



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN
EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico
en Sistemas Eléctricos de Potencia

Autor:

Potes Valencia Paúl Wladimir

Tutor:

Ing. MSc. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

Latacunga – Ecuador

Julio 2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Potes Valencia Paúl Wladimir** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. MSc. Proaño Maldonado Xavier Alfonso tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Potes Valencia Paúl Wladimir

C.C. 172448574-1



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de **Potes Valencia Paúl Wladimir**, de la carrera de **Ingeniería Eléctrica** en Sistemas Eléctricos de Potencia, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio, 2019

El Tutor



Ing. MSc. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

C.C. 050265642-4



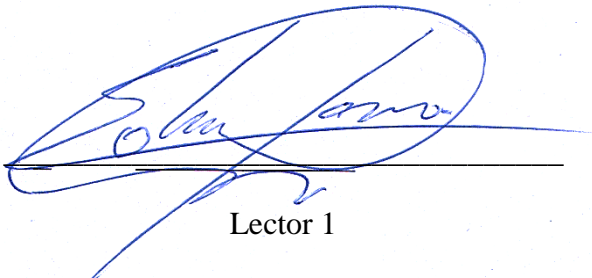
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante **Potes Valencia Paúl Wladimir** con el Título de Proyecto de Investigación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio, 2019

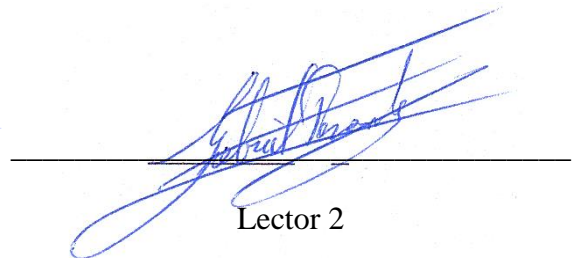
Para constancia firman:



Lector 1

Ing. MSc. Lema Guamán Edwin Marcelo

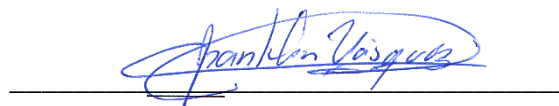
C.C. 030224135-1



Lector 2

Ing. MSc. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón

C.C. 030189388-9



Lector 3

Ing. MSc. Vásquez Teneda Franklin Hernán

C.C. 171043449-7

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen de Guadalupe por haberme dado la vida, salud, así como, la fortaleza necesaria para ir cumpliendo mis metas cada día de mi existencia.

Un enorme y sincero agradecimiento a mi tutor Ing. MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado por el gran apoyo brindado, confianza, amistad e importantes conocimientos compartidos, además de la paciencia puesta en el desarrollo de este proyecto.

También, agradezco a las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haber hecho posible el desarrollo del proyecto. Además, a todos los docentes que me transmitieron sus conocimientos y anécdotas profesionales.

Finalmente, de manera muy especial agradezco a mi familia por su apoyo incondicional en todo el lapso de mi vida y carrera profesional.

Paúl...

DEDICATORIA

“El señor te guiará continuamente y llenará tu alma de resplandores de gracia”

(Isaías 58:11)

Dedico esta tesis primero a Dios y a la Virgen de Guadalupe quienes me protegen.

A mis abuelos Vicente Benedicto Valencia Soria y Teresa de Jesús Hidalgo Carranza por su apoyo, crianza, cuidado, cariño y amor incondicional.

A mi madre Rosario Giovanna Valencia Hidalgo por su cariño, confianza y amor brindado.

A mi tía Margoth del Rocío Valencia Hidalgo por ser como una tercera madre, al brindarme su ayuda, amor y consejos.

A mis demás familiares que siempre me han ayudado, deseado éxitos y felicidad en la vida.

A mi novia Paola Padilla al formar parte fundamental de mi vida y ser un apoyo incondicional.

Finalmente, y no por ello menos importante, dedico este proyecto a todos mis lectores.

Paúl...

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN	xix
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Título del proyecto	1
1.2. Fecha de inicio	1
1.3. Fecha de finalización	1
1.4. Lugar de ejecución	1
1.5. Unidad Académica que auspicia	1
1.6. Carrera que auspicia.....	1
1.7. Equipo de Trabajo	1
1.7.1. Tutor de Titulación.....	1
1.7.2. Investigador del Proyecto.....	2
1.8. Área de Conocimiento	2
1.9. Línea de investigación	2
1.10. Sub líneas de investigación de la Carrera	2
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4.1. Beneficiarios Directos.....	3
4.2. Beneficiarios Indirectos	3
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4

5.1. Situación Problemática	4
5.2. Formulación del problema	4
6. OBJETIVOS	4
6.1. General	4
6.2. Específicos	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	6
8.1. Energía solar fotovoltaica	6
8.1.1. Radiación solar	6
8.1.2. Panel fotovoltaico.....	10
8.1.3. Sistema fotovoltaico conectado a la red	15
8.2. Características de las cargas.....	19
8.2.1. Demanda eléctrica	19
8.2.2. Curva de demanda.....	20
8.2.3. Demanda promedio (D_p)	20
8.2.4. Demanda máxima (DM)	20
8.2.5. Factor de planta (FPL)	20
8.3. Metodología para el dimensionamiento del SFCR	21
8.3.1. Cálculo del generador fotovoltaico	21
8.3.2. Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos	22
8.3.3. Distancia entre filas de paneles	24
8.3.4. Cálculo del cableado	25
8.3.5. Aparatos de maniobra y protección.....	27
8.3.6. Cálculo de la energía anual producida	29
8.3.7. Disminución de emisiones de CO ₂	29
8.4. Piranómetro Apogee MP-200	30
8.5. Analizador de redes Fluke 435 series II.....	30
8.5.1. Conexiones de entrada	31
9. HIPÓTESIS	31
10. METODOLOGÍAS	31
10.1. Modalidad de investigación	31
10.2. Tipo de investigación	31

10.2.1. Investigación documental.....	32
10.2.2. Investigación descriptiva.....	32
10.2.3. Investigación de campo.....	32
10.3. Métodos de investigación	32
10.3.1. Método deductivo.....	32
10.3.2. Método analítico.....	32
10.3.3. Método sintético.....	33
10.3.4. Método estadístico	33
10.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	33
10.4.1. Lectura comprensiva	33
10.4.2. Interpretación de información.....	33
10.4.3. Sintetización de información.....	33
10.4.4. Observación.....	34
10.4.5. Medición	34
10.4.6. Cálculo	34
10.5. Operacionalización de variables	34
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
11.1. Ubicación geográfica	35
11.2. Determinación del potencial solar de la Universidad Técnica de Cotopaxi	36
11.2.1. Análisis estadístico de la irradiancia media diaria en el mes de febrero.....	37
11.2.2. Análisis estadístico de la radiación promedio diaria en cada mes del año...41	41
11.3. Demanda eléctrica del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi	42
11.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	43
11.4.1. Área disponible en la azotea del Bloque B de la UTC.....	43
11.4.2. Configuración de los módulos fotovoltaicos.....	44
11.4.3. Disposición de los paneles fotovoltaicos	48
11.4.4. Ubicación del sistema fotovoltaico en la azotea del Bloque B	52
11.4.5. Cálculo del cableado en c.c. y c.a.	53
11.4.6. Protecciones del sistema fotovoltaico conectado a la red	56
11.4.7. Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico conectado a la red	58
11.4.8. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico conectado a la red	59
11.4.9. Energía suministrada anualmente	59
11.4.10.Reducción de emisiones de CO ₂ expulsadas a la atmósfera	61

11.4.11. Operación del sistema fotovoltaico	62
12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	63
12.1. Valor Actual Neto (VAN).....	64
12.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	65
12.3. Factor de Recuperación de Capital (FRC)	65
12.4. Relación Beneficio/Costo (B/C)	65
12.5. Periodo de Recuperación Compuesto (PR _c)	66
12.6. Escenarios	66
12.6.1. Escenario 1	66
12.6.2. Escenario 2	67
12.6.3. Escenario 3	69
13. IMPACTOS	71
13.1. Impacto Técnico.....	71
13.2. Impacto Ambiental.....	71
13.3. Impacto Económico	71
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
14.1. Conclusiones	72
14.2. Recomendaciones	73
15. BIBLIOGRAFÍA	74
16. ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.	5
Tabla 2. Pérdidas admisibles por efecto de sombra, orientación e inclinación.	14
Tabla 3. Variable independiente: Sistema fotovoltaico conectado a la red.	34
Tabla 4. Variable dependiente: Consumo energético.	34
Tabla 5. Localización de la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	35
Tabla 6. Irradiancia global diaria del mes de febrero del 2019 sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	36
Tabla 7. Frecuencias de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:30 am.	39
Tabla 8. Irradiancia global media diaria representativa del mes de febrero del 2019.	40
Tabla 9. Irradiancia global media diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	41
Tabla 10. Irradiación global promedio diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	41
Tabla 11. Características del panel fotovoltaico.	44
Tabla 12. Características del inversor conectado a la red.	45
Tabla 13. Resumen de las caídas de voltaje en los diferentes tramos del SFCR.	55
Tabla 14. Área total de los conductores de corriente continua.	55
Tabla 15. Área total de todos los conductores de corriente continua que entran al gabinete de protecciones c.c. – c.a.	56
Tabla 16. Área total de los conductores de corriente alterna.	56
Tabla 17. Protecciones del sistema fotovoltaico conectado a la red.	58
Tabla 18. Energía diaria, mensual y anual producida por el sistema fotovoltaico conectado a la red.	60
Tabla 19. Potencia del sistema fotovoltaico conectado a la red a distinta irradiancia.	62
Tabla 20. Inversión del sistema fotovoltaico conectado a la red.	64
Tabla 21. Gastos anuales del sistema fotovoltaico conectado a la red.	64
Tabla 22. Evaluación financiera con un costo de 0,065 USD/kWh.	66
Tabla 23. Evaluación financiera con un costo de 0,6812 USD/kWh.	67
Tabla 24. Recuperación de la inversión y ganancias.	68
Tabla 25. Evaluación financiera con un costo de 0,2985* USD/kWh.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de radiación solar.	6
Figura 2. Trayectorias que siguen los rayos solares.	7
Figura 3. Hora solar pico.	8
Figura 4. Ángulos que definen la posición del Sol en cada instante.	9
Figura 5. Inclinação del eje terrestre a lo largo de un año.	9
Figura 6. Inclinação del panel fotovoltaico. a) Al mediodía del solsticio de invierno. b) Al mediodía de los equinoccios. c) Al mediodía del solsticio de verano.	10
Figura 7. Célula fotovoltaica.	11
Figura 8. Panel fotovoltaico: a) Monocristalino. b) Policristalino. c) Amorfo.	11
Figura 9. Características I-V de una célula fotovoltaica.	12
Figura 10. Curva I-V de un panel fotovoltaico en función de la irradiancia.	13
Figura 11. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar.	15
Figura 12. Sistema fotovoltaico conectado a la red.	16
Figura 13. Funcionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red.	16
Figura 14. Esquema de instalación del μ SFV.	19
Figura 15. Curva de demanda diaria.	20
Figura 16. Posición de la instalación de los paneles fotovoltaicos con ángulo azimut = α	23
Figura 17. Determinación del sur geográfico.	24
Figura 18. Distancia mínima entre filas de paneles instalados en el mismo plano.	24
Figura 19. Tramos de línea en un SFCR (no se indican los dispositivos de maniobra y protección).	25
Figura 20. Esquema de protecciones en un sistema fotovoltaico conectado a la red.	28
Figura 21. Piranómetro Apogee MP-200.	30
Figura 22. Analizador de energía y calidad eléctrica 435 series II Fluke.	30
Figura 23. Conexión del analizador Fluke 435 en un sistema de distribución trifásico.	31
Figura 24. Localización geográfica de la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	35
Figura 25. Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	35
Figura 26. Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	36
Figura 27. Histograma de la irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:30 am.	39
Figura 28. Irradiancia global diaria representativa del mes de febrero del 2019 en intervalos de 30 minutos.	40

Figura 29. Curva de la irradiación global promedio diaria.	42
Figura 30. Demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.....	43
Figura 31. Áreas disponibles en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	44
Figura 32. Sur geográfico en la azotea del bloque B.....	49
Figura 33. Panel fotovoltaico orientado hacia el sur geográfico.	50
Figura 34. Distancia mínima entre filas horizontales de paneles fotovoltaicos.	51
Figura 35. Distancia entre filas verticales de paneles fotovoltaicos para mantenimiento y circulación peatonal.....	51
Figura 36. Ubicación de los paneles fotovoltaicos en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	52
Figura 37. Esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica conectada a la red.	58
Figura 38. Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica conectada a la red.	59
Figura 39. Curva de demanda promedio del día lunes en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi vs generación fotovoltaica conectada a la red.....	63
Figura 40. Zona de pérdidas (relleno rojo) y beneficios adicionales (sombreado azul).....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 80
- Anexo 2.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 81
- Anexo 3.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 8:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 82
- Anexo 4.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 8:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 83
- Anexo 5.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 9:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 84
- Anexo 6.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 9:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 85
- Anexo 7.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.... 86
- Anexo 8.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 11:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.... 87
- Anexo 9.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 11:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.... 88
- Anexo 10.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 12:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.... 89
- Anexo 11.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 12:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.... 90
- Anexo 12.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a la 1:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. 91
- Anexo 13.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a la 1:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. 92
- Anexo 14.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 2:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 93
- Anexo 15.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 2:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 94
- Anexo 16.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 3:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 95
- Anexo 17.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 3:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 96
- Anexo 18.** Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 4:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi..... 97

Anexo 19. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 4:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	98
Anexo 20. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 5:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	99
Anexo 21. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 5:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi....	100
Anexo 22. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 6:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi....	101
Anexo 23. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 6:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi....	102
Anexo 24. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi....	103
Anexo 25. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi....	104
Anexo 26. Demanda total media del Bloque B de la UTC en los días no laborados.....	105
Anexo 27. Demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.	106
Anexo 28. Datos de la curva de demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.	107
Anexo 29. Factor de potencia del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	108
Anexo 30. Áreas disponibles en el Bloque B de la UTC a escala.....	109
Anexo 31. Datos técnicos del panel fotovoltaico SUNPOWER MAXEON 3 400W.....	110
Anexo 32. Datos técnicos del inversor Fronius Symo 15.0-3 208.....	112
Anexo 33. Determinación del sur geográfico en la azotea del bloque B de la UTC.....	115
Anexo 34. Ubicación de los paneles fotovoltaicos en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi a escala.....	116
Anexo 35. Tramos del cableado del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	117
Anexo 36. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.	118
Anexo 37. Cables THHN 600 V 90 °C Conelsa.	118
Anexo 38. Dimensiones de la tubería E.M.T. y área disponible para los conductores.	119
Anexo 39. Paneles fotovoltaicos y tubería E.M.T. en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi a escala.....	120
Anexo 40. Ficha técnica del interruptor termomagnético c.c.....	121
Anexo 41. Ficha técnica del limitador de sobrevoltajes.....	123
Anexo 42. Ficha técnica del fusible 10 × 38 mm.	125
Anexo 43. Interruptores automáticos de caja moldeada. Serie Metasol de 30A a 250A.	127
Anexo 44. Interruptores de circuito por falla a tierra. Serie Metasol de 30AF a 250AF.	129

Anexo 45. Barras conductoras.....	131
Anexo 46. Gabinete y tablero en acero inoxidable con protección IP 66.	132
Anexo 47. Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	134
Anexo 48. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	135
Anexo 49. Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado.	136
Anexo 50. Vista tridimensional del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	138



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Autor:

Potes Valencia Paúl Wladimir

RESUMEN

El presente proyecto de investigación cuantificó la cantidad de energía que un sistema fotovoltaico conectado a la red, puede suministrar al bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el propósito de disminuir la facturación del servicio eléctrico.

En el proyecto se recolectó la radiación global por el periodo de un año, datos que fueron analizados estadísticamente a través de los histogramas de frecuencia, los cuales ayudaron a determinar el potencial solar de la institución, cuya mayor irradiación promedio presentada fue en noviembre con un valor de $5,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ e irradiancia media máxima de $931 \text{ W}/\text{m}^2$ a la 1:00 pm, información usada durante el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red, a fin de asegurar el autoconsumo de energía en el edificio de la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas, cuando esté en su funcionamiento habitual.

La demanda semanal del bloque académico B fue estimada con el Analizador Fluke 435 series II, mismo que registró una potencia promedio máxima de 35,11 kW el día miércoles a las 18:00 h. Además, a la 1:00 pm del jueves donde se encontró la mayor irradiancia, midió un valor medio de 29,88 kW. El generador fotovoltaico cuenta con 66 paneles solares, cuya capacidad instalada es de 26,4 kW dividida en dos grupos: 14,4 kW y 12 kW, respectivamente ubicados sobre la azotea del edificio en un área libre de $573,47 \text{ m}^2$. De esta manera, el sistema podría entregar anualmente 30336 kWh a la institución, a la vez; evitar la emisión de 18,42 toneladas de CO_2 al año.

Finalmente, en el estudio financiero del proyecto con una inversión de 83.290,88 USD, se consideró tres escenarios; el segundo la mejor opción, cuando el precio de la energía eléctrica es de 0,6812 USD/kWh. Esto implica tener un ingreso anual de 21.078,37 USD, un valor actual neto de 116.363,42 USD, tasa interna de retorno del 24,07% y relación beneficio/costo de 2,28.

Palabras clave: autoconsumo, demanda, potencial solar, radiación, sistema fotovoltaico.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTED TO THE GRID IN THE ENGINEERING FACULTY FACILITIES OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”

Author:

Potes Valencia Paúl Wladimir

ABSTRACT

This research study quantified the amount of energy that a photovoltaic system connected to the grid can supply to the facilities of the engineering faculty of the Technical University of Cotopaxi, with the purpose of reducing the billing of the electric service.

In the study the global radiation was collected for the period of one year, data that analyzed statistically through the frequency histograms to determine the solar potential of the institution, whose highest average irradiation was presented in November with a value of $5.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ and maximum irradiance of $931 \text{ W}/\text{m}^2$ at 1:00 pm, information used in the design of the photovoltaic system connected to the grid, in order to ensure self-consumption of energy in the building of the faculty of engineering and applied sciences, when it is in its normal operation.

The weekly demand for the facilities of the faculty of engineering was estimated with the Fluke 435 series II Analyzer, which recorded a maximum average power of 35.11 kW on Wednesday at 18:00 h. In addition, at 1:00 p.m. on Thursday where the highest irradiance was found, it measured an average value of 29.88 kW. The photovoltaic generator has 66 solar panels, whose installed capacity is 26.4 kW divided into two groups: 14.4 kW and 12 kW, respectively located on the roof of the building in a free area of 573.47 m^2 . In this way, the system annually could deliver 30336 kWh to the institution, at the same time; avoid the emission of 18.42 tons of CO_2 per year.

Finally, in the financial study of the project with an investment of 83,290.88 USD, three scenarios were considered; the second being the best option, when the price of electricity is 0.6812 USD/kWh. This implies having an annual income of 21,078.37 USD, a net present value of 116,363.42 USD, internal rate of return of 24.07% and benefit/cost ratio of 2.28.

Keywords: self-consumption, demand, solar potential, radiation, photovoltaic system.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, POTES VALENCIA PAÚL WLADIMIR**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Latacunga, julio del 2019

Atentamente,

Mg. Patricia Marcela Chacón Porras

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

C.C. 050221119-6



1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Título del proyecto:

Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

1.2. Fecha de inicio:

09 de octubre del 2018.

1.3. Fecha de finalización:

12 de julio del 2019.

1.4. Lugar de ejecución:

El Ejido – Eloy Alfaro – Latacunga – Cotopaxi – Zona 3 – Universidad Técnica de Cotopaxi.

1.5. Unidad Académica que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

1.6. Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica.

1.7. Equipo de Trabajo:

1.7.1. Tutor de Titulación

Nombres y Apellidos: MSc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

Domicilio: Latacunga

Código postal: 050103

Fecha de nacimiento: 20/10/1985

Cédula de ciudadanía: 050265642-4

Nacionalidad: Ecuatoriana

Estado civil: Soltero

Número telefónico: 096 018 4127 / 032 663 638

E-mail: xavier.proano@utc.edu.ec

Ocupación: Docente

1.7.2. Investigador del Proyecto

Nombres y Apellidos: Paúl Wladimir Potes Valencia

Domicilio: Alóag, Vía Alóag – Sto. Domingo, Calle Tomás Pazmiño.

Fecha de nacimiento: 09/10/1996

Cédula de ciudadanía: 172448574-1

Estado civil: Soltero

Número telefónico: 099 843 3767

E-mail: wladimir_valencia2010@hotmail.com

1.8. Área de Conocimiento:

Ingeniería, Energías renovables, Instalaciones eléctricas.

1.9. Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

1.10. Sub líneas de investigación de la Carrera:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación muestra el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red, destinado al bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el fin de reducir el pago de la planilla eléctrica. Para ello, se determinó el potencial solar de la institución mediante el uso de un piranómetro durante un año. Además, la curva de demanda semanal del edificio de la facultad de CIYA, fue proyectada a través de datos registrados por el Analizador Fluke 435 series II.

La instalación fotovoltaica está diseñada para asegurar el autoconsumo de energía durante el funcionamiento habitual del bloque B, misma que se encuentra dividida en dos grupos, una de ellas con posibilidad de expansión. El generador fue ubicado sobre un área libre de la azotea del edificio, para entregar energía de 8:00 am a 5:00 pm.

