fotovoltaica en hogares y industria. Puesta en marcha sencilla gracias a la interfaz WLAN y Speedwire integrada, Transparencia máxima gracias a la visualización en Sunny Portal/Sunny Places. El inversor viene con un interruptor de DC seguro, protección de polaridad inversa, cortocircuito en AC y control de falla a tierra Certificación: UL 1741</p>  <p>Entrada Corriente Continua (de los paneles solares) con los siguientes datos: Potencia máx. 12320 Wp Tensión máx. 600VDC Rango de tensión para MPPT: 270 - 480 V Corriente máx. 30 A Número máx. de strings: 3</p> <p>Salida Corriente Alterna (para conexión a la red) con los siguientes datos: Potencia máx. 6660W THD: &lt;4% Tensión nominal: (208 V / 183 a 229 V) Frecuencia: 50/60 Hz Eficiencia: 97,5% THD &lt; 4%</p>		3,300.00	13,200.00
80	Pcs	0	<p><b>Panel Solar AE SOLAR Monocristalino 450W/24VDC</b></p> <p>Los paneles fotovoltaicos de la empresa alemana AE SOLAR no solamente son fabricados usando celdas con una alta eficiencia y bajo un estricto control de calidad sino son comprobados periodicamente por el Fraunhofer Institut, TÜV y SGS. Estos paneles que son listados TIER1 vienen con una garantía de potencia por 30 años.</p> <p>Panel Monocristalino Half Cell 450 Wp Variación de potencia: 0 ... 5% Voltaje Nominal: 24VDC Eficiencia de 20.2 % Configuración: 6 X 24 Células de 166*83 mm Voltaje circuito abierto: 50.0 V Voltaje circuito óptimo: 41.4 V Corriente cortocircuito: 11.54 A Corriente óptimo: 10.87A Temperatura NOCT: 45 +/- 2 Max. Voltaje String: 1500VDC Dimensiones: 2115 X 1052 X 40mm Peso: 24 Kgr Garantía técnica de 2 años</p>       		225.00	18,000.00

}

80	Pcs	0	Estructura de soporte paneles solares Estructuras en ALUMINIO para instalación en techo Material menor de sujeción		50.00	4,000.00
4	Pcs	0	Gabinete eléctrico 60x40x20 cm Gabinete eléctrico, conexionado, protecciones, etc.		150.00	600.00
4	Glb	0	Material menor Material menor de conexionado eléctrico		200.00	800.00
1	Glb	0	Instalación Transporte, instalación, pruebas y puesta en marcha.		4,000.00	4,000.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS:						40,600.00
SUBTOTAL IVA 0%:						18,000.00
SUBTOTAL IVA 12%:						22,600.00
Descuento: -10.0%:						-4,060.00
IVA 12.0%:						2,440.80
VALOR TOTAL (USD):						38,980.80

## Cotización 2 del sistema fotovoltaico

### PRESUPUESTO SISTEMA SOLAR PV

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	Precio Unitario	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Paneles	MD154 JINKO SOLAR Tiger Pro JKM535M-72HL4-V, 0,	100	235.76	235.76	23576	23576
Inversores Red	IR025 Fronius Symo 15.0-3 208 WLAN/LAN/web server 4,210,052,840, 0, 0	1	4482.79	5020.72	4482.79	5020.72
	IR025.1 Fronius Symo 15.0-3 208 Lite 4,210,052,841, 0,	1	4292.61	4807.72	4292.61	4807.72
Estructuras Soportes	ES030 Estructura en aluminio para fijar en techo inclinado. Costo total por número de vattos ofertados, 0, 0	1	4025.65	4508.73	4025.65	4508.73
Kit de Instalación	KT001 Cableado y protecciones total por número de vattos ofertados, 0, 0	1	8270.57	9263.04	8270.57	9263.04
Instalación y puesta en marcha	IN001 Instalación y puesta en marcha: diseño eléctrico, elaboración de planos y esquemas eléctricos, mano de obra calificada para instalación, de apoyo, puesta en marcha del sistema, monitoreo y 1 año de	1	9289.94	10404.73	9289.94	10404.73
Monitoreo	MO016 Fronius Smart Meter US-240V 43,0001,3529, MO065	1	458.42	513.43	458.42	513.43

CINCUENTA Y OCHO MIL TRECIENTOS SESENTA Y SIETE CON 44/100	Subtotal:	54,639.79 \$
DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA	Neto:	58,367.44 \$
INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA	Subtotal IVA 12%:	31,063.79 \$
	Subtotal IVA 0%:	23,576.00 \$
	IVA 12%:	3,727.65 \$
	Total:	58,367.44 \$

## Cotización estructuras

NOMBRE/RAZON SOCIAL: 009999999 CONSUMIDOR FINAL

COD. DIRECCION: DIP000009 CONSUMIDOR FINAL

VIA DAULE KM 8 Y 1/2 VIA DAULE

226-1541

Forma/Pago: 01 CONTADO

### ESTA COTIZACION ES VALIDA SOLO POR 1 DIA

Ord.	Artículo	Descripción	Und.	Cantidad	Precio	Total USD.
1	PEU15006005	PERFIL CANAL U 150mmx60mmx5mm	u	30,00	91,82	2.754,60
2	EGRC255020	TUB EST GALV REC.25MMX50MMX2MM	u	17,00	27,58	468,86

ESTE DOCUMENTO NO CONSTITUYE VENTA Y LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIAR SIN PREVIO AVISO

					Subtotal	3.223,46
VENDEDOR:					IVA	386,82
Celular:					Total USD.	3.610,28

# APÉNDICE C

## Planos