Finalmente, el proyecto cuenta con su respectivo plano eléctrico y esquema unifilar, mismos que incluyen simbología normalizada, para brindar al lector una visualización del funcionamiento de la instalación fotovoltaica y evitar posibles ambigüedades.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad, es necesario desarrollar alternativas de generación eléctrica destinadas al aprovechamiento de recursos naturales que disminuyan la dependencia energética procedente de fuentes contaminantes. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red representan una de las principales opciones que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero por medio de la energía inagotable del sol.

Para la instalación de los sistemas fotovoltaicos, es indispensable contar con espacios libres, por esta razón, el presente estudio utilizará la superficie disponible en la azotea del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a fin de cuantificar la energía eléctrica que se puede aprovechar de la radiación solar del área, la cual podría ser inyectada a la red mediante un inversor de forma confiable, segura y sincronizada a la línea. Además, permitirá disminuir la utilización de electricidad proveniente de la red convencional, facturación del servicio eléctrico, como cargabilidad del transformador, pues así facilita la incorporación de nuevas cargas a la institución.

Lo expresado anteriormente, demuestra la importancia de la presente investigación, al beneficiar a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por generar electricidad destinada a cierta parte del consumo energético del bloque B, ahorrar capital, reducir el manejo de combustibles fósiles y especialmente hacer uso de una tecnología amigable con el medio ambiente, que motivaría a las demás facultades de la institución a la utilización de la energía renovable proveniente del sol.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

El presente proyecto de investigación tiene como beneficiario directo a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son los estudiantes, docentes, autoridades y el personal administrativo.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Situación Problemática

El crecimiento poblacional del Ecuador tiene como consecuencia un aumento en el consumo de energía, seguidamente de picos de carga en los transformadores, lo que conlleva a inversiones en la expansión o repotenciación del sistema de generación, transmisión y distribución. Ésta solución, tiene un impacto medio ambiental, porque si bien es cierto, la demanda es cubierta por la potencia suministrada de las centrales del país, que en su gran mayoría son hidroeléctricas, pero durante épocas de sequía al momento de cubrir la demanda máxima en las horas pico, se llega a requerir generación térmica a un precio más elevado y con altos índices de contaminación, esto produce la destrucción de ecosistemas únicos en el territorio ecuatoriano. Otro aspecto a considerar son las reservas de petróleo, las cuales durarán estimadamente 20 años.

En los últimos años, la Universidad Técnica de Cotopaxi ha presentado un incremento de cargas instaladas, junto con un aumento en el consumo energético, facturación del servicio eléctrico y cargabilidad del transformador. De esta manera, las fuentes renovables se presentan como respuesta a estos inconvenientes.

5.2. Formulación del problema

Con la utilización del sistema fotovoltaico conectado a la red se podrá reducir la energía facturada por la empresa eléctrica en el bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

6. OBJETIVOS

6.1. General

Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red orientado al autoconsumo durante el funcionamiento habitual del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para disminuir la energía facturada por la empresa eléctrica.

6.2. Específicos

- Recopilar información de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red mediante estudios similares a nivel general.
- Determinar el potencial solar existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Desarrollar un análisis de la curva de carga del bloque B de la UTC para estimar la demanda promedio durante una semana.
- Evaluar técnica-económicamente el sistema fotovoltaico conectado a la red.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
Recopilar información de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red mediante estudios similares a nivel general.	Búsqueda de información en medios físicos y digitales de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentación técnica para el desarrollo del proyecto. • Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes bibliográficas. • Tablas y figuras.
Determinar el potencial solar existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi.	Levantamiento de datos de la radiación disponible en la Universidad Técnica de Cotopaxi.	Base de datos y curvas de radiación solar.	Piranómetro y curvas realizadas en el programa Excel.
Desarrollar un análisis de la curva de carga del bloque B de la UTC para estimar la demanda promedio durante una semana.	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de los datos de carga del bloque B en el lado secundario del transformador. • Tabulación de la información recolectada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia diaria del bloque B. • Curvas de demanda promedio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizador de redes Fluke 435. • Curvas realizadas en el programa Excel.
Evaluar técnica-económicamente el sistema fotovoltaico conectado a la red.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red. • Cálculo de la generación eléctrica proveniente del sistema fotovoltaico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía producida por el sistema fotovoltaico. • Presupuesto y ahorro económico. • Evaluación financiera 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculos. • Balance económico.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Para el desarrollo de la presente investigación, es necesario definir diversos conceptos de la energía solar fotovoltaica. En la sección se explican sus características principales, con el fin de entender su funcionamiento y dimensionar correctamente un sistema fotovoltaico conectado a la red.

8.1. Energía solar fotovoltaica

8.1.1. Radiación solar

Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas que son capaces de desplazarse por el espacio en cualquier dirección, pero en su trayecto por la atmósfera, es sometida a diferentes alteraciones como la reflexión, atenuación y difusión que modifican sus características. La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por el vapor de agua, ozono, oxígeno y dióxido de carbono produce una modificación de las características espectrales de la radiación. Además, la dispersión por partículas (polvo, aerosoles, gotas de agua) modifica la distribución espacial de la radiación. Por lo tanto, la radiación solar llega a la Tierra en los siguientes porcentajes: 7% ultravioleta, 47% luz visible y 46% radiación infrarroja. En la figura 1 se muestra la radiación electromagnética comprendida en el intervalo de 150 a 400 nm, la parte visible del espectro que va de 400 a 780 nm que comúnmente denominados luz. El resto del espectro, que no es visible, lo forman las radiaciones con longitudes de onda inferiores a 400 nm, denominadas radiaciones ultravioletas (UV) y con longitudes superiores a 780 nm denominadas radiaciones infrarrojas (IR) [1], [2], [3], [4].

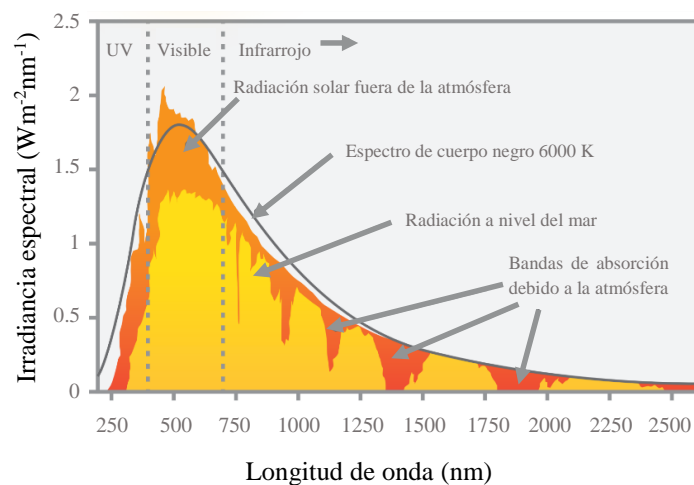


Figura 1. Espectro de radiación solar.

Fuente: [5].

Las células fotovoltaicas captan la mayor parte de luz visible, ya que la ultravioleta llega en poca cantidad y la infrarroja tiene poca energía [1].

8.1.1.1. Irradiación

Energía solar incidente en una superficie determinada durante un tiempo de radiación, se mide en $[\text{kWh}/\text{m}^2$ o $\text{MJ}/\text{m}^2]$ [1].

8.1.1.2. Irradiancia

Densidad de potencia incidente en una superficie, es decir el valor instantáneo de la radiación, se mide en $[\text{kW}/\text{m}^2]$ [1].

La radiación que llega del sol se llama constante solar, y tiene un valor de irradiancia de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ al llegar a la superficie terrestre [1].

Hay tres tipos de irradiancia incidente, que se puede visualizar en la figura 2:

- Irradiancia directa (I): Es la que se recibe directamente del sol [1].
- Irradiancia difusa (D): Es la que se recibe del sol después de haber sido desviada por la dispersión atmosférica, llega desde todas las direcciones [1].
- Irradiación reflejada o de albedo (R): Es la que ha sido reflejada por el suelo [1].

La suma de las tres irradiancias da lugar a la irradiancia solar global o constante solar [1].

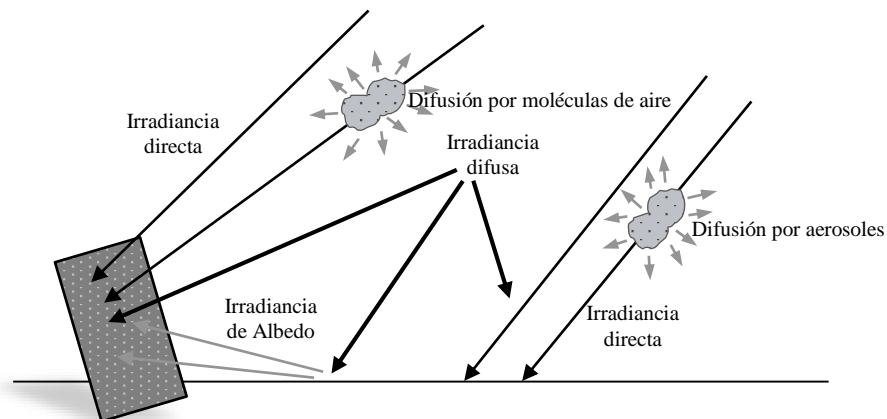


Figura 2. Trayectorias que siguen los rayos solares.

Fuente: [2].

8.1.1.3. Hora solar pico

La hora solar pico (H.S.P) se define como el número de horas diarias que con una irradiancia solar ideal de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día. Este concepto se explica gráficamente en la figura 3 [6].

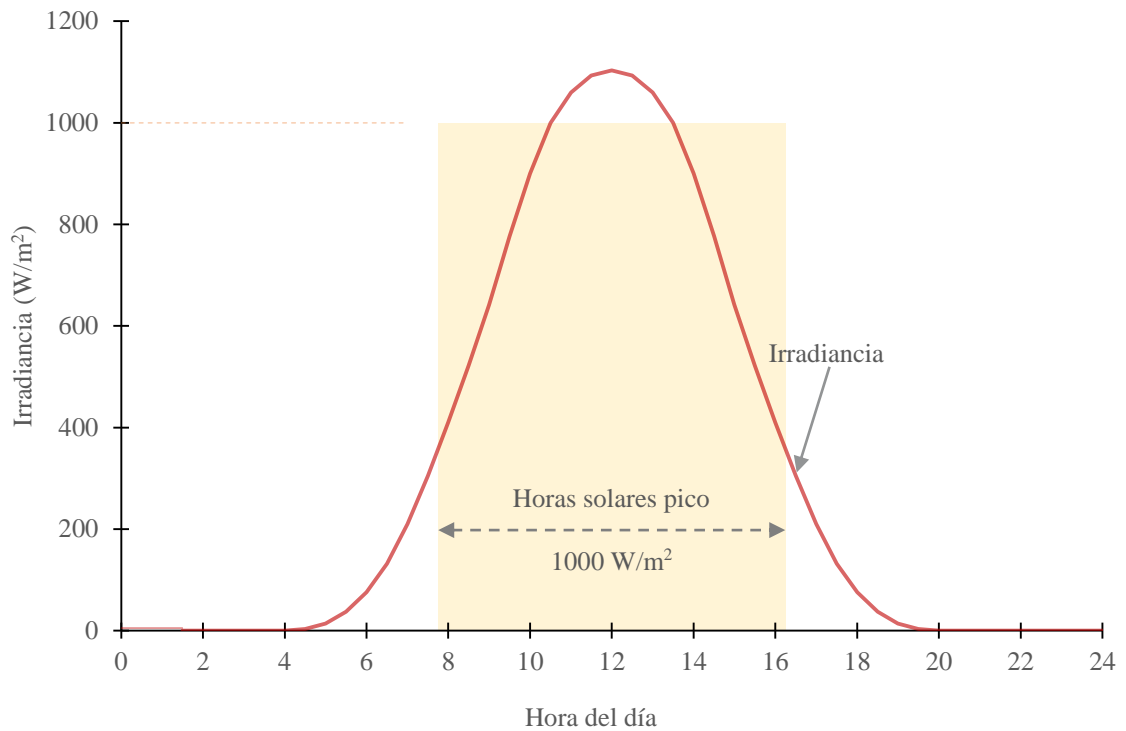


Figura 3. Hora solar pico.

Fuente: [6].

$$HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1000W / m^2} \quad (1)$$

8.1.1.4. Coordenadas solares

Su finalidad es establecer la posición del sol en el cielo, el origen de su sistema de referencia es la ubicación del observador [6].

- *Azimut u orientación solar* (A, ψ): ángulo formado por la línea Norte-Sur y la proyección del rayo del sol sobre el plano horizontal. Su valor óptimo es $\psi = 0^\circ$ al medio día porque el Sol se encuentra en orientación Sur, aquí se conseguirá la máxima radiación [1], [2].
- *Altura solar* (α): ángulo que varía a lo largo del día [2].
- *Cenital* (θ): ángulo que forma el Sol con el cenit que es el punto superior del hemisferio celeste correspondiente a un lugar de la Tierra y complementa la altura solar tal y como se muestra en la figura 4 [2].
- *Latitud* (ϕ): ángulo que forma la vertical del punto geográfico que se considere y el Ecuador [2].

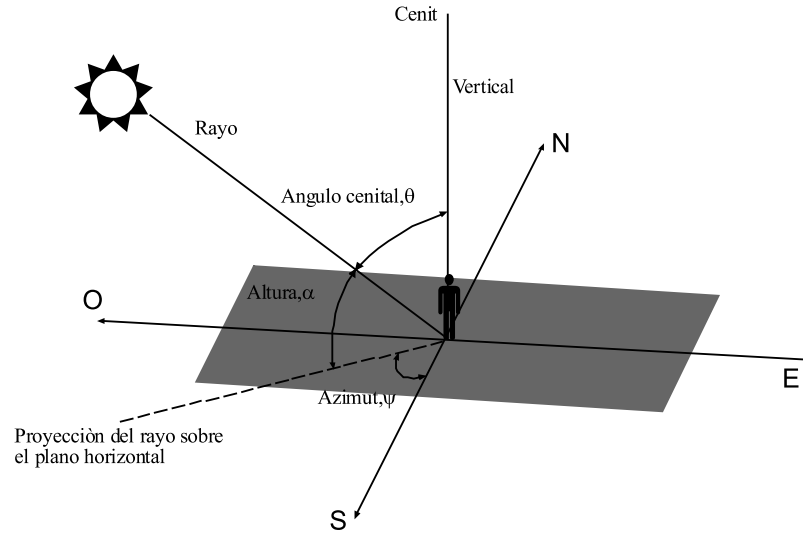


Figura 4. Ángulos que definen la posición del Sol en cada instante.

Fuente: [2].

8.1.1.5. Declinación solar (δ)

La declinación solar es el ángulo que forma el Sol con el plano ecuatorial celeste. Su valor varía a lo largo del año, de $23,45^\circ$ en verano (21 de junio) a $-23,45^\circ$ en invierno (21 de diciembre), cruzando por 0° en los equinoccios de primavera (21 de marzo) y de otoño (21 de septiembre), tal como se muestra en la figura 5 [1].

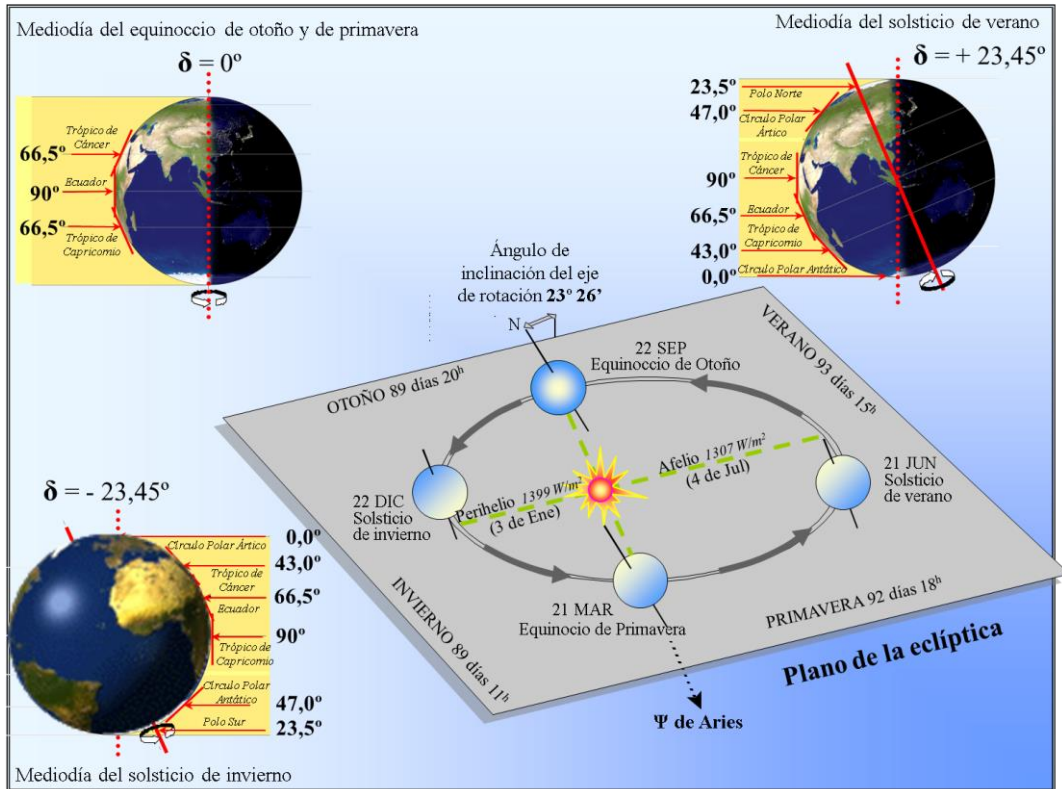


Figura 5. Inclinación del eje terrestre a lo largo de un año.

Fuente: [7].

8.1.1.6. Radiación sobre superficies

La radiación es máxima cuando los rayos del sol inciden verticalmente. Cuando los rayos llegan inclinados, la misma cantidad de energía solar se extiende sobre una superficie mayor y, por lo tanto, se recibe menos radiación solar para el mismo punto. Por eso los rayos solares calientan más al mediodía que por la mañana o por la tarde, ya que el movimiento de la tierra hace que los rayos lleguen perpendiculares al mediodía y con más inclinación a la mañana y a la tarde. También los rayos llegan más inclinados y por lo tanto con menos energía en latitudes altas (más cercanas a los polos) [1].

8.1.1.7. Inclinación de los paneles (β)

Lo que interesa es que los rayos solares toquen el módulo perpendicularmente al medio día, como se muestra en la figura 6 [1].

Por lo tanto:

$$\beta = \phi - \delta \quad (2)$$

Donde:

ϕ = Latitud.

δ = Su valor depende de las estaciones del año.

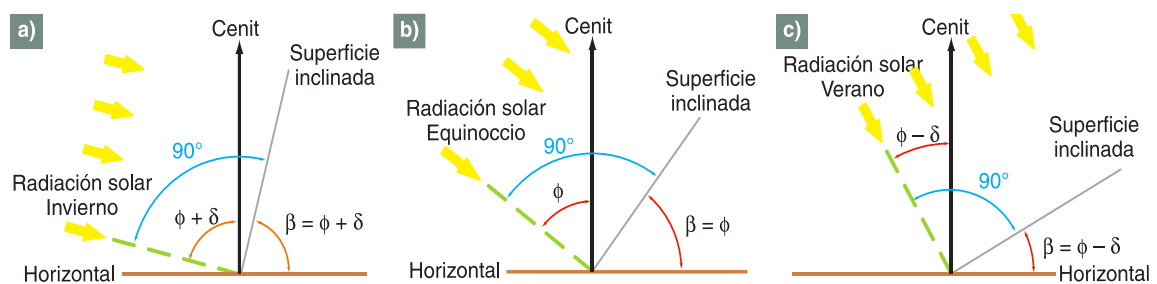


Figura 6. Inclinación del panel fotovoltaico. a) Al mediodía del solsticio de invierno. b) Al mediodía de los equinoccios. c) Al mediodía del solsticio de verano.

Fuente: [4].

8.1.2. Panel fotovoltaico

8.1.2.1. Funcionamiento

Los paneles solares fotovoltaicos están formados por varias células fotovoltaicas. La célula fotovoltaica consiste en un material al que artificialmente se le han creado dos regiones, una que podríamos considerar cargada positivamente (P) la cual contiene a los huecos y otra negativa (N) con exceso de electrones. La unión de ambos materiales (P, N), al ser expuestos

a la radiación solar, produce una circulación de electrones y al conectar una carga se establece una corriente continua, como se muestra en la figura 7 [8].

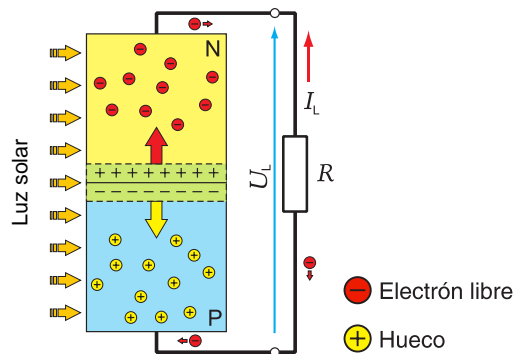


Figura 7. Célula fotovoltaica.

Fuente: [4].

8.1.2.2. Clasificación

Mayormente son de tres tipos y se clasifican según la estructura cristalina:

- *Paneles fotovoltaicos monocristalinos:* Son placas de silicio puro fundido y dopado con boro, cuyo grosor varía entre 0,14-0,3mm. Poseen un color azul oscuro con brillo metálico, alcanzan rendimientos del 24%. Sin embargo, su inconveniente radica en su precio muy elevado [8], [9], [10].
- *Paneles solares policristalinos:* Formado por el agrupamiento de cristales de silicio. Su aspecto exterior es negro azulado con tono gris plata cuya eficiencia alcanza el 15%. Son más económicos por contener menos silicio en su fabricación [1], [8].
- *Módulos fotovoltaicos amorfos o de capa delgada:* celdas de silicio amorfo hidrogenado no cristalino. Son extremadamente delgadas, económicas y simples, pero su rendimiento es inferior al 10% [8], [10].

La figura 8 muestra los aspectos de los distintos tipos de paneles fotovoltaicos que se utilizan en la mayoría de las aplicaciones actuales.

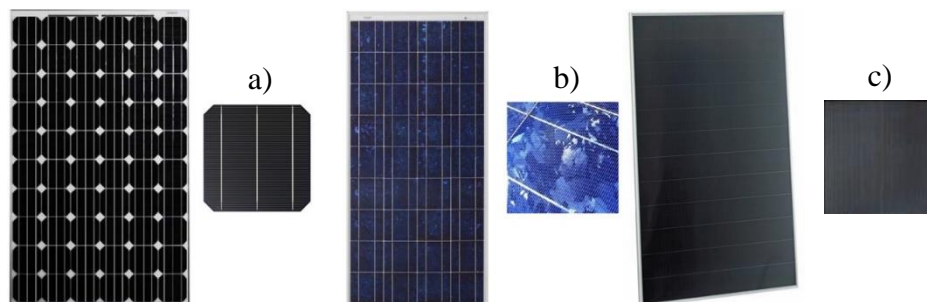


Figura 8. Panel fotovoltaico: a) Monocristalino. b) Policristalino. c) Amorfo.

Fuente: [9].

8.1.2.3. Diodos de protección

Las placas fotovoltaicas pueden llevar dos tipos de diodos:

- Diodo de bloqueo:** Se coloca uno en cada fila de módulos. Impide el paso de corriente de la batería hacia los paneles cuando no hay radiación solar, también que una fila de paneles se descargue en otra por una avería [1], [11].
- Diodo de bypass:** Si una parte del panel tiene sombra deja de generar corriente y se convierte en carga, consume en forma de calor la corriente que le llega de las otras células, de este modo aumenta su temperatura llegando a incendiar los materiales. A este efecto se lo conoce como Hot-Spot o Punto Caliente. Para evitarlo se ponen diodos en inversa en la caja de conexiones. La parte sombreada, al convertirse en carga, cambia su polaridad y cuando el diodo detecta este cambio hace que la corriente pase por él en lugar de por las células [1], [12].

8.1.2.4. Parámetros eléctricos

El funcionamiento de un panel se representa mediante una curva característica I-V (figura 9), esta curva define su comportamiento:

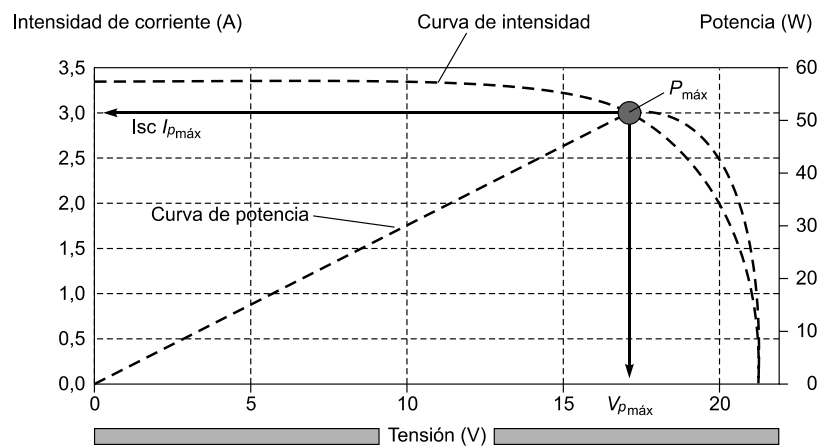


Figura 9. Características I-V de una célula fotovoltaica.

Fuente: [12].

- **Corriente de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}):** máxima corriente que se puede obtener de una celda fotovoltaica si se cortocircuitan sus terminales. Su valor depende de la radiación solar y superficie del panel [12].
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}):** constituye la máxima tensión que puede generar un panel fotovoltaico si se dejan sus terminales en circuito abierto, esto sucede cuando el módulo generando no está conectado a ninguna carga. En las células de Si de tipo medio es del orden de 0,6 V mientras que en las de GaAs es de 1 V [1], [12].

- *Potencia pico (Wp o $P_{m\acute{a}x}$):* es la máxima potencia que puede suministrar una celda y se define por el punto de la curva I-V en que se consigue un valor máximo, los puntos restantes de la curva generan valores inferiores [1].
- *Eficiencia de conversión o rendimiento (η):* Expresado en %. Representa la relación entre la potencia que suministra la célula o panel por superficie y la irradiancia estándar [1], [12].

8.1.2.5. Factores que afectan el rendimiento del panel fotovoltaico

8.1.2.5.1. Energía de la luz incidente

Para producir el movimiento de los electrones y generar flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites. Debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda, cerca del 50% de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los módulos fotovoltaicos disponibles comercialmente y se pierde, ya sea por poca o demasiada energía. Por otro lado, la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja, la Fig. 10. muestra las curvas I-V para distintos niveles de radiación [13].

8.1.2.5.2. Reflexión

Este tipo de pérdidas se produce en la superficie del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes. Para ver como la potencia del módulo varía según diferentes niveles de irradiancia solar, vemos la figura 10. La potencia de salida del módulo es directamente proporcional al nivel de irradiancia solar. Para disminuir este tipo de pérdidas, en el proceso de fabricación se están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas [13], [14].

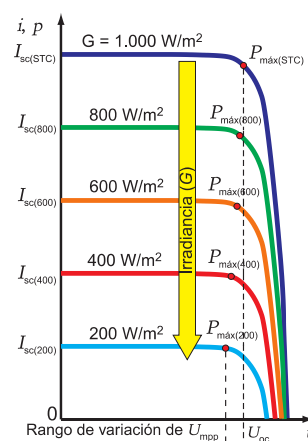


Figura 10. Curva I-V de un panel fotovoltaico en función de la irradiancia.

Fuente: [4].

8.1.2.5.3. Efecto de la sombra

El efecto de sombras sobre los paneles fotovoltaicos, afecta notoriamente el rendimiento de estos, por la cantidad de irradiación solar que no es aprovechada por el sistema generador, es por esto que se debe procurar al momento de diseñar una instalación fotovoltaica, situar los paneles en lugares donde no sufran este tipo de interferencias [11], [13].

Este efecto es más notorio en instalaciones de paneles conectados en serie, ya que si un panel es sombreado no generará los mismos niveles de energía que los que se encuentran descubiertos, por lo cual consumirá energía, en vez de generarla [13].

8.1.2.5.4. Efecto de la orientación e inclinación

Los módulos fotovoltaicos trabajarán en forma óptima cuando su orientación e inclinación se sitúe perpendicularmente hacia el sol. En instalaciones fijas, es imposible mantener el panel perpendicular al sol, por lo cual, el sistema se debe diseñar de tal forma que su instalación permita aprovechar la mayor cantidad de luz posible y en los periodos de mayor radiación [13].

Para las instalaciones con sistema de seguimiento, este problema tiene menor incidencia, ya que el panel tiende a mantener la perpendicularidad hacia el sol. La tabla 2 muestra los valores aceptables para distintos factores de pérdidas en el caso de instalaciones a red [13].

Tabla 2. Pérdidas admisibles por efecto de sombra, orientación e inclinación.

	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI + S)
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Fuente: [1].

8.1.2.5.5. Efecto de la temperatura

La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Al aumentar la temperatura, la corriente también tiende a aumentar, pero el voltaje cae notablemente, lo que provoca una disminución de la potencia entregada por el panel, en cambio, al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada. Se estima que la potencia nominal se reduce aproximadamente un 0,5% por cada grado por sobre de 25 °C [13]. Esto se puede ver en la figura 11.

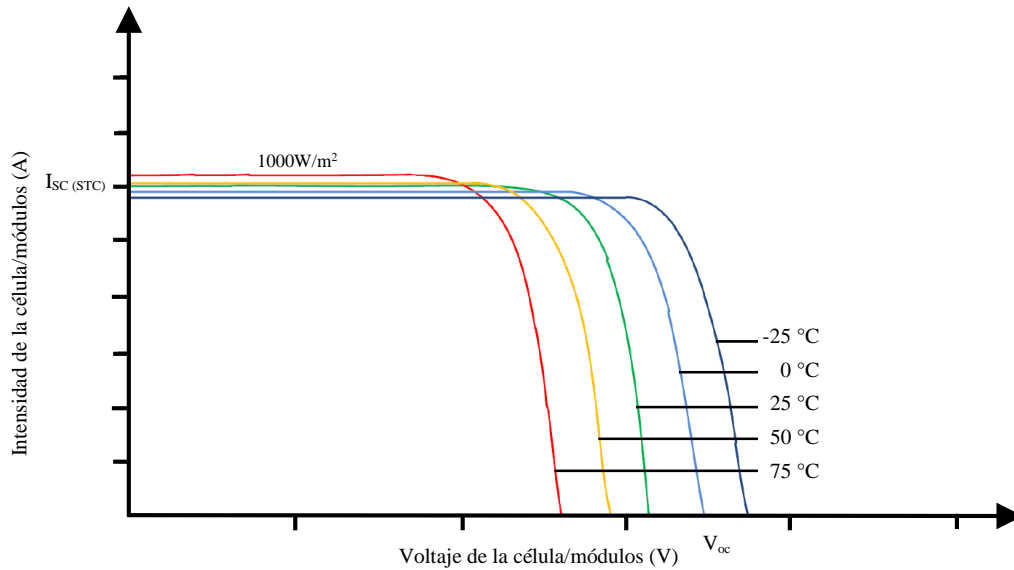


Figura 11. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar.

Fuente: [15].

8.1.3. Sistema fotovoltaico conectado a la red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) se puede definir como un sistema de generación fotovoltaica que trabaja en paralelo con la red de la Empresa distribuidora, es decir, las salidas de ambos sistemas de generación están conectadas entre sí, de forma que el primero actúa como si fuera un generador más de la Compañía eléctrica, inyectando energía eléctrica en su red de distribución cuando se tenga excedentes en periodos de irradiación solar, mientras que, en periodos de radiación limitada o nula, es la red eléctrica quien entrega la electricidad necesaria para satisfacer la demanda, por tanto, no requiere de un sistema de almacenamiento [2], [13]. Para comprender de mejor manera la figura 13 muestra su funcionamiento.

Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de corriente continua (c.c.) a corriente alterna (c.a.) y un contador bidireccional que permita contabilizar la energía producida por el sistema. Para poner en funcionamiento una instalación fotovoltaica de este tipo es necesario contar con un punto de acceso a la red eléctrica, que permitirá entregar la energía generada, este punto de acceso es asignado por la compañía eléctrica del sector donde se realice la instalación. La figura 12 muestra un esquema de instalación conectada a la red [13].

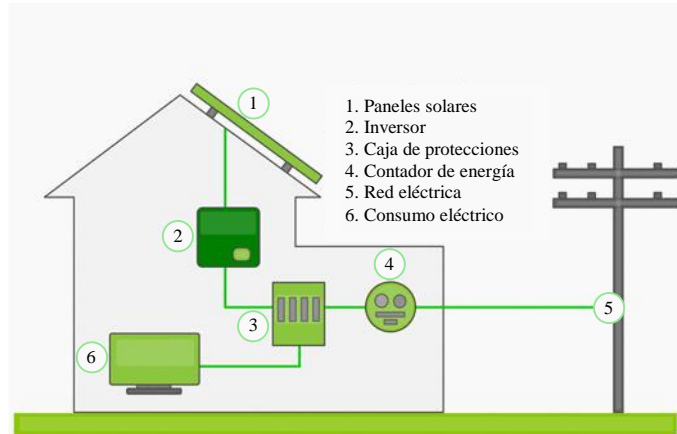


Figura 12. Sistema fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: [16].

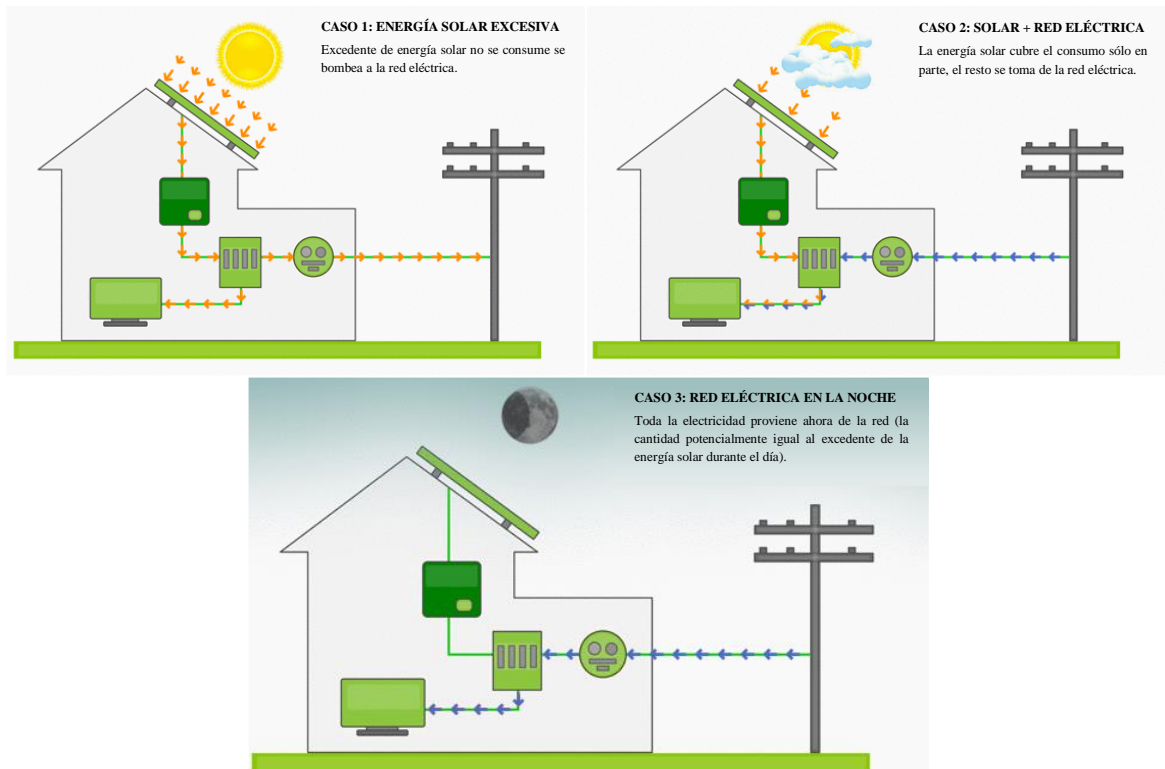


Figura 13. Funcionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: [16].

8.1.3.1. Equipos necesarios

8.1.3.1.1. Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo, existiendo módulos solares de 36 y 72 células, de 12 y 24v respectivamente, los cuales generan la electricidad a partir de la energía del Sol en corriente

continua por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, debido al envejecimiento se produce una disminución de la potencia máxima generada que la mayoría de los fabricantes indican en sus hojas de datos donde suelen garantizar un valor del 90 % de la potencia durante los primeros 10 años y de un 80 % de potencia durante 25 años [4], [17], [18].

8.1.3.1.2. Inversor de conexión a la red

Para transformar la electricidad producida por un panel solar (corriente continua) en electricidad con las mismas características que la de la red eléctrica (corriente alterna a 120-220 voltios y frecuencia de 60 Hz), se necesita un inversor para sistemas fotovoltaicos conectados a la red y no puede funcionar de forma aislada (modo isla). Son inversores con salida monofásica o trifásica con potencias que van desde 1 kW hasta las centenas de kW, instalados entre el generador fotovoltaico y el punto de conexión a la red [1], [4], [18].

La etapa de potencia del inversor presenta una configuración en puente monofásico, utilizando como semiconductores de potencia transistores MOSFET. Para generar una senoidal pura o perfecta es mediante la técnica de modulación de ancho de pulsos PWM y además cuenta con un adaptador eléctrico conocido como seguidor del punto máximo de potencia (MPPT) que hace trabajar al generador fotovoltaico en la zona de su curva característica donde entrega la máxima potencia, independientemente de la carga conectada al generador [4], [19].

8.1.3.1.2.1. Características de los inversores conectados a la red

Deben tener las siguientes funciones y características:

- Seguimiento del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. El inversor tiene que llevar un seguidor MPP [4].
- Sistema de vigilancia y desconexión de la red. Si el tramo de la red de distribución eléctrica a la que está conectado el inversor queda fuera de servicio, por ejemplo, para la realización de tareas de mantenimiento o por una avería, el inversor debe desconectarse automáticamente de la red para evitar lo que se conoce como funcionamiento en modo isla [4].
- Estarán protegidos frente a las siguientes situaciones [4]:
 - Cortocircuito en alterna [4].
 - Tensión y frecuencia de red fuera de rango [4].

- Sobretensiones, mediante varistores o similares [4].
- Perturbaciones presentes en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc. [4].
- El autoconsumo del inversor en modo nocturno debe ser inferior al 0,5 % de su potencia nominal [4].
- Cuando la potencia proporcionada por el generador fotovoltaico sea menor que la necesaria para el autoconsumo del inversor, este se debe poner en modo de espera (stand-by) [4].
- Características eléctricas:
 - Se activan a potencias superiores al 10% y soportan picos de un 30% [1].
 - Rendimiento superior al 92% a partir del 50% de potencia nominal [1].
 - Grado de protección mínima IP20 para interior y lugares inaccesibles, IP30 para interior y lugares accesibles e IP65 para intemperie [1].

8.1.3.1.2.2. Parámetros para el dimensionamiento de los inversores conectados a la red

- Rango de tensiones de entrada del seguidor MPP del inversor ($V_{inv\ mín} - V_{inv\ máx}$).
Este rango debe abarcar los valores mínimo y máximo que puede proporcionar el sistema fotovoltaico en el punto de máxima potencia descritos para una temperatura de célula de 70 °C y -10 °C respectivamente ($V_{G\ mpp(70\ ^\circ C)}$ y $V_{G\ mpp(-10\ ^\circ C)}$). En los dos casos con una irradiancia de 1.000 W/m² [4].

$$V_{inv\ mín} \leq V_{G\ mpp(70\ ^\circ C)} \quad (3)$$

$$V_{inv\ máx} \geq V_{G\ mpp(-10\ ^\circ C)} \quad (4)$$

- Tensión máxima ($V_{máx\ vacío}$).
El inversor debe soportar el voltaje máximo que puede producir el sistema fotovoltaico en circuito abierto con una temperatura de célula de -10 °C y una irradiancia de 1.000 W/m² [4].

$$V_{máx\ vacío} \geq V_{G\ oc(-10\ ^\circ C)} \quad (5)$$

- Intensidad máxima ($I_{inv\ máx}$).
El inversor debe soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico a una temperatura de célula de 70 °C y una irradiancia de 1.000 W/m² [4].

$$I_{inv\ máx} \geq I_{G\ sc(70\ ^\circ C)} \quad (6)$$

8.1.3.1.3. Contador bidireccional

El medidor bidireccional cuantifica la energía que se inyecta en la red (para su posterior remuneración) y mide el consumo del usuario en ausencia de radiación solar. El contador se ubica entre el inversor y la red de la Empresa Distribuidora [18].

8.1.3.2. Esquema de instalación de un SFVR

En la regulación No. 003/18 Arconel se establece que un proyecto de hasta 100kW debe conectarse con las redes de bajo o medio voltaje de la empresa de distribución, según el siguiente esquema [20]:

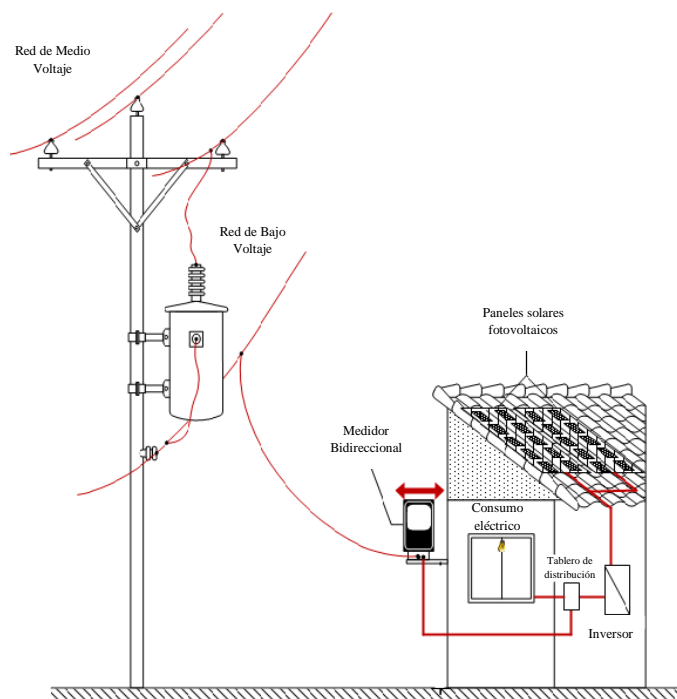


Figura 14. Esquema de instalación del μ SFV.

Fuente: [20].

Nota: Los consumidores cuyo funcionamiento sea únicamente para autoconsumo, no estarán sujetos a las condiciones establecidas de la regulación [20].

8.2. Características de las cargas

8.2.1. Demanda eléctrica

Es la potencia usada por el consumidor (variable en el tiempo). Dicho de otra manera, es la demanda media medida en las terminales receptoras, durante un periodo de tiempo determinado [21], [22].

La demanda se puede expresar en KVA, KW, KVAR. Es indispensable indicar el intervalo de tiempo, dicha variación crea una curva de carga [21].

8.2.2. Curva de demanda

Es la representación gráfica de la variación de la demanda en función del tiempo (pueden ser diario, semanal, mensual, anual) [23]. En la figura 15 se muestra una curva de demanda diaria.

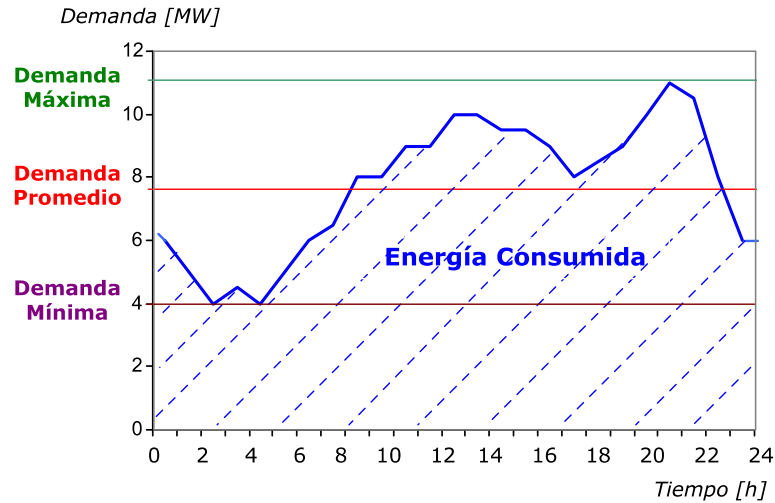


Figura 15. Curva de demanda diaria.

Fuente: [24].

8.2.3. Demanda promedio (D_p)

Es una demanda constante en el periodo de tiempo especificado [21]. Se calcula con la siguiente expresión:

$$D_p = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo } T \text{ (kWh)}}{\text{Tiempo (h)}} \quad (7)$$

$$\text{Energía} = \sum ((\text{Tiempo [h]} \times (\text{Potencia [W]}))) \quad (8)$$

8.2.4. Demanda máxima (DM)

Es el máximo consumo registrado de un sistema en un determinado periodo de tiempo. Se puede encontrar la carga máxima en intervalos ya sea de 15 minutos, 30 minutos o 1 hora dependiendo del objetivo que se persiga [22].

8.2.5. Factor de planta (F_{PL})

El factor de planta da una indicación del uso promedio del equipo o instalación y es normalmente utilizado en estudios de generación [21].

$$F_{PL} = \frac{\text{Generación real anual}}{\text{Potencia nominal máxima planta}} = \frac{\text{Generación de energía anual real}}{\text{Potencia nominal máxima planta} \times 8760} \quad (9)$$

8.3. Metodología para el dimensionamiento del SFCR

8.3.1. Cálculo del generador fotovoltaico

En una instalación fotovoltaica se considera un 10-20% superior de la potencia nominal a satisfacer, debido a pérdidas por inclinación, en el cableado, inversor, etc. [25], [8].

$$P_{GFV} = (P_{nominal})(\mathcal{G})[kW] \quad (10)$$

Donde:

P_{GFV} : Potencia del generador fotovoltaico.

$P_{nominal}$: Potencia nominal instalada.

\mathcal{G} : porcentaje comprendido entre un 10 – 20%.

8.3.1.1. Determinación del número de inversores y paneles fotovoltaicos

$$n^{\circ} \text{ de inversores} = \frac{P_{GFV}}{P_{inv}} \quad (11)$$

$$n^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos} = \frac{P_{GFV}}{P_{nominal PFV}} \quad (12)$$

$$P_{pico} = (n^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos})(P_{nominal PFV}) \quad (13)$$

Donde:

P_{inv} : Potencia nominal a la salida del inversor (kW).

P_{GFV} : Potencia nominal del panel fotovoltaico (W).

P_{pico} : Potencia pico del generador fotovoltaico (kW).

8.3.1.2. Arreglo de los paneles fotovoltaicos

Como se vio en el apartado 8.1.3.1.2.2, deben obtenerse los arreglos de los módulos fotovoltaicos, garantizando el voltaje y corriente necesaria a la entrada del inversor.

8.3.1.2.1. Cálculo de los parámetros del panel fotovoltaico en el rango de temperaturas - 10 °C y 70 °C

- Valor mínimo del rango.

$$V_{mpp(70^{\circ}C)} = V_{mpp} + \beta(T - 25) \quad (14)$$

- Valor máximo del rango.

$$V_{mpp(-10^{\circ}\text{C})} = V_{mpp} + \beta(T - 25) \quad (15)$$

- Voltaje máximo en vacío del módulo fotovoltaico.

$$V_{oc(-10^{\circ}\text{C})} = V_{oc} + \beta(T - 25) \quad (16)$$

- Corriente máxima del panel fotovoltaico.

$$I_{sc(70^{\circ}\text{C})} = I_{sc} + \alpha(T - 25) \quad (17)$$

Donde:

V_{mpp} : Voltaje pico del módulo fotovoltaico (V).

β : Coeficiente de temperatura de V_{oc} (mV/°C).

T : Temperatura de célula de -10 °C y 70 °C respectivamente.

V_{oc} : Voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico (V).

I_{sc} : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico (A).

α : Coeficiente de temperatura de I_{sc} (mA/°C).

8.3.1.2.2. Módulos fotovoltaicos en posición vertical y horizontal

- Número mínimo de paneles en serie (N_s).

$$N_s \geq \frac{V_{inv\ mín}}{V_{mpp(70^{\circ}\text{C})}} \quad (18)$$

- Número máximo de paneles en serie.

$$N_s \leq \frac{V_{inv\ máx}}{V_{mpp(-10^{\circ}\text{C})}} \quad (19)$$

- Número máximo de paneles en paralelo (N_p).

$$N_p \leq \frac{I_{inv\ máx}}{I_{sc(70^{\circ}\text{C})}} \quad (20)$$

8.3.2. Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija que garantiza la máxima captación de energía anual, se utiliza una fórmula que resulta del análisis de los cálculos de la irradiación solar global para distintas inclinaciones en diferentes latitudes [3], [26].

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| \quad (21)$$

Donde:

β_{opt} : ángulo de inclinación óptima (grados).

$|\phi|$: latitud del lugar (grados decimales).

No obstante, es necesario que la inclinación del módulo fotovoltaico no sea menor de 15° , para permitir que la suciedad acumulada sobre su superficie sea retirada por el agua de lluvia [3], [26].

La pérdida por inclinación se puede calcular con la siguiente expresión [4]:

$$Pérdidas(\%) = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \phi + 10)^2 \right]; \text{ para } \beta \leq 15^\circ \quad (22)$$

Donde:

β : inclinación del generador fotovoltaico (grados).

$|\phi|$: latitud del lugar (grados decimales).

La orientación siempre debe ser hacia el sur porque es la única en la que el aprovechamiento anual de la radiación será máximo, por ello, determinar el sur geográfico resulta muy importante [27], [28].

Una forma precisa para localizar el sur geográfico, sería clavar una varilla en el suelo y esperar que el sol se encuentre en el zenit, lo cual sucede a las 12 horas solar [8].

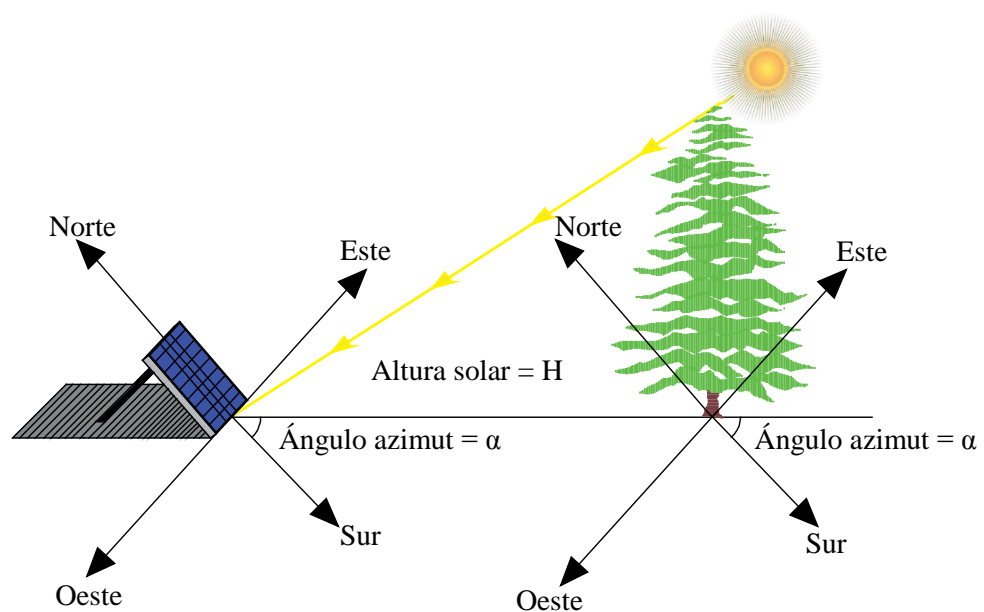


Figura 16. Posición de la instalación de los paneles fotovoltaicos con ángulo azimut = α .

Fuente: [8].

Otra forma es:

- Por la mañana de 2 o 3 horas antes del mediodía solar, colocar una varilla vertical en el suelo, medir su sombra y hacer una señal [27], [28].
- Hacer un círculo con la medida de la sombra en el suelo [27], [28].
- Por la tarde, cuando la sombra tenga otra vez la medida del círculo, hacer otra señal [27], [28].
- La recta que une ambas señales, mirando hacia la varilla, está orientada al sur geográfico [27], [28].

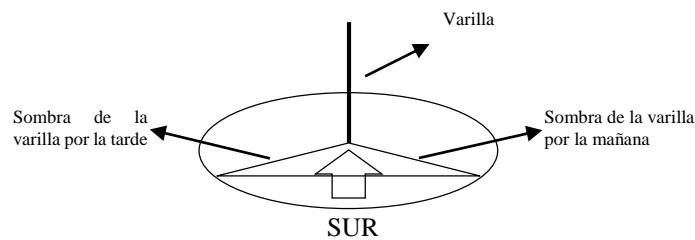


Figura 17. Determinación del sur geográfico.

Fuente: [28].

De esta manera, se puede comprobar que el sur geográfico no coincide con el sur magnético de la brújula [27], [28].

8.3.3. Distancia entre filas de paneles

En una instalación fotovoltaica si no se deja la distancia suficiente entre filas se produce el sombreado de las filas posteriores por las delanteras. Es necesario dejar ésta separación mínima para garantizar un mínimo de cuatro horas de sol entorno al mediodía del solsticio de invierno [4], [29], [30].

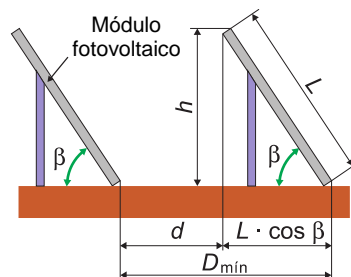


Figura 18. Distancia mínima entre filas de paneles instalados en el mismo plano.

Fuente: [4].

La altura proyectada sobre la vertical de una fila se calcula a partir del ángulo de inclinación y la longitud del módulo (figura 18):

$$h = L \cdot \text{sen}(\beta) \quad (23)$$

La distancia mínima entre la parte superior de una fila y la parte inferior de la siguiente:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61^\circ - \phi)} \quad (24)$$

La distancia mínima entre la parte inferior de las filas de módulos, que es un parámetro de instalación más práctico, se calcula con la siguiente expresión:

$$D_{\min} = d + L \cdot \cos(\beta) \quad (25)$$

Donde:

h : altura proyectada sobre la vertical de un módulo (m).

L : longitud del módulo (m).

β : inclinación del módulo ($^\circ$).

d : distancia mínima (m).

ϕ : latitud del lugar ($^\circ$).

D_{\min} : distancia mínima entre filas de módulos (m).

8.3.4. Cálculo del cableado

Para el cálculo de la sección del conductor, se considera tramos de línea característicos de una instalación fotovoltaico conectada a la red (figura 19) [4].

- Tramo 1: conexionado de los módulos.
- Tramo 2: conexionado del generador fotovoltaico al inversor.
- Tramo 3: conexionado del inversor a la caja o cuadro de protecciones y medida.

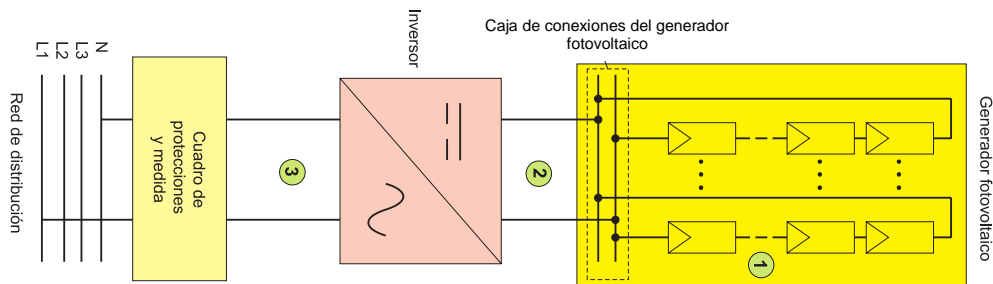


Figura 19. Tramos de línea en un SFCR (no se indican los dispositivos de maniobra y protección).

Fuente: [4].

En todos los tramos, los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima intensidad del generador y la caída de voltaje entre el generador y el punto de conexión a la red de distribución o a la instalación interior, no será superior al 1,5 % [4].

$$I_n = 1,25(I_{sc}) \quad (26)$$

$$V_{Gmpp} = N_s \times V_{mpp} \quad (27)$$

$$I_{invca} = \frac{\sum P_{ninv}}{\sqrt{3} \times V_{nca} \times \cos \varphi} \quad (28)$$

$$S = \frac{200 \cdot I_n \cdot l \cdot \cos \varphi^{(1)}}{\Delta V_{\%} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} \text{ para línea monofásica y c.c.} \quad (29)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_n \cdot l \cdot \cos \varphi}{\Delta V_{\%} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} \quad (30)$$

Donde:

I_n : corriente en cada tramo de conexión del sistema fotovoltaico (A).

V_{Gmpp} : voltaje pico del generador fotovoltaico en la rama (V).

I_{invca} : intensidad nominal a la salida de los inversores (A).

P_{ninv} : potencia nominal de cada inversor (kW).

V_{nca} : voltaje nominal del sistema en corriente alterna (V).

$\cos \varphi$: factor de potencia de la carga al final de la línea.

S: sección del conductor (mm^2).

l: longitud de la línea (m).

$\Delta V_{\%}$: caída de voltaje máxima permitido en porcentaje de la tensión de la línea (%).

V: voltaje de la línea (V).

γ_{θ} : conductividad del conductor a la temperatura de servicio θ prevista ($\text{s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$).

⁽¹⁾ En los circuitos de c.c. se utilizan las fórmulas de monofásica sin el término $\cos(\varphi)$ [4].

⁽²⁾ La conductividad del conductor se debe a tomar a la temperatura de servicio del cable que, para el caso habitual de aislamiento termoplástico, a 90 °C es $\gamma_{90} = 45 \text{ s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ y con 75 °C, $\gamma_{75} = 47 \text{ s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ [4], [31], [32], [33].

Los conductores de una canalización eléctrica se identificarán según el siguiente código de colores [34], [35]:

- Alimentadores eléctricos.
 - Conductor de la fase 1 azul.
 - Conductor de la fase 2 negro.

- Conductor de la fase 3 rojo.
- Conductor de neutro blanco.
- Conductor de tierra verde.
- Instalaciones interiores.
 - Conductor de fase azul, negro o rojo.
 - Conductor de neutro blanco.
 - Conductor de tierra verde.
 - Conductor de retorno cualquier otro color.
- Sistemas de corriente continua.
 - Conductor positivo rojo.
 - Conductor negativo negro.

“Para secciones superiores a No. 4 AWG (21.2 mm²) si el mercado nacional sólo ofreciera conductores con aislamiento de color negro, se deberán marcar los conductores cada 10 m, con un tipo de pintura de buena adherencia al aislamiento u otro método que garantice la permanencia en el tiempo de la marca, respetando el código de colores establecido” [31].

8.3.5. Aparatos de maniobra y protección

8.3.5.1. Interruptor termomagnético para cada rama del generador fotovoltaico

Estos interruptores termomagnéticos deben ser específicos para corriente continua [4].

$$I_n \geq 1,25I_{sc} \quad (31)$$

$$V_{soc} = N_s \cdot V_{oc} \quad (32)$$

$$V_n \geq V_{soc} \quad (33)$$

Donde:

I_n : corriente nominal del interruptor termomagnético (A).

I_{sc} : corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico (A).

V_{oc} : voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico (V).

V_{soc} : voltaje de circuito abierto del generador fotovoltaico en la rama (V).

V_n : voltaje nominal del interruptor termomagnético (V).

8.3.5.2. Protección de sobrevoltajes

La protección contra los sobrevoltajes que pueden presentarse en el sistema fotovoltaico por descargas atmosféricas se instalan en la caja de conexiones del generador, conectados entre el positivo, negativo y la toma de tierra (figura 20) [4].

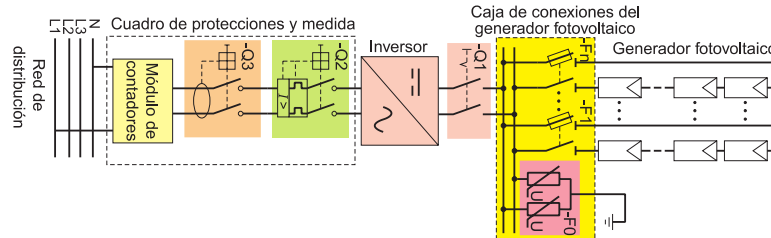


Figura 20. Esquema de protecciones en un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: [4].

$$V_n \geq 1,2 \cdot V_{s oc} \quad (34)$$

Donde:

V_n : voltaje nominal de empleo del limitador de sobrevoltajes (V).

8.3.5.3. Fusibles de los paneles fotovoltaicos

La protección por fusible de las series de paneles fotovoltaicos debe cumplir lo siguiente:

$$I_N > 1,8 \times I_{sc} \quad (35)$$

$$I_N < 2,4 \times I_{sc} \quad (36)$$

$$V_N \geq \text{Máximo voltaje de entrada en el inversor} \quad (37)$$

Donde:

I_N : Corriente nominal del fusible (A).

V_N : Voltaje nominal del fusible (V).

8.3.5.4. Protecciones del inversor

El inversor debe tener a su salida protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos (interruptores termomagnéticos) y frente a contactos directos e indirectos (interruptor diferencial) [4], [35].

$$I_n \geq 1,25 I_{inv} \quad (38)$$

$$V_n = V_{n ca} \quad (39)$$

Donde:

I_n : corriente nominal del interruptor termomagnético (A).

I_{inv} : intensidad nominal a la salida del inversor (A).

V_n : voltaje nominal del interruptor termomagnético (V).

$V_{n\ ca}$: voltaje nominal del sistema en corriente alterna (V).

8.3.6. Cálculo de la energía anual producida

La energía suministrada por un sistema fotovoltaico durante un día, se calcular con la siguiente ecuación [4]:

$$E_d = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{Gmáx} \cdot PR}{G_{GEM}} \quad (40)$$

Durante un año, la energía puede obtenerse de forma aproximada con la expresión:

$$E_a = E_d \times 365 \quad (41)$$

Donde:

E_d : Energía diaria producida (kWh/día).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador (kWh/(m² · día)).

$P_{Gmáx}$: Potencia máxima o pico del generador fotovoltaico (kW).

PR : Rendimiento energético de la instalación, expresado en tanto por uno. Valores típicos: 0,65 – 0,8.

G_{GEM} : Irradiancia en condiciones estándar de medida (1 kW/m² constante).

E_a : Energía anual producida (kWh/año).

8.3.7. Disminución de emisiones de CO₂

Para el cálculo de emisiones es conveniente usar el factor de CO₂ Ex Ante, debido a que estima las toneladas de dióxido de carbono que no son expulsadas a la atmósfera antes de la implementación de un proyecto [36].

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = (EF_{grid,CM})(E_a) \quad (42)$$

Donde:

$EF_{grid,CM}$: Factor de emisión de CO₂ Ex ante (0,6071 para proyectos solares) (t CO₂/MWh).

8.4. Piranómetro Apogee MP-200

Los piranómetros son instrumentos que miden la radiación global que llega a la superficie de la Tierra, medida en vatios por metro cuadrado [1], [37].

El medidor MP-200 (figura 21) tiene la capacidad de registrar y almacenar hasta 99 datos manualmente. En el modo automático, las mediciones se realizan cada 30 segundos y los promedios son almacenados cada 30 minutos [37].



Figura 21. Piranómetro Apogee MP-200.

Fuente: [37].

Un piranómetro ideal mide todo el espectro solar, de 280 a 2800 nanómetros (nm). Sin embargo, aproximadamente el 90% de la energía solar está entre 300 y 1100 nm. El modelo MP-200 están calibrados para estimar toda la energía de onda corta de la luz solar [37].

8.5. Analizador de redes Fluke 435 series II

El analizador de redes (figura 22) es un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltaje, potencia, armónicos, en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, espectros de armónicos, etc. [38]. Además, monetiza el costo del gasto energético producido por una baja calidad eléctrica [39].



Figura 22. Analizador de energía y calidad eléctrica 435 series II Fluke.

Fuente: [39].

8.5.1. Conexiones de entrada

El analizador tiene 4 entradas BNC para pinzas amperimétricas y 5 entradas tipo banana para tensiones [40]. En un sistema trifásico, las conexiones se realizan tal como muestra la figura 23.

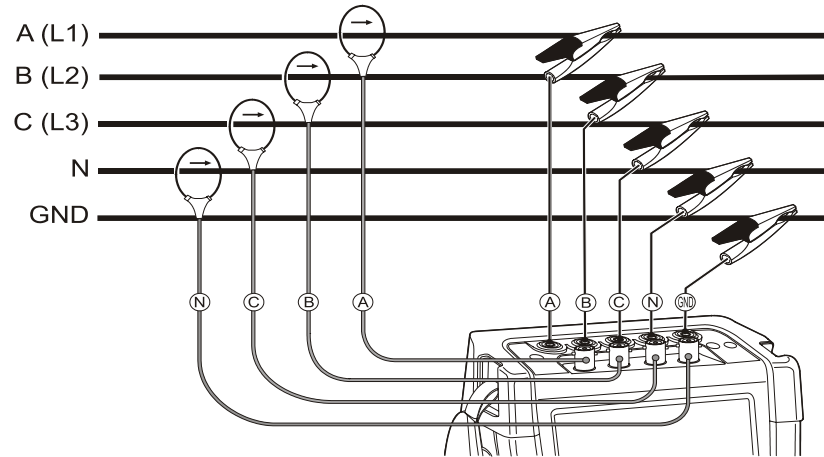


Figura 23. Conexión del analizador Fluke 435 en un sistema de distribución trifásico.

Fuente: [40].

9. HIPÓTESIS

Mediante el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red orientado al autoconsumo, será posible disminuir la energía facturada por la empresa eléctrica del bloque B de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

10. METODOLOGÍAS

10.1. Modalidad de investigación

Con el propósito de conocer en profundidad y detalle las implicaciones tanto técnicas como económicas presentes en un sistema fotovoltaico conectado a la red, el proyecto enmarcó una investigación cuantitativa al describir la solución de un problema puntual, el cual es la reducción del consumo energético facturado por la empresa eléctrica, mediante el aprovechamiento de la radiación que dispone la azotea del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Por tanto, se desarrolló un análisis de los componentes necesarios en la generación de energía alternativa.

10.2. Tipo de investigación

Los tipos de investigación utilizados son: documental, descriptiva y campo, debido a que se necesitó varios análisis relacionados con los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, fuentes de consultas de textos y recopilación de datos.

10.2.1. Investigación documental

En el transcurso del presente estudio, se requirió una investigación documental, que constituye el mecanismo dirigido a recolectar información, la cual permite obtener nuevos conocimientos sobre cada componente de un sistema fotovoltaico conectado a la red, basada en referencias bibliográficas como artículos, revistas, libros, tesis, monografías, publicaciones, etc.

10.2.2. Investigación descriptiva

Esta investigación describió la correlación que existe entre niveles de radiación y consumo energético del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi en diferentes horas del día. Además, permitió interpretar los resultados obtenidos de cálculos, así como de mediciones realizadas con el flexómetro, piranómetro MP-200 y analizador de redes Fluke 435.

10.2.3. Investigación de campo

Para cumplir con el objetivo general del estudio, fue necesario emplear la investigación de campo, pues permitió recolectar datos de la radiación solar existente en la azotea del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante el piranómetro MP-200. También, al usar un flexómetro se pudo tomar las medidas del área disponible en la solana y a través del analizador de redes Fluke 435 determinar las variaciones de consumo durante el día que presenta dicho edificio.

10.3. Métodos de investigación

El proyecto fue no experimental, ya que se analizó una causa real, como es la incidencia de la radiación solar en el sitio de estudio y determinación de un sistema fotovoltaico conforme al área disponible, para disminuir el consumo energético facturado por la empresa distribuidora, a fin de reducir el costo de la planilla eléctrica.

10.3.1. Método deductivo

Se lo empleó para deducir los conocimientos obtenidos de fuentes bibliográficas, y aplicarlos en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red.

10.3.2. Método analítico

Este método permitió analizar las mediciones obtenidas con el instrumento Fluke 435 series II en el tablero principal del bloque B, para obtener la curva de demanda diaria durante una semana.

10.3.3. Método sintético

Se utilizó este método con el fin de sintetizar los resultados del análisis, en el dimensionamiento de cada componente del sistema fotovoltaico conectado a la red, para reducir el consumo energético facturado por la empresa eléctrica.

10.3.4. Método estadístico

El método se lo empleó para tabular y representar gráficamente los resultados obtenidos de las diferentes mediciones al igual que los cálculos del presente proyecto, a fin de demostrar visualmente la reducción del consumo energético proveniente de la red, así como el pago por demanda energética.

10.4. Técnicas e instrumentos de investigación

La recolección de los datos para el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi se tabuló en Excel, y los planos fueron creados en AutoCAD 2017.

10.4.1. Lectura comprensiva

La lectura comprensiva estuvo presente en todo el proyecto investigativo, ya que el análisis de la información fue comparado con la teoría de diferentes autores, a fin de obtener una idea común para lograr la culminación del proyecto.

10.4.2. Interpretación de información

Se utilizó esta técnica ya que el análisis e interpretación de la información del proyecto, parte de una base teórica bien fundamentada para no tener inconvenientes en el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red. Además, permitió comprender de mejor manera los resultados obtenidos de las diferentes mediciones realizadas a lo largo de la presente investigación.

10.4.3. Sintetización de información

Esta técnica se empleó porque la información obtenida en fuentes bibliográficas son la base para efectuar un análisis que brinde el mejor desempeño de la investigación como sustento contextual, además resalta los aspectos más sobresalientes con la finalidad de fundamentar una teoría verídica y útil.

10.4.4. Observación

Para registrar los parámetros obtenidos de las mediciones realizadas, fue necesario emplear la observación en cada etapa del proyecto, la cual ayudó a ejecutar las respectivas tabulaciones y cálculos de energía que se puede aprovechar en el lugar de estudio.

10.4.5. Medición

La técnica proporcionó información del área disponible en la azotea del bloque B de la UTC, los niveles de radiación durante un año de 07:00 am a 8:00 pm, al igual que, las variaciones de consumo de energía existentes en el edificio de la facultada de CIYA, mediante el empleo de instrumentos y dispositivos como: el flexómetro, piranómetro MP-200 y analizador de redes Fluke 435 II. Con estas mediciones se obtuvieron datos fiables, las cuales permitieron dimensionar de manera correcta el sistema fotovoltaico conectado a la red.

10.4.6. Cálculo

El cálculo del dimensionamiento es fundamental, porque a través de los parámetros obtenidos, se pudo conocer la superficie disponible en la azotea del bloque B de la UTC, número de paneles e inversores, generación eléctrica proveniente de la instalación fotovoltaica, máxima potencia del sistema durante un día promedio, reducción de emisiones de CO₂ y rentabilidad del proyecto.

10.5. Operacionalización de variables

Tabla 3. Variable independiente: Sistema fotovoltaico conectado a la red.

Concepto	Indicadores	Unidades	Técnicas e instrumentos
Sistema fotovoltaico que inyecta energía a la línea eléctrica. Este tipo de instalación cuenta con un inversor de conexión a la red, medidor bidireccional y no necesita baterías.	Radiación	kWh/m ²	Piranómetro y Excel.
	Área	m ²	Flexómetro
	Número de paneles	Unidad	Cálculo
	Inversor	W	Cálculo
	Planos	---	AutoCAD

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Tabla 4. Variable dependiente: Consumo energético.

Concepto	Indicadores	Unidades	Técnicas e instrumentos
Cantidad de energía eléctrica recibida por el suscriptor (cliente) en un determinado período de tiempo.	Curva de Carga	W; h	Excel y Fluke 435
	Energía	kWh	Excel
	Costo de energía	\$	Cálculo

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1. Ubicación geográfica

El presente proyecto de investigación se realiza dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, localizada en la Avenida Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi; específicamente sobre la azotea del Bloque B (figura 24, 25, 26), que con la ayuda del programa Google Earth se obtienen las siguientes coordenadas (tabla 5):

Tabla 5. Localización de la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Coordenadas				Altitud (m)
Grados Decimales (DD)		Grados, Minutos, Segundos (DMS)		
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
0.917342° S	78.633058° O	0°55'02.4312" S	78°37'59.0088" O	2790

Fuente: [41].



Figura 24. Localización geográfica de la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: [41].



Figura 25. Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.



Figura 26. Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.2. Determinación del potencial solar de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Las mediciones de radiación global solar se las recolectó con el instrumento descrito en el apartado 8.4, desde el mes de mayo del 2018 hasta abril del 2019 de 7:00 am a 8:00 pm en periodos de 30 minutos. Los datos fueron tabulados y representados gráficamente mediante el uso de histogramas de frecuencia. La tabla 6 muestra los valores de irradiancia sobre la azotea del Bloque B de la UTC en el mes de febrero del 2019.

Tabla 6. Irradiancia global diaria del mes de febrero del 2019 sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019															
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Latitud: 0.917342° S Unidades: W/m ²															
No.	Fecha	01/02/2019	02/02/2019	03/02/2019	04/02/2019	05/02/2019	06/02/2019	07/02/2019	08/02/2019	09/02/2019	10/02/2019	11/02/2019	12/02/2019	13/02/2019	14/02/2019
	Hora														
1	7:00	0	1	0	0	0	1	2	2	1	1	0	0	0	1
2	7:30	18	16	13	9	7	7	21	23	18	15	17	16	7	19
3	8:00	57	61	50	28	39	45	36	49	69	41	57	42	62	59
4	8:30	87	148	102	30	169	114	147	121	111	107	178	98	68	99
5	9:00	98	288	117	60	247	195	156	284	232	239	311	275	87	140
6	9:30	152	461	252	117	180	277	227	421	435	404	282	227	154	155
7	10:00	231	323	347	144	330	242	360	446	499	413	371	252	338	223
8	10:30	294	451	343	285	475	315	438	507	466	479	334	388	368	273
9	11:00	413	474	401	290	760	455	692	601	769	478	469	658	509	492
10	11:30	389	510	409	556	883	659	564	750	522	416	500	621	593	411
11	12:00	568	462	455	842	925	530	498	706	383	422	668	710	636	432
12	12:30	578	535	390	592	857	382	348	737	541	429	612	896	944	524
13	13:00	459	601	451	639	986	421	422	829	349	451	380	618	1101	400
14	13:30	625	549	485	630	800	479	337	510	417	472	380	575	761	477
15	14:00	473	602	774	551	788	672	231	903	468	543	536	969	860	493
16	14:30	435	574	356	625	974	674	218	919	826	346	488	919	652	501
17	15:00	431	857	399	550	590	526	267	830	506	430	416	904	676	588
18	15:30	413	786	429	421	937	516	249	812	378	313	374	869	694	475
19	16:00	631	617	422	604	831	488	175	720	301	247	440	459	474	457
20	16:30	660	565	428	353	389	452	103	598	253	206	626	452	517	262

IRRADIANCIA GLOBAL DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019															
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi Latitud: 0.917342° S Unidades: W/m ²															
No.	Fecha	01/02/2019	02/02/2019	03/02/2019	04/02/2019	05/02/2019	06/02/2019	07/02/2019	08/02/2019	09/02/2019	10/02/2019	11/02/2019	12/02/2019	13/02/2019	14/02/2019
	Hora														
21	17:00	426	483	253	322	235	216	86	623	169	112	267	412	358	249
22	17:30	173	326	161	204	171	200	65	241	121	98	236	410	299	321
23	18:00	153	153	118	117	122	98	26	97	34	79	136	212	143	341
24	18:30	29	44	73	79	71	129	35	34	26	54	69	41	69	97
25	19:00	7	17	33	29	27	50	8	8	9	17	36	18	32	21
26	19:30	0	2	2	3	1	3	0	0	1	1	3	1	3	4
27	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No.	Fecha	15/02/2019	16/02/2019	17/02/2019	18/02/2019	19/02/2019	20/02/2019	21/02/2019	22/02/2019	23/02/2019	24/02/2019	25/02/2019	26/02/2019	27/02/2019	28/02/2019
	Hora														
1	7:00	2	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	8	1	2
2	7:30	15	29	11	12	17	9	7	7	19	24	12	58	23	29
3	8:00	81	65	52	74	41	51	41	37	50	53	35	51	49	86
4	8:30	142	150	133	140	105	124	91	83	147	102	70	107	87	195
5	9:00	299	355	216	225	269	204	97	191	217	146	124	312	140	189
6	9:30	488	499	259	374	335	194	219	305	568	212	487	392	364	266
7	10:00	594	611	328	506	423	346	405	363	570	290	553	694	645	509
8	10:30	697	705	513	623	616	329	644	390	640	466	557	679	612	610
9	11:00	782	788	623	772	714	397	518	427	775	621	814	847	769	930
10	11:30	851	861	799	512	677	318	401	478	528	584	982	951	963	502
11	12:00	895	891	945	569	594	335	302	547	533	1019	1032	992	976	740
12	12:30	935	951	965	489	464	405	679	317	509	466	860	1010	913	681
13	13:00	1021	903	999	359	524	409	724	463	429	337	620	1000	761	661
14	13:30	944	1011	814	488	647	312	417	609	754	424	1060	994	1012	929
15	14:00	959	975	961	488	660	736	499	371	807	376	920	931	864	901
16	14:30	955	1005	880	565	1013	519	481	452	939	218	318	836	675	928
17	15:00	848	911	863	579	943	436	485	307	879	195	322	787	649	880
18	15:30	366	801	786	606	886	435	295	225	802	28	229	636	574	800
19	16:00	301	589	689	549	723	426	340	262	727	42	222	157	342	715
20	16:30	209	354	614	606	465	382	358	290	654	54	251	239	308	468
21	17:00	150	306	497	457	122	273	253	191	525	60	244	189	279	286
22	17:30	34	191	387	327	81	351	356	141	239	36	76	111	165	142
23	18:00	19	242	212	294	42	313	251	57	108	27	22	60	114	88
24	18:30	32	114	140	67	11	123	71	37	68	14	22	109	52	42
25	19:00	10	20	39	28	4	19	25	9	18	6	15	15	3	10
26	19:30	2	1	1	2	0	1	1	1	0	1	3	0	0	2
27	20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.2.1. Análisis estadístico de la irradiancia media diaria en el mes de febrero

Con los datos tabulados se pudo obtener los parámetros necesarios para crear los histogramas, como son: el valor mínimo, máximo, rango, número de intervalos, amplitud, intervalos de clase, frecuencias y punto medio.

11.2.1.1. Distribución de frecuencia

De acuerdo a las referencias [42], [43], [44] para establecer los intervalos de clase es necesario en primera instancia determinar el rango (R). Por ello, se localiza en la tabla 6 el valor máximo y mínimo a las 10:30 am.

$$R = (\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}) \quad (43)$$

$$R = (705 - 273) = 432$$

Luego se calcula el número de intervalos (N_c) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Número de clases} \approx \sqrt{n} \quad (44)$$

Donde “n” es el número de datos.

$$N_c \approx \sqrt{28} = 5,29 \approx 6$$

A continuación, se obtiene la amplitud o tamaño de los intervalos de clase (T_c):

$$T_c \approx \frac{R}{N_c} \quad (45)$$

$$T_c \approx \frac{432}{6} = 72$$

Seguidamente, se determina los límites de clase inferior (L_i) y superior (L_s) para obtener el intervalo de clase.

$$L_i = L_i \quad (46)$$

$$L_i = 273$$

$$L_s = L_i + T_c \quad (47)$$

$$L_s = 273 + 72 = 345$$

Por lo tanto, el primer intervalo de clase obtenido es [273;345). El método se repite hasta conseguir los 6 intervalos.

Finalmente, se calcula el punto medio (X_i) con la ecuación 48. Los valores hallados pueden observarse en la tabla 7 y figura 27.

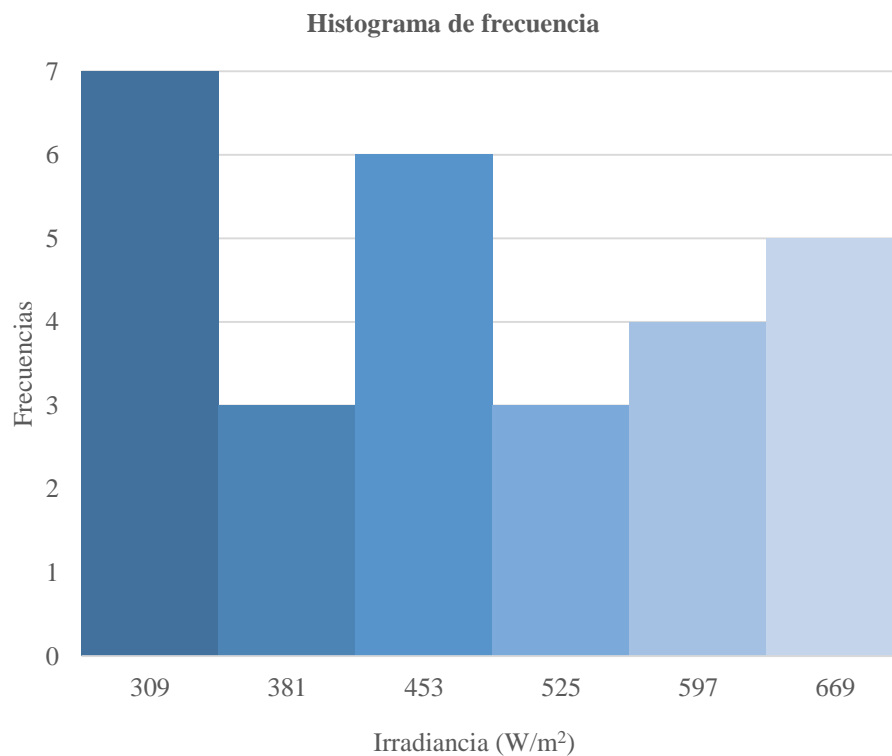
$$X_i = \frac{L_i + L_s}{2} \quad (48)$$

$$X_i = \frac{273 + 345}{2} = 309$$

Tabla 7. Frecuencias de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:30 am.

MES	FEBRERO	HORA	10:30 am
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f_i	F_i	X_i
[273;345)	7	7	309
[345;417)	3	10	381
[417;489)	6	16	453
[489;561)	3	19	525
[561;633)	4	23	597
[633;705]	5	28	669
Total	28		

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

**Figura 27.** Histograma de la irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:30 am.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

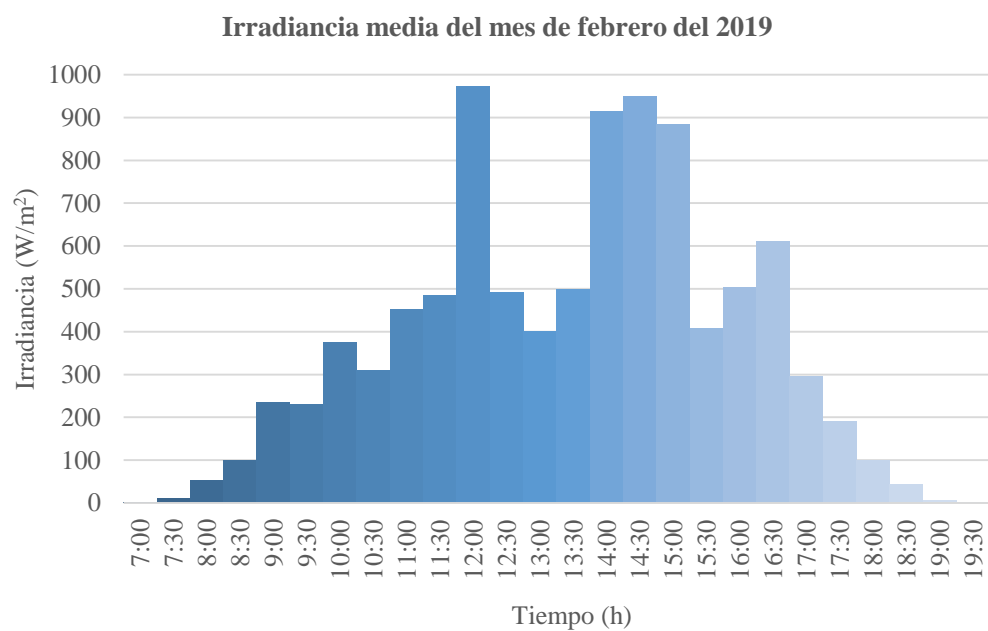
La distribución de frecuencia se repite para cada media hora del mes de febrero del 2019; los resultados pueden visualizarse de manera resumida desde el anexo 1 al 25. La tabla 8 recoge los valores de irradiancia promedio más representativos, es decir, el dato con mayor número de repeticiones de los intervalos de clase.

En la figura 28 se aprecia que la máxima radiación de 973 W/m² llega a obtenerse a las 12:00 pm.

Tabla 8. Irradiancia global media diaria representativa del mes de febrero del 2019.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019		
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi		Latitud: 0.917342° S
No.	Hora	Irradiancia global (W/m²)
1	7:00	1,00
2	7:30	11,50
3	8:00	53,00
4	8:30	100,00
5	9:00	235,00
6	9:30	231,00
7	10:00	374,00
8	10:30	309,00
9	11:00	450,50
10	11:30	484,50
11	12:00	973,00
12	12:30	491,00
13	13:00	401,00
14	13:30	499,50
15	14:00	913,00
16	14:30	949,50
17	15:00	882,50
18	15:30	408,00
19	16:00	504,00
20	16:30	609,50
21	17:00	295,00
22	17:30	191,50
23	18:00	100,00
24	18:30	44,00
25	19:00	7,00
26	19:30	1,50

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

**Figura 28.** Irradiancia global diaria representativa del mes de febrero del 2019 en intervalos de 30 minutos.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.2.2. Análisis estadístico de la radiación promedio diaria en cada mes del año

El procedimiento descrito en el apartado 11.2.1.1 se lo realizó en los meses comprendidos entre mayo-diciembre 2018 y enero-abril 2019. La tabla 9 muestra los resultados.

Tabla 9. Irradiancia global media diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA												
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi										Unidades: W/m ²		
Año	2018								2019			
Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Hora												
7:00	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,75	1,50
8:00	67,75	65,00	62,75	53,25	49,25	72,25	56,50	60,25	43,00	32,25	38,25	53,00
9:00	176,00	173,00	152,50	146,50	174,00	178,25	167,50	175,75	139,25	167,50	194,75	138,75
10:00	292,00	311,50	259,50	293,50	306,25	366,00	280,75	325,75	295,75	302,50	462,25	383,75
11:00	463,00	470,75	495,00	503,75	473,00	530,75	723,00	474,75	548,00	379,75	401,25	402,50
12:00	515,00	615,50	515,50	682,75	540,00	620,75	914,00	652,00	382,50	728,75	689,75	518,50
13:00	484,25	517,75	741,00	845,00	522,00	733,75	931,00	909,00	757,75	446,00	496,75	591,50
14:00	482,00	499,25	683,75	742,50	562,00	652,00	907,75	647,25	735,50	706,25	355,00	490,75
15:00	441,50	581,50	446,50	677,50	541,50	462,50	729,25	488,00	774,75	916,00	405,75	663,75
16:00	507,00	458,50	532,25	338,50	384,75	353,00	348,50	309,50	524,75	456,00	580,50	306,00
17:00	201,00	272,50	354,00	224,50	276,00	241,75	212,25	181,25	478,25	452,25	195,25	170,75
18:00	55,00	86,75	103,75	65,00	81,00	109,75	105,75	78,00	136,25	145,75	109,25	83,25
19:00	9,75	6,50	19,50	6,75	5,75	5,75	23,25	14,25	29,00	25,50	31,75	9,75
20:00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,75	0,25	0,50	0,75	0,00	0,25

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

A partir de estos datos, se obtiene la irradiación [kWh/(m² · día)] con la ecuación 49. Resultados visualizados en la tabla 10 y figura 29.

$$Irradiación = \sum \left((Tiempo [h]) \times (Irradiancia [W / m^2]) \right) \quad (49)$$

Tabla 10. Irradiación global promedio diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO DIARIA												
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi										Unidades: kWh/(m ² · día)		
2018								2019				Anual*
Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
3,70	4,06	4,37	4,58	3,92	4,33	5,40	4,32	4,85	4,76	3,96	3,81	4,34

* Valor promedio anual de la irradiación global diaria.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

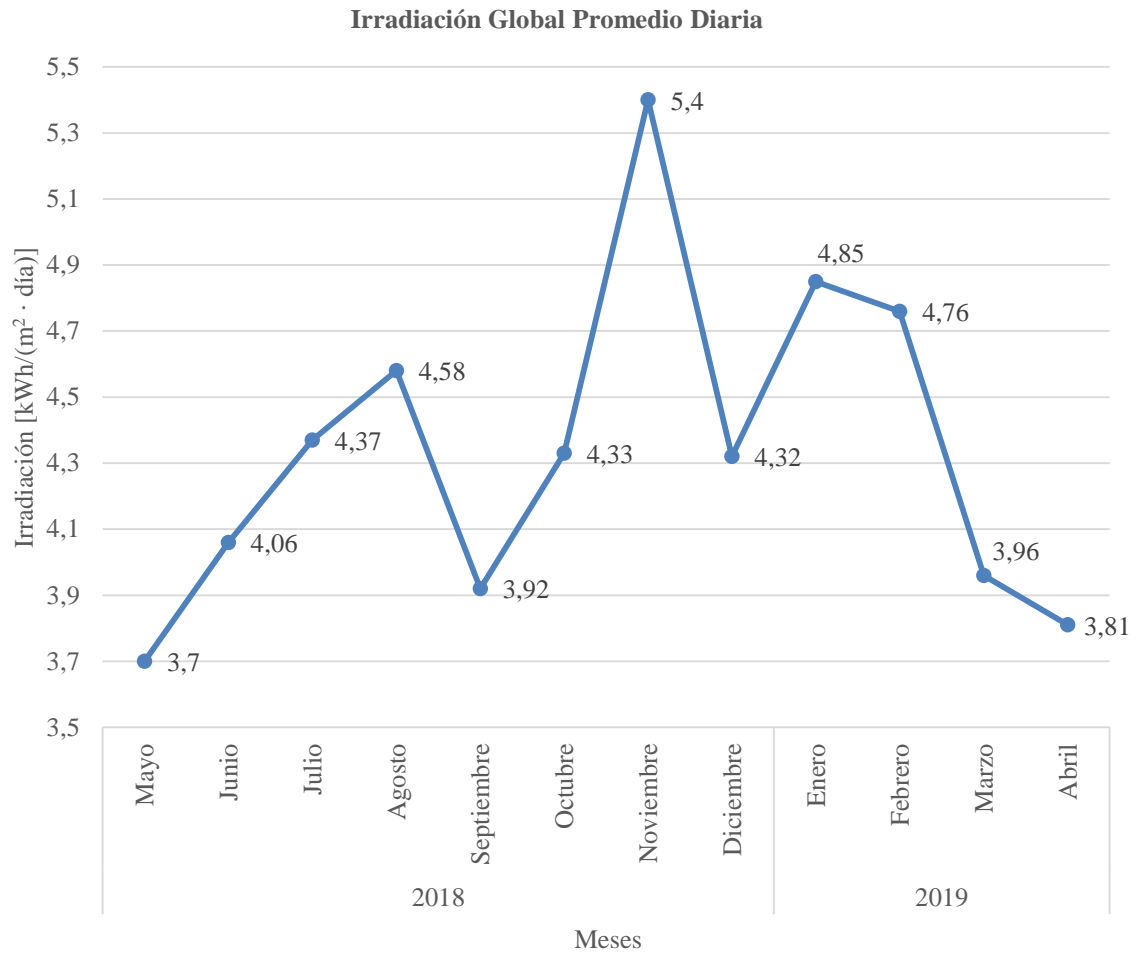


Figura 29. Curva de la irradiación global promedio diaria.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

De acuerdo a la tabla 10 y figura 29, noviembre tiene la mayor irradiación promedio, cuyo valor es de 5,4 kWh/(m² · día), sin embargo, mayo posee menor radiación con 3,7 kWh/(m² · día). Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red, se considera la insolación más elevada.

11.3. Demanda eléctrica del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Las mediciones de potencia del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi se las efectuó cada 10 minutos con el Analizador de redes Fluke 435 series II descrito en el apartado 8.5, desde el 19/04/2019 hasta el 07/05/2019, de acuerdo al procedimiento descrito en la Regulación No. ARCONEL 005/18 [45].

Se puede mencionar que el 19/04/2019, 01 y 03/05/2019, las actividades académicas fueron suspendidas al ser días festivos, por esta razón, no estuvieron incluidos en el análisis de la demanda, pues este comportamiento no es periódico, pero su gráfica y datos pueden observarse en el anexo 26.

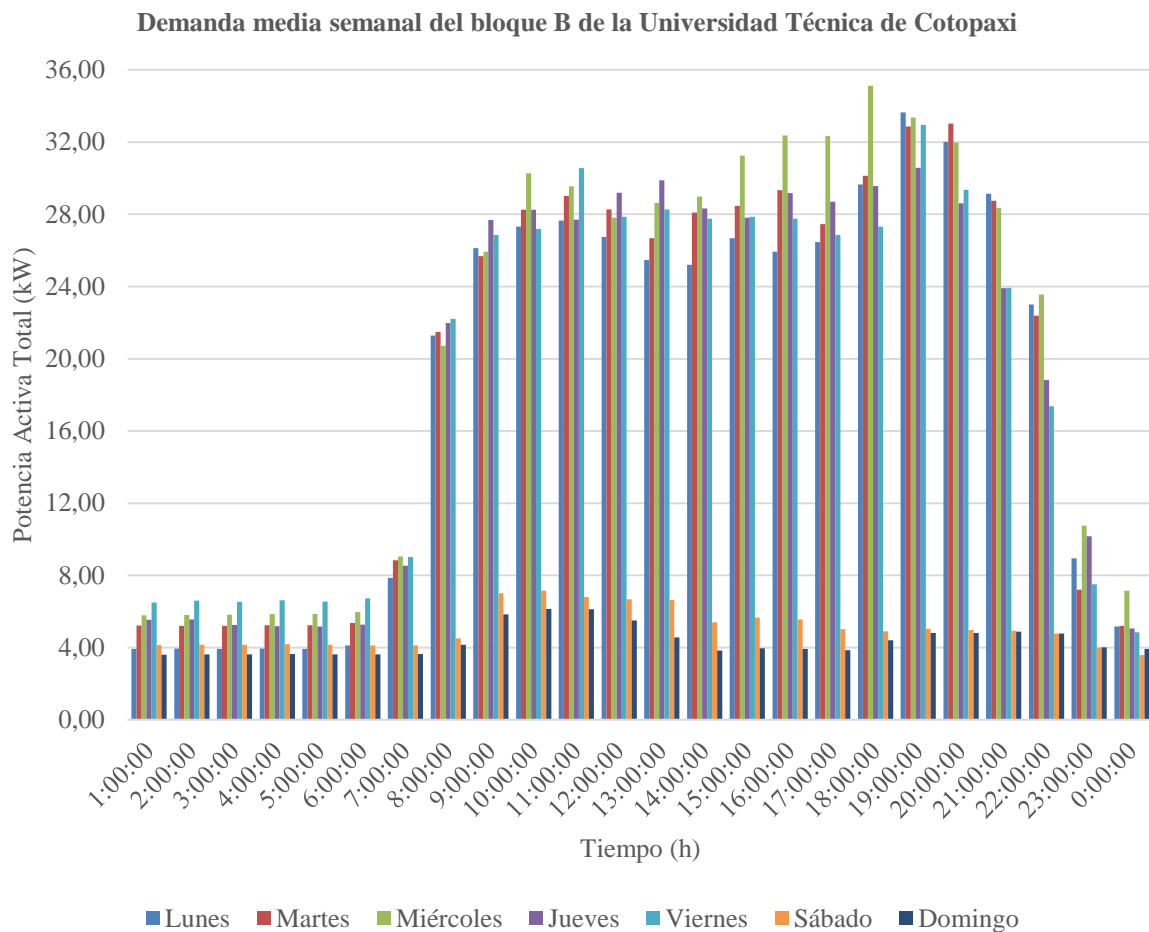


Figura 30. Demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

La figura 30 (anexo 27) muestra el comportamiento de la demanda del bloque, en la cual se puede apreciar que el día miércoles tiene la mayor actividad académica, con una potencia máxima de 35,11 kW a las 18:00 h. El anexo 28 contiene los valores de la gráfica antes descrita.

En el horario de 8:00 am a 5:00 pm donde va a funcionar el sistema fotovoltaico conectado a la red, el factor de potencia casi llega a 1 debido a que la componente reactiva es baja (anexo 29).

11.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red

11.4.1. Área disponible en la azotea del Bloque B de la UTC

La instalación del panel fotovoltaico depende de la disponibilidad de área, por esta razón, el presente estudio propone utilizar el espacio aprovechable en la terraza del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. La figura 31 muestra las superficies útiles para situar el SFCR, con un total de 958,94 m². De acuerdo a las normas NTE INEN 2243 e ISO 3864-1:2013 la imagen contiene vías de circulación peatonal obligatoria de 1 metro de ancho [46], [47]. En el anexo 30 está una visualización de la gráfica a escala.

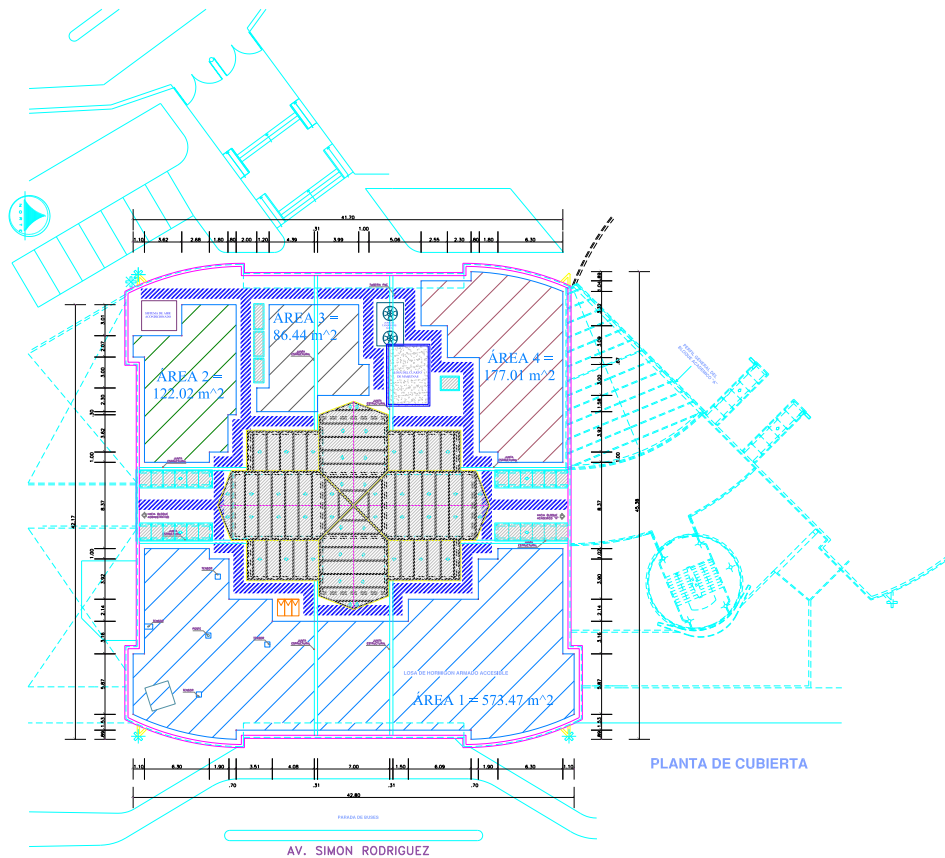


Figura 31. Áreas disponibles en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.2. Configuración de los módulos fotovoltaicos

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red se emplea paneles solares de 400 W SunPower e inversores Fronius Symo de 15 kW. La tabla 11 y 12 indican las principales características de cada uno de estos dispositivos.

Tabla 11. Características del panel fotovoltaico.

MÓDULO FOTOVOLTAICO SUNPOWER	
Características Generales - Eléctricas	Modelo SPR-MAX3-400
Potencia nominal (P_{nom}) +5/0%	400 W
Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	75,6 V
Voltaje pico (V_{mpp})	65,8 V
Corriente pico (I_{mpp})	6,08 A
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	6,58 A
Dimensiones (L × W × H)	1690 × 1046 × 40 mm
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Coefficiente de temperatura de I_{sc}	2,9 mA/°C
Coefficiente de temperatura de V_{oc}	-176,8 mV/°C
Peso	19 kg

Fuente: Elaboración y Formulación propia [50].

Tabla 12. Características del inversor conectado a la red.

INVERSOR FRONIUS	
Características Generales - Eléctricas	Modelo SYMO 15.0-3 208
Peso	35,7 kg
Dimensiones (H×W×D)	725×510×225 mm
Datos de entrada	
Potencia FV recomendada	12 – 19,5 kW
Rango de tensión MPP	270 – 480 V _{cc}
Tensión máx. de C.C.	1000 V _{cc}
Corriente continua máx.	45,7 A
No. de entradas de C.C.	6
Datos de salida	
Potencia nominal de C.A.	15 kW
Tensión nominal de C.A.	220 V _{ca}
Máxima corriente de salida permanente con V _{nom}	39,4 A
Frecuencia nominal de red	60 Hz
Rendimiento máximo	97,3 %
Coficiente de distorsión máx.	< 3,5 %

Fuente: Elaboración y Formulación propia [51], [52].

De acuerdo al análisis del apartado 11.2.2, la radiación más favorable está en el mes de noviembre, por lo tanto, se procede a dimensionar el sistema fotovoltaico conectado a la red con la mayor irradiancia media, cuyo valor registrado fue de 931 W/m² a la 1:00 pm. Además, según el anexo 28 la demanda promedio máxima a esa hora es de 29,88 kW. Dicha potencia será reducida un 20%, debido a que, el objetivo de estudio es generar energía para el autoconsumo del bloque B durante su funcionamiento habitual.

$$P_{nominal} = (29,88kW)(0,8) = 23,90kW$$

Con este resultado se procede a seguir la metodología descrita en el numeral 8.3.

$$P_{GFV} = (P_{nominal})(\mathcal{G})$$

$$P_{GFV} = (23,90kW)(1,1) = 26,29kW$$

A través de las ecuaciones 11 y 12, se determina la cantidad de módulos fotovoltaicos e inversores necesarios.

$$n^{\circ} \text{ de inversores} = \frac{P_{GFV}}{P_{inv}}$$

$$n^{\circ} \text{ de inversores} = \frac{26,29kW}{15kW} = 1,75 \approx 2$$

$$n^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos} = \frac{P_{GFV}}{P_{nominal PFV}}$$

$$n^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos} = \frac{26,29kW}{400W} = 65,73 \approx 66$$

$$P_{pico} = (n^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos})(P_{nominal PFV})$$

$$P_{pico} = (66)(400W) = 26,4kW$$

De esta manera llega a obtenerse dos inversores y 66 paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir la potencia nominal del sistema, con una capacidad de 26,4 kW, un valor levemente mayor al previsto inicialmente.

Luego, los parámetros del módulo fotovoltaico en el rango de temperaturas de -10 y 70 °C son calculados mediante las ecuaciones 14, 15, 16, 17.

$$V_{mpp(70^{\circ}C)} = V_{mpp} + \beta(T - 25)$$

$$V_{mpp(70^{\circ}C)} = (65,8V) + (-176,8mV/^{\circ}C)(70^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$V_{mpp(70^{\circ}C)} = 57,84V$$

$$V_{mpp(-10^{\circ}C)} = V_{mpp} + \beta(T - 25)$$

$$V_{mpp(-10^{\circ}C)} = (65,8V) + (-176,8mV/^{\circ}C)(-10^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$V_{mpp(-10^{\circ}C)} = 71,99V$$

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = V_{oc} + \beta(T - 25)$$

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = (75,6V) + (-176,8mV/^{\circ}C)(-10^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = 81,79V$$

$$I_{sc(70^{\circ}C)} = I_{sc} + \alpha(T - 25)$$

$$I_{sc(70^{\circ}C)} = (6,58A) + (2,9mA/^{\circ}C)(70^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$I_{sc(70^{\circ}C)} = 6,71A$$

Posteriormente, se obtiene el arreglo fotovoltaico mediante las ecuaciones 18, 19 y 20:

- Por una parte, el voltaje de los paneles fotovoltaicos en serie, no puede ser inferior a 270 V a la entrada del inversor, con lo que el número de módulos deberá ser igual o superior a:

$$N_s \geq \frac{V_{inv\ mín}}{V_{mpp(70^\circ C)}}$$

$$N_s \geq \frac{270V}{57,84V}$$

$$N_s \geq 4,67 \therefore 5$$

- En cambio, la tensión máxima no debe sobrepasar los 480 V, entonces:

$$N_s \leq \frac{V_{inv\ máx}}{V_{mpp(-10^\circ C)}}$$

$$N_s \leq \frac{480V}{71,99V}$$

$$N_s \leq 6,67 \therefore 6$$

- La corriente continua máxima a la entrada del inversor es de 45,7 A, por tanto, el número de módulos en paralelo será menor o igual a:

$$N_p \leq \frac{I_{inv\ máx}}{I_{sc(70^\circ C)}}$$

$$N_p \leq \frac{45,7A}{6,71A}$$

$$N_p \leq 6,81 \therefore 6$$

Así que, los arreglos fotovoltaicos quedan de la siguiente manera:

- El primer inversor contiene 6 paneles en serie y 6 en paralelo.
- El segundo inversor tiene 6 módulos en serie y 5 en paralelo.

De este modo los 66 paneles fotovoltaicos calculados anteriormente son ocupados.

Finalmente, se comprueba que los arreglos obtenidos cumplan con las condiciones de la sección 8.1.3.1.2.2.

- Arreglo fotovoltaico 1.

- Rango de los voltajes de entrada del seguidor MPP del inversor (270 – 480 V_{cc})

$$V_{G\ mpp(70^{\circ}C)} = V_{mpp(70^{\circ}C)} \times N_s \quad (50)$$

$$V_{G\ mpp(70^{\circ}C)} = (57,84V)(6) = 347,04V$$

$$V_{inv\ mín} \leq V_{G\ mpp(70^{\circ}C)} \rightarrow 270V \leq 347,04V \checkmark$$

$$V_{G\ mpp(-10^{\circ}C)} = V_{mpp(-10^{\circ}C)} \times N_s \quad (51)$$

$$V_{G\ mpp(-10^{\circ}C)} = (71,99V)(6) = 431,94V$$

$$V_{inv\ máx} \geq V_{G\ mpp(-10^{\circ}C)} \rightarrow 480V \geq 431,94V \checkmark$$

- Voltaje máximo en vacío (1000 V_{cc}).

$$V_{G\ oc(-10^{\circ}C)} = V_{oc(-10^{\circ}C)} \times N_s \quad (52)$$

$$V_{G\ oc(-10^{\circ}C)} = (81,79V)(6) = 490,74V$$

$$V_{máx\ vacío} \geq V_{G\ oc(-10^{\circ}C)} \rightarrow 1000V \geq 490,74V \checkmark$$

- Corriente máxima a la entrada del inversor (45,7 A).

$$I_{G\ sc(70^{\circ}C)} = I_{sc(70^{\circ}C)} \times N_p \quad (53)$$

$$I_{G\ sc(70^{\circ}C)} = (6,71A)(6) = 40,26A$$

$$I_{inv\ máx} \geq I_{G\ sc(70^{\circ}C)} \rightarrow 45,7A \geq 40,26A \checkmark$$

- Arreglo fotovoltaico 2.

Para este caso, solo se calcula la corriente máxima a la entrada del inversor, ya que tiene el mismo número de paneles en serie que el arreglo 1 y, por tanto, los resultados son iguales.

$$I_{G\ sc(70^{\circ}C)} = I_{sc(70^{\circ}C)} \times N_p$$

$$I_{G\ sc(70^{\circ}C)} = (6,71A)(5) = 33,55A$$

$$I_{inv\ máx} \geq I_{G\ sc(70^{\circ}C)} \rightarrow 45,7A \geq 33,55A \checkmark$$

11.4.3. Disposición de los paneles fotovoltaicos

El generador fotovoltaico debe ubicarse de manera que se evite las zonas de sombra, con una orientación e inclinación óptima y a una distancia adecuada entre las filas de paneles, para así asegurar su adecuado funcionamiento.

11.4.3.1. Ángulo de inclinación

De acuerdo al apartado 8.3.2., para obtener la inclinación óptima se utiliza la ecuación 21, ya que garantiza la mayor captación de radiación solar.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|0,917342|$$

$$\beta_{opt} = 4,33^\circ \rightarrow 15^\circ$$

Como puede observarse el ángulo óptimo es de $4,33^\circ$, no obstante, la inclinación del panel fotovoltaico aumenta a 15° , para que la suciedad acumulada sobre su superficie sea retirada por la lluvia [3], [26], [27]. A continuación, se calcula la pérdida al subir el nivel (ecuación 22).

$$Pérdidas(\%) = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \phi + 10)^2 \right]; \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

$$Pérdidas(\%) = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (15 - 0,917342 + 10)^2 \right] = 6,96\%$$

Las pérdidas resultantes son menores al límite del 10% señalado en la tabla 2.

11.4.3.2. Orientación de los módulos fotovoltaicos

Según la referencia [27], resulta importante elegir una correcta orientación, por lo cual, se determinó el sur geográfico, tal como indica el anexo 33. Surge como resultado un ángulo azimut (α) de 22° (figura 32). La fig. 33 visualiza la dirección del panel fotovoltaico.

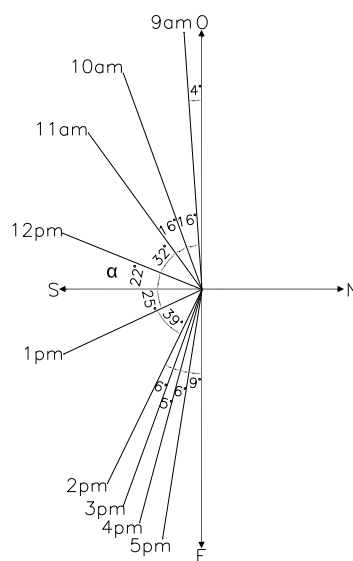


Figura 32. Sur geográfico en la azotea del bloque B.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

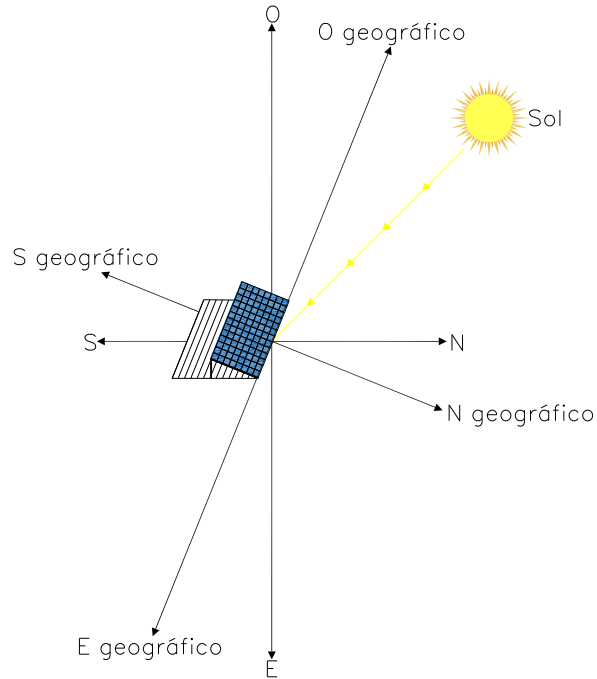


Figura 33. Panel fotovoltaico orientado hacia el sur geográfico.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.3.3. Distancia mínima entre módulos

Tal como indicaba la sección 8.3.3. se hace uso de la ecuación 23 para encontrar la altura proyectada sobre la horizontal de una fila, con los 15° de inclinación y el ancho del panel fotovoltaico ($A = 1,046 \text{ m}$).

$$h = A \cdot \text{sen}(\beta)$$

$$h = (1,046\text{m})[\text{sen}(15^\circ)]$$

$$h = 0,27 \text{ m}$$

Al resultado, se le añade la altura de las juntas estructurales existentes en la azotea del Bloque B, a fin de evitar dichos obstáculos. Por tanto, la altura total (h_T) es la siguiente:

$$h_T = 0,27 \text{ m} + (0,10 \text{ m} \times 1,20)$$

$$h_T = 0,39 \text{ m}$$

Después, con la altura de 0,39 metros y la latitud, se calcula la distancia (d) según la ecuación 24.

$$d = \frac{h_T}{\text{tg}(61^\circ - \phi)}$$

$$d = \frac{0,39 \text{ m}}{\text{tg}(61^\circ - 0,917342^\circ)}$$

$$d = 0,22 \text{ m}$$

Seguidamente, con la ecuación 25 puede obtenerse la distancia mínima ($D_{\text{mín}}$).

$$D_{\text{mín}} = d + A \cdot \cos(\beta)$$

$$D_{\text{mín}} = (0,22 \text{ m}) + (1,046 \text{ m}) [\cos(15^\circ)]$$

$$D_{\text{mín}} = 1,23 \text{ m}$$

Para una mejor comprensión, los resultados se visualizan en la figura 34.

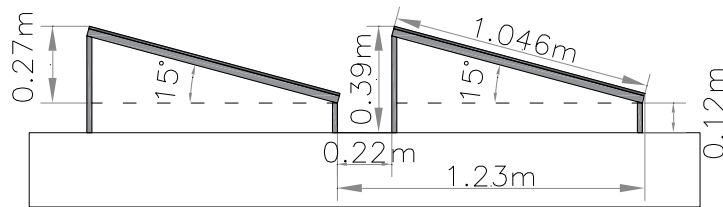


Figura 34. Distancia mínima entre filas horizontales de paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Además, es necesario considerar una distancia de 1 metro para mantenimiento de los paneles fotovoltaicos y circulación peatonal (referencia [46]).

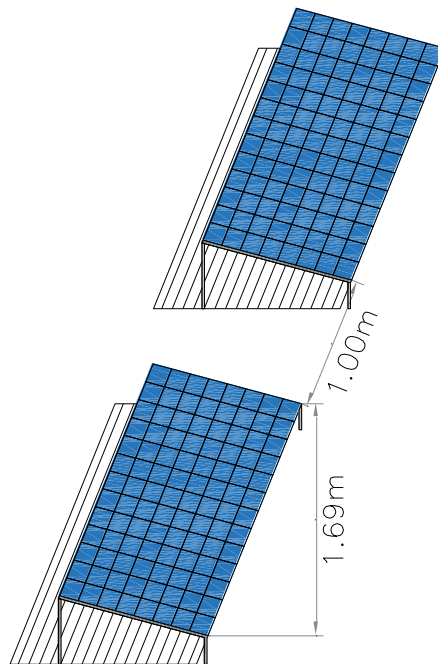


Figura 35. Distancia entre filas verticales de paneles fotovoltaicos para mantenimiento y circulación peatonal.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.4. Ubicación del sistema fotovoltaico en la azotea del Bloque B

Con los resultados obtenidos y dimensiones del panel solar (tabla 11), se procede a ubicar el generador en la azotea del Bloque B, de manera que las sombras de los distintos objetos del lugar sean evitadas.

La figura 36 muestra la localización de los módulos fotovoltaicos en el área 1 de 573,47 m², donde, el primer inversor contiene el arreglo 6–11, mientras que el segundo tiene del 1–5 (anexo 34). Con la ecuación 54 se comprueba que el generador no exceda ésta superficie.

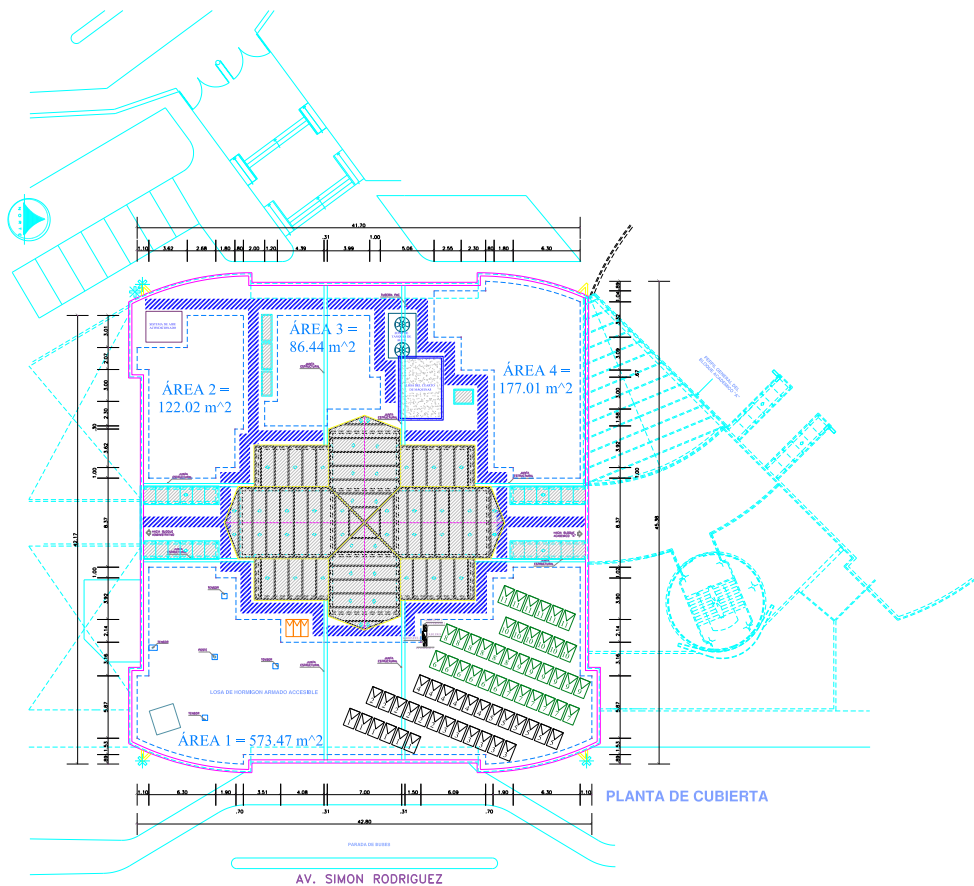


Figura 36. Ubicación de los paneles fotovoltaicos en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

$$\text{Área 1} > \text{Área total del generador fotovoltaico (A}_{TGV}\text{)} \quad (54)$$

$$A_{TGV} = (D_{\min}) \cdot (\text{Largo del panel} + \text{distancia entre columnas de los módulos}) \cdot (\text{número total de paneles}) \quad (55)$$

$$A_{TGV} = (1,23 \text{ m})(1,69 \text{ m} + 1 \text{ m})(66)$$

$$A_{TGV} = 218,37 \text{ m}^2$$

$$573,47 \text{ m}^2 > 218,37 \text{ m}^2 \checkmark$$

11.4.5. Cálculo del cableado en c.c. y c.a.

El sistema fotovoltaico tiene la longitud más desfavorable por fila al gabinete de protecciones c.c. – c.a. 1 de 19,9 metros en el primer arreglo (tramo uno considerado la distancia al inversor (trayecto 2)), sin embargo, en el segundo es de 20,4 m. Para una mejor comprensión véase anexo 35. Los cálculos consideran la distancia de mayor tamaño.

La caída de voltaje máxima de 1,5%, se distribuye en los distintos tramos. Con el procedimiento descrito en el apartado 8.3.4. llega a obtenerse lo siguiente:

$$I_1 = 1,25(I_{sc}) = 1,25(6,58A) = 8,23A$$

$$V_{Gmpp} = N_s \times V_{mpp} = 6 \times 65,8V = 394,8V$$

$$S_1 = \frac{200 \cdot I_1 \cdot l_1}{\Delta V_{\%1} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(200)(8,23A)(20,4 \text{ m})}{(0,09)(394,8V)(45 \text{ s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2)} = 21,00 \text{ mm}^2 \therefore 21,15 \text{ mm}^2$$

En el tercer tramo, la distancia del inversor al gabinete de protecciones c.c. - c.a. es de 1,2 m.

$$I_{inv} = \frac{P_{n\text{inv}}}{\sqrt{3} \times V_{nca} \times \cos \varphi} = \frac{15kW}{(\sqrt{3})(220V)(1)} = 39,36A$$

$$I_3 = 1,25(I_{inv}) = 1,25(39,36A) = 49,20A$$

$$S_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_3 \cdot l_3}{\Delta V_{\%3} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(49,2A)(1,2 \text{ m})}{(0,08)(220V)(45 \text{ s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2)} = 12,91 \text{ mm}^2 \therefore 13,30 \text{ mm}^2$$

Del gabinete de protecciones c.c. – c.a. al tablero secundario del bloque B existe una distancia de 1,5 metros (cuarto tramo).

$$I_3 = I_4 = 49,20A$$

$$S_4 = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_4 \cdot l_4}{\Delta V_{\%4} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(49,2A)(1,5 \text{ m})}{(0,013)(220V)(45 \text{ s} \cdot \text{m}/\text{mm}^2)} = 99,32 \text{ mm}^2 \therefore 107,20 \text{ mm}^2$$

Para el quinto tramo, la longitud que va desde el tablero secundario al principal del bloque B es de 80 metros.

$$I_{inv\ ca} = \frac{\sum P_{n\ inv}}{\sqrt{3} \times V_{n\ ca} \times \cos \varphi} = \frac{15kW + 15kW}{(\sqrt{3})(220V)(1)} = 78,73A$$

$$I_5 = 1,25(I_{inv\ ca}) = 1,25(78,73A) = 98,41A$$

$$S_5 = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_5 \cdot l_5}{\Delta V_{\%5} \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(98,41A)(80m)}{(1,29)(220V)(45\ s \cdot m/mm^2)} = 106,77\ mm^2 \therefore 107,20\ mm^2$$

El conductor de tierra se elige a partir del anexo 36, por tanto:

$$S_p = S / 2 = 107,20\ mm^2 / 2 = 53,60\ mm^2 \therefore 67,43\ mm^2$$

Los cables comerciales (anexo 37) que se proyectan utilizar son los siguientes:

- En corriente continua (tramo 1 y 2) el No. 4 AWG 19 hilos THHN.
- En corriente alterna:
 - Para el tramo 3, conductor No. 6 AWG 7 hilos THHN.
 - Conductor No. 4/0 AWG 19 hilos THHN para el tramo 4 y 5.
- El No. 2/0 AWG 19 hilos THHN para protección.

Los conductores seleccionados van dentro de la tubería eléctrica metálica, para ello, se realiza el procedimiento del apartado 11.4.5.1.

Con las secciones de los cables comerciales, se procede a calcular las caídas de voltaje en los distintos tramos del sistema fotovoltaico conectado a la red (tabla 13), tal como se indica a continuación:

$$\Delta V_{\%1} = \frac{200 \cdot I_1 \cdot l_1}{S_1 \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(200)(8,23A)(20,4\ m)}{(21,15\ mm^2)(394,8V)(45\ s \cdot m/mm^2)} = 0,089\%$$

$$\Delta V_{\%3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_3 \cdot l_3}{S_3 \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(49,2A)(1,2\ m)}{(13,30\ mm^2)(220V)(45\ s \cdot m/mm^2)} = 0,078\%$$

$$\Delta V_{\%4} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_4 \cdot l_4}{S_4 \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(49,2A)(1,5\ m)}{(107,20\ mm^2)(220V)(45\ s \cdot m/mm^2)} = 0,012\%$$

$$\Delta V_{\%5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_5 \cdot l_5}{S_5 \cdot V \cdot \gamma_{\theta}} = \frac{(\sqrt{3})(100)(98,41A)(80m)}{(107,20\ mm^2)(220V)(45\ s \cdot m/mm^2)} = 1,285\%$$

Los resultados visualizan variaciones mínimas de las caídas de voltaje en los cables de corriente continua y alterna.

Tabla 13. Resumen de las caídas de voltaje en los diferentes tramos del SFCR.

Tramo	Voltaje	Corriente (A)	Longitud (m)	Caída de voltaje		Sección del conductor (mm ²)	Cable No.
				(%)	(V)		
1 y 2	394,8 V _{cc}	8,23	20,4	0,089	0,351	21,15	4 AWG 19 hilos THHN
3	220 V _{ca}	49,20	1,2	0,078	0,172	13,30	6 AWG 7 hilos THHN
4	220 V _{ca}	49,20	1,5	0,012	0,026	107,20	4/0 AWG 19 hilos THHN
5	220 V _{ca}	98,41	80,0	1,285	2,827	107,20	4/0 AWG 19 hilos THHN
Total				1,464	3,376		

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.5.1. Determinación de la tubería eléctrica metálica (E.M.T.)

El ducto para los cables de corriente continua No. 4 AWG 19 hilos THHN y protección No. 2/0 AWG THHN se calcula a partir del factor de relleno [54], [55], [56]. La tabla 14 muestra el área total de los conductores (A_{Tc}) que van a situarse en el tubo.

Tabla 14. Área total de los conductores de corriente continua.

Calibre AWG THHN No.	No. de conductores	Área por conductor (mm ²)	Área total (mm ²)
2/0	1*	67,43	67,43
4	4**	21,15	84,60
Total	5		152,03

* Conductor de tierra para aterrizar las estructuras de los paneles fotovoltaicos.

** El caso extremo que existe, es tener dos positivos y 2 negativos.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

A partir de 3 conductores es necesario considerar un factor de relleno (F) del 40% [54], [55], [56]. Por tanto, el área de la tubería E.M.T. (A_d) será:

$$A_d = \frac{A_{Tc}}{F} \quad (56)$$

$$A_d = \frac{152,03 \text{ mm}^2}{0,40} = 380,08 \text{ mm}^2$$

Posteriormente, se considera una tubería E.M.T. para todos los cables de corriente continua que entran al gabinete de protecciones c.c. – c.a.

Tabla 15. Área total de todos los conductores de corriente continua que entran al gabinete de protecciones c.c. – c.a.

Calibre AWG THHN No.	No. de conductores	Área por conductor (mm ²)	Área total (mm ²)
2/0	1	67,43	67,43
4	12	21,15	253,8
Total	13		321,23

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

$$A_d = \frac{321,23 \text{ mm}^2}{0,40} = 803,08 \text{ mm}^2$$

El mismo procedimiento se lo realiza para el cable No. 2/0 y 4/0 THHN. La tabla 16 muestra el área total de los conductores de corriente alterna.

Tabla 16. Área total de los conductores de corriente alterna.

Calibre AWG THHN No.	No. de conductores	Área por conductor (mm ²)	Área total (mm ²)
2/0	1 (Tierra)	67,43	67,43
4/0	4 (Fase A, B, C y Neutro)	107,20	428,80
Total	5		496,23

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

$$A_d = \frac{496,23 \text{ mm}^2}{0,40} = 1240,58 \text{ mm}^2$$

Del anexo 38 se elige las siguientes tuberías E.M.T.:

- Para los conductores de corriente continua la tubería eléctrica metálica de 1 1/4", con un área disponible al 40% de 392 mm².
- En el caso de todos los conductores de corriente continua que entran al gabinete de protecciones c.c. – c.a., la tubería E.M.T. de 2 pulgadas, con un área disponible del 40% de 874 mm².
- La tubería eléctrica metálica de 3 pulgadas para los conductores de corriente alterna, mismo que dispone de un área al 40% de 1908 mm².

11.4.6. Protecciones del sistema fotovoltaico conectado a la red

En primera instancia es necesario calcular el interruptor termomagnético para cada rama del generador fotovoltaico.

$$I_n \geq 1,25I_{sc} \rightarrow I_n \geq 8,23A$$

$$V_{soc} = N_s \cdot V_{oc} = (6)(75,6) = 453,6V$$

$$V_n \geq V_{soc} \rightarrow V_n \geq 453,6V$$

Después, se dimensiona la protección de sobrevoltajes.

$$V_n \geq 1,2 \cdot V_{soc} \rightarrow V_n \geq 544,32V$$

Luego, debe seleccionarse los fusibles de las series de módulos fotovoltaicos:

$$I_N > 1,8 \times I_{sc}$$

$$I_N > (1,8)(6,58A)$$

$$I_N > 11,84A$$

$$I_N < 2,4 \times I_{sc}$$

$$I_N < (2,4)(6,58A)$$

$$I_N < 15,79A$$

$$V_N \geq \text{Máximo voltaje de entrada en el inversor}$$

$$V_N \geq 453,6V$$

El fabricante Fronius aconseja elegir el fusible con diámetro de 10×38 mm, mismo que va colocado internamente en el inversor [52].

Posteriormente, se calcula un interruptor termomagnético para cada inversor, el cual estará ubicado en el gabinete de protección c.c. – c.a.

$$I_n \geq 1,25I_{inv} \rightarrow I_n \geq 49,2A$$

$$V_n = V_{nca} = 220V$$

A continuación, se dimensiona un interruptor termomagnético general y el diferencial con sensibilidad de 30 mA, ubicados en el tablero secundario del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para proteger a los dos inversores.

$$I_n \geq 1,25I_{invca} \rightarrow I_n \geq 98,41A$$

$$V_n = V_{nca} = 220V$$

La tabla 17 muestra un resumen de las protecciones obtenidas para el sistema fotovoltaico conectado a la red. Para más detalle véase anexos 40 – 44.

Tabla 17. Protecciones del sistema fotovoltaico conectado a la red.

Protección	Corriente nominal (A)	Voltaje nominal (V)	Cantidad
Interruptor termomagnético bipolar de corriente continua tipo riel A9N61528	10	500	11
Limitador de Sobrevoltajes de corriente continua A9L16434	–	600	11
Fusible de corriente continua (10 × 38mm)	12	600	11
Interruptor termomagnético tetrapolar de caja moldeada	50	220	2
Interruptor termomagnético tetrapolar de caja moldeada	100	220	1
Interruptor de circuito por falla a tierra	100	220	1
Total			37

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Finalmente, debe elegirse dos gabinetes de acero inoxidable IP 66 con dimensiones 80 × 60 × 30 cm y un tablero de 120 × 80 × 40 cm (anexo 46). Para una mejor comprensión véase figura 37.

11.4.7. Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico conectado a la red

La figura 37 visualiza la conexión de los distintos dispositivos dimensionados. Para una mejor apreciación del esquema con su simbología eléctrica véase anexo 47.

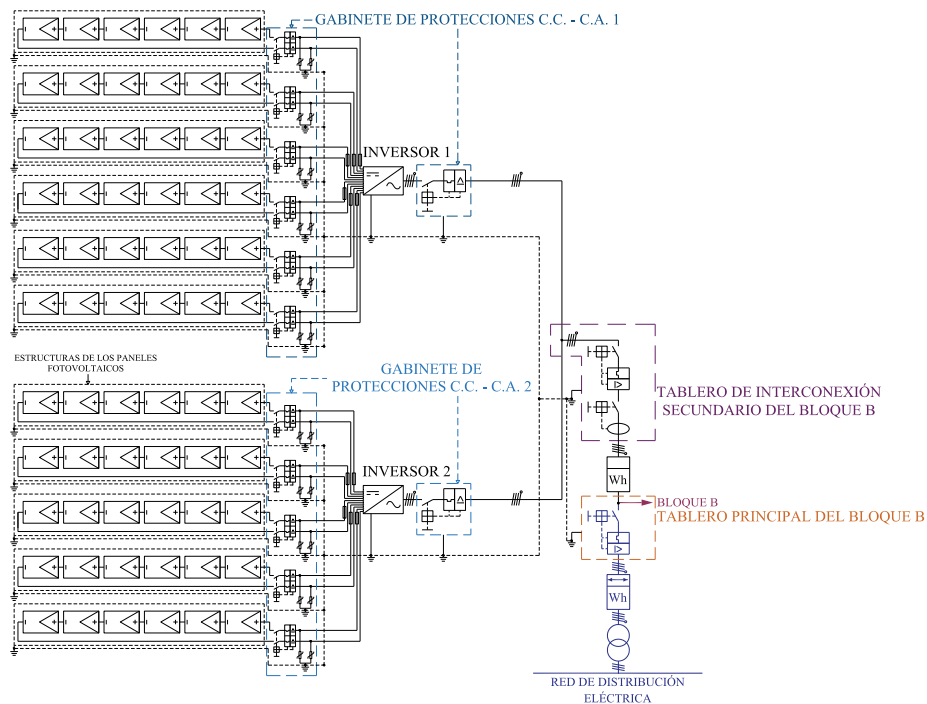


Figura 37. Esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica conectada a la red.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.8. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico conectado a la red

En la figura 38 se representa el diagrama unifilar simplificado del sistema fotovoltaico con 26,4 kW de potencia instalada. El anexo 48 muestra el gráfico a mayor tamaño y su respectiva simbología eléctrica.

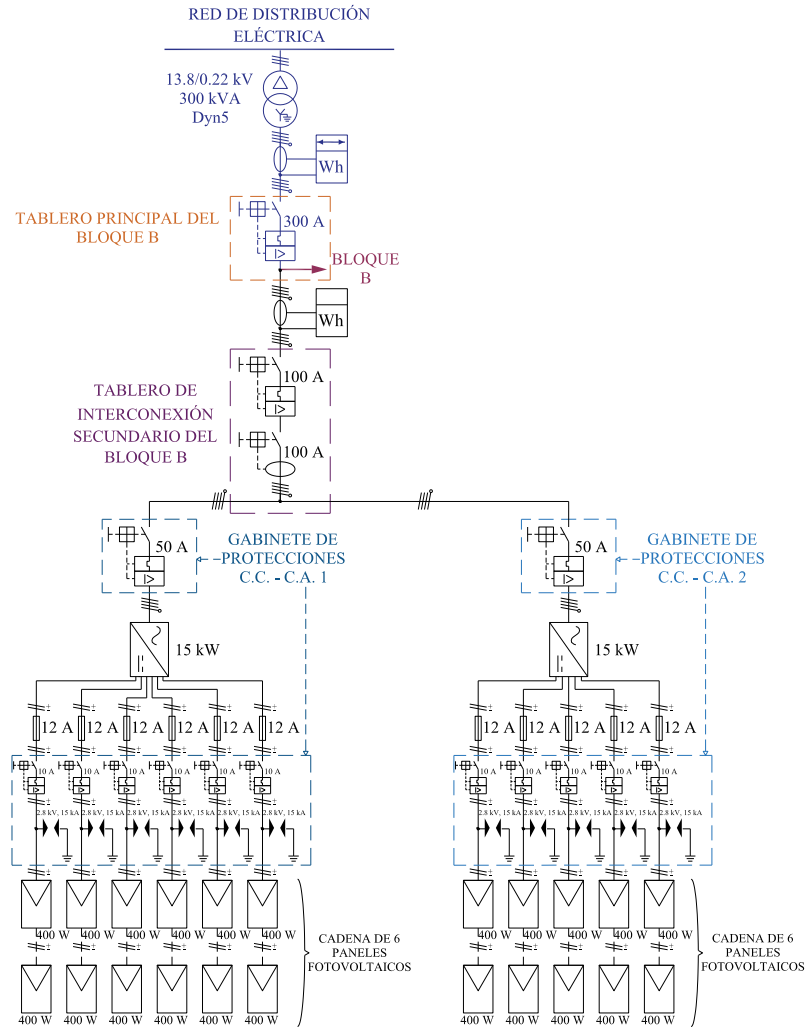


Figura 38. Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica conectada a la red.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

11.4.9. Energía suministrada anualmente

Para obtener la energía diaria del mes de mayo, primero debe calcularse $G_{dm}(\alpha, \beta)$ con el valor de $3,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ (tabla 10) y las pérdidas por inclinación (6,96%) de la sección 11.4.3.1.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = (G_{dm})(\text{Pérdidas de orientación e inclinación})$$

$$G_{dm}(\alpha = 22^\circ, \beta = 15^\circ) = \left(3,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \right) (100\% - 6,96\%)$$

$$G_{dm}(\alpha = 22^\circ, \beta = 15^\circ) = 3,44 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}$$

El coeficiente de rendimiento 0,78 del sistema fotovoltaico considera las pérdidas por cableado, inversor, polvo, etc. Al aplicar la ecuación 40 se obtiene:

$$E_d = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{G_{máx}} \cdot PR}{G_{GEM}}$$

$$E_d = \frac{\left(3,44 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}\right) (26,4kW) (0,78)}{1 \frac{kW}{m^2}}$$

$$E_d = 71 \frac{kWh}{día}$$

A continuación, se presenta la energía diaria, mensual y anual generada por el sistema fotovoltaico (tabla 18).

Tabla 18. Energía diaria, mensual y anual producida por el sistema fotovoltaico conectado a la red.

Año	Mes	G_{dm} [kWh/(m ² · día)]	$G_{dm}(\alpha = 22^\circ, \beta = 15^\circ)$ [kWh/(m ² · día)]	PR	Energía diaria (kWh/día)	Días del mes	Energía mensual (kWh/mes)
2018	Mayo	3,7	3,44	0,78	71	31	2201
	Junio	4,06	3,78	0,78	78	30	2340
	Julio	4,37	4,07	0,78	84	31	2604
	Agosto	4,58	4,26	0,78	88	31	2728
	Septiembre	3,92	3,65	0,78	75	30	2250
	Octubre	4,33	4,03	0,78	83	31	2573
	Noviembre	5,4	5,02	0,78	103	30	3090
	Diciembre	4,32	4,02	0,78	83	31	2573
2019	Enero	4,85	4,51	0,78	93	31	2883
	Febrero	4,76	4,43	0,78	91	28	2548
	Marzo	3,96	3,68	0,78	76	31	2356
	Abril	3,81	3,54	0,78	73	30	2190
						Energía anual (kWh/año)	30336

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

El sistema fotovoltaico conectado a la red de 26,4 kW, producirá anualmente 30336 kWh.

Acorde con el pliego tarifario, se determina el ahorro monetario por concepto de energía facturada (ecuación 57). La universidad al ser una entidad de beneficio público, está en la categoría general [65]. Además, el sistema fotovoltaico conectado a la red funcionará de 8 am a 5 pm, de modo que el costo del kWh es 0,065 USD/kWh.

Debido a que el consumo de la institución es medido en bajo voltaje, debe considerarse un recargo del 2% a la energía ($E_{a102\%}$) [65].

$$E_{a102\%} = (30336 \text{ kWh})(1,02) = 30943 \text{ kWh}$$

$$\text{Monto anual [USD]} = (E_{a102\%} [\text{kWh}])(\text{Cargo por energía [USD/kWh]}) \quad (57)$$

$$\text{Monto anual} = (30943 \text{ kWh})(0,065 \text{ USD/kWh})$$

$$\text{Monto anual} = 2011,30 \text{ USD}$$

$$\text{Monto promedio mensual} = 2011,30 \text{ USD/12}$$

$$\text{Monto promedio mensual} = 167,61 \text{ USD}$$

Con la ecuación 9, se calcula el factor de planta del generador fotovoltaico.

$$F_{PL} = \frac{\text{Generación de energía anual real [kWh]}}{(\text{Potencia nominal máxima planta [kW]})(8760 [h])}$$

En el caso del sistema fotovoltaico no se considera las 8760 h, debido a que el generador funciona 9 h/día, con un total de 3285 horas al año.

$$F_{PL} = \frac{30336 \text{ kWh}}{(26,4 \text{ kW})(3285 \text{ h})} \times 100\% = 34,98\%$$

Este parámetro indica que el sistema fotovoltaico ha funcionado al 34,98% de su capacidad máxima nominal en el transcurso del año.

11.4.10. Reducción de emisiones de CO₂ expulsadas a la atmósfera

Una de las ventajas de las energías renovables es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas fotovoltaicos brindan electricidad de manera limpia e ilimitada, por ello, se procede a calcular las toneladas de CO₂ al año (ecuación 42) que dejarán de ser emitidas al ecosistema.

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = (EF_{\text{grid,CM}})(E_a)$$

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = (0,6071 \text{ t CO}_2/\text{MWh})(30,336 \text{ MWh/año})$$

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = 18,42 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

Adicionalmente, los bonos de carbono pueden determinarse con un precio medio anual histórico de 0,33 USD/t CO₂ (referenciado el 04 de julio del 2019) [66].

$$\text{Bonos de carbono} = (18,42 \text{ t CO}_2/\text{año})(0,33 \text{ USD/t CO}_2)$$

$$\text{Bonos de carbono} = 6,08 \text{ USD/año}$$

11.4.11. Operación del sistema fotovoltaico

El presente sistema fotovoltaico conectado a la red, está orientado al autoconsumo del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi durante su funcionamiento habitual, para así, reducir la energía facturada por la empresa eléctrica. La figura 39 muestra la curva de demanda promedio del bloque B vs producción del SFCR, misma que considera el día con menor actividad académica entre semana (lunes) y mes de mayor radiación. En la tabla 19 se indica la potencia del generador a distinta irradiancia en el horario de 8 am a 5 pm.

Tabla 19. Potencia del sistema fotovoltaico conectado a la red a distinta irradiancia.

Mes Hora	Irradiancia media (W/m ²)	Potencia del sistema fotovoltaico
	Noviembre	kW
8:00	56,50	1,49
9:00	167,50	4,42
10:00	280,75	7,40
11:00	723,00	19,06
12:00	914,00	24,10
13:00	931,00	24,55
14:00	907,75	23,94
15:00	729,25	19,23
16:00	348,50	9,19
17:00	212,25	5,60

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

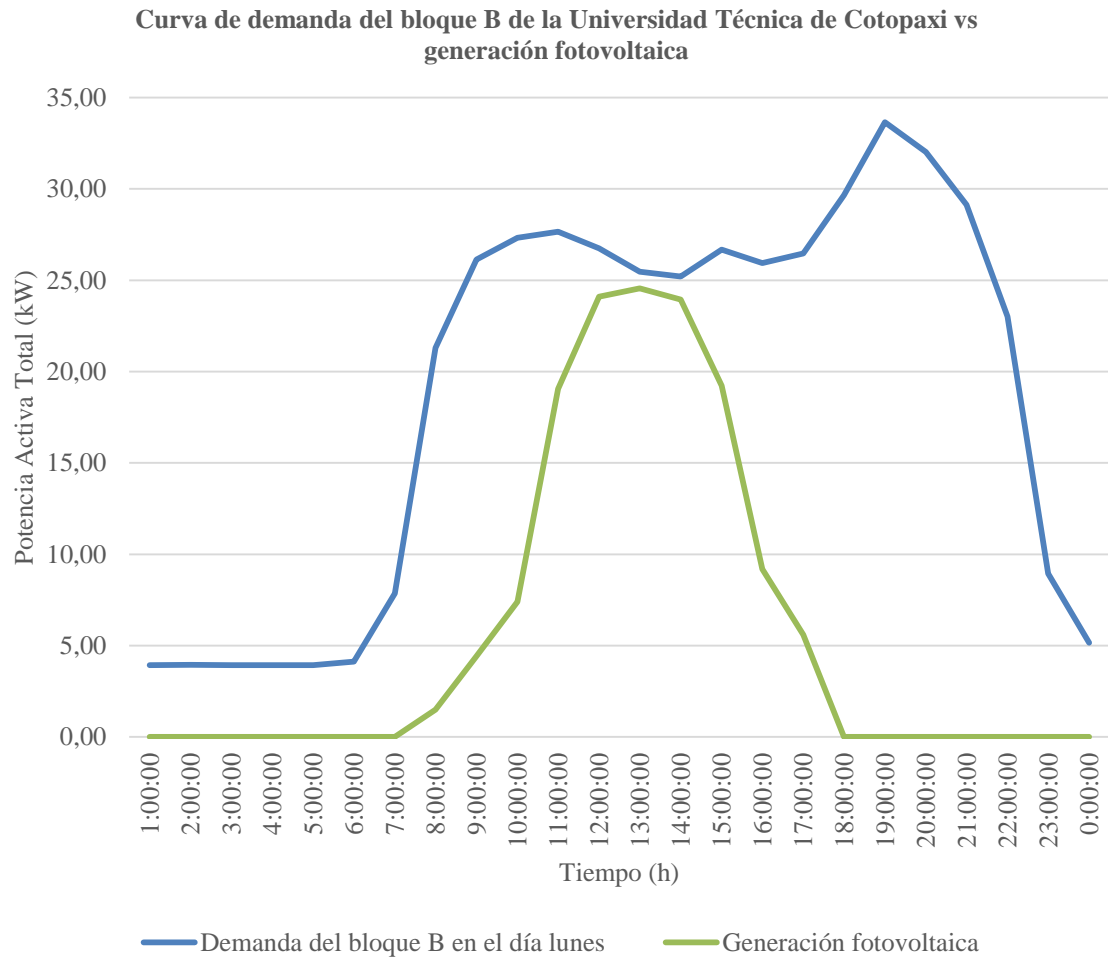


Figura 39. Curva de demanda promedio del día lunes en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi vs generación fotovoltaica conectada a la red.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Como puede observarse en la figura 39, la curva de generación fotovoltaica es consumida totalmente por el Bloque B, al considerar el día de menor actividad académica entre semana, por lo tanto, se comprueba que no existirá excedentes.

En el caso de fines de semana, feriados, interrupciones académicas, etc., el excedente de energía existente será consumida por las cargas adyacentes al Bloque B e inyectada a la red eléctrica, acogiéndose a la normativa 003/18.

12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El estudio financiero permite conocer la rentabilidad del presente proyecto. Para ello, se aplica los métodos de evaluación, denominados, Valor actual neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Factor de Recuperación de Capital (FRC), Relación Beneficio/Costo (B/C) y el Periodo de Recuperación (PR) [67], [68], [69]. En la tabla 20 se detalla la inversión de la instalación fotovoltaico.

Tabla 20. Inversión del sistema fotovoltaico conectado a la red.

Cantidad	Descripción	Precio Unit. (\$)	Precio Total (\$)
66	Panel fotovoltaico SUNPOWER SPR-MAX3-400	630,00	41.580,00
2	Inversor Fronius Symo 15.0-3 208	4.800,00	9.600,00
66	Estructura para panel fotovoltaico	35,00	2.310,00
365	Alambre conductor No. 4 AWG 19 hilos THHN	2,65	967,25
12	Alambre conductor No. 6 AWG 7 hilos THHN	1,56	18,72
390	Alambre conductor No. 4/0 AWG 19 hilos THHN	15,29	5.963,10
220	Alambre conductor No. 2/0 AWG 19 hilos THHN	9,93	2.184,60
30	Tubería E.M.T. de 3 pulgadas por 3 metros	20,00	600,00
38	Tubería E.M.T. de 1 1/4" por 3 metros	8,54	324,52
3	Tubería E.M.T. de 2 pulgadas por 3 metros	12,00	36,00
11	Interruptor termomagnético bipolar tipo riel A9N61528 10A	180,37	1.984,07
11	Limitador de Sobrevoltajes 600 Vcc A9L16434	145,00	1.595,00
11	Fusible 12A 600Vcc Diámetro 10 x 38mm	27,75	305,25
2	Interruptor termomagnético tetrapolar de caja moldeada 50A	128,98	257,96
1	Interruptor termomagnético tetrapolar de caja moldeada 100A	166,29	166,29
1	Interruptor de circuito por falla a tierra 100A	196,70	196,70
4	Barra conductora 162A, longitud de 50 cm	28,00	112,00
2	Gabinete de acero inoxidable IP 66 80*60*30 cm	453,98	907,96
1	Tablero en acero inoxidable IP 66 120*80*40 cm	1.219,06	1.219,06
2	Extintor CO ₂ 10 libras	65,00	130,00
1	Mano de obra calificada	1.200,00	1.200,00
2	Mano de obra no calificada	450,00	900,00
		Subtotal	72.558,48
		Transporte	720,00
		Otros Gastos	1.088,38
		I.V.A 12%	8.924,02
		TOTAL \$	83.290,88

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Tabla 21. Gastos anuales del sistema fotovoltaico conectado a la red.

ITEM	Descripción	Costo anual (\$)	
1	Mantenimiento del SFCR	653,03	
2	Revisión, Mantenimiento, Recarga de Extintores	24,00	
		Subtotal	677,03
		I.V.A 12%	81,24
		TOTAL \$	758,27

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

12.1. Valor Actual Neto (VAN)

Es una cantidad monetaria a la que se espera que aumente la riqueza al invertir en el proyecto [67]. Por tanto, si:

$$\text{VAN} > 0 \rightarrow \text{es rentable el proyecto}$$

$VAN = 0 \rightarrow$ resulta indiferente la inversión

$VAN < 0 \rightarrow$ no conviene invertir

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t} \quad (58)$$

Donde:

I_0 : Inversión en el periodo cero.

Q : flujo de caja en cada año t .

n : número de años que se consideran.

k : tasa de descuento o tipo de interés (COK).

De acuerdo al Banco Central del Ecuador, la tasa pasiva referencial para el monto total (tabla 20) es del 7,99% (dato referenciado el 04 de julio del 2019) [70]. Además, se considera un plazo de 20 años, debido a que, el tiempo de vida útil en una instalación fotovoltaica es de 25 años.

12.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace cero el VAN de un proyecto. En otras palabras, mide la rentabilidad promedio anual que genera el capital invertido [29]. Por ello, si:

$TIR > COK \rightarrow$ es rentable el proyecto

$TIR = COK \rightarrow$ resulta indiferente la inversión

$TIR < COK \rightarrow$ no conviene invertir

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+TIR)^t} \quad (59)$$

12.3. Factor de Recuperación de Capital (FRC)

Se utiliza para transformar un valor actual (VA) a una serie de pagos uniformes equivalentes [71].

$$FRC = \frac{k(1+k)^n}{(1+k)^n - 1} \quad (60)$$

12.4. Relación Beneficio/Costo (B/C)

Permite determinar la viabilidad de los proyectos [71].

$$\frac{B}{C} = \frac{VA \text{ Beneficios}}{VA \text{ Costos}} \quad (61)$$

$B/C > 1 \rightarrow$ es rentable el proyecto

$B/C = 1 \rightarrow$ resulta indiferente la inversión

$B/C < 1 \rightarrow$ no conviene invertir

12.5. Periodo de Recuperación Compuesto (PR_c)

Es el tiempo necesario para recuperar la inversión, mediante los ingresos netos obtenidos e interés [72], [29].

$$PR_c = \frac{\ln\left(\frac{-Q}{I_0 \times k - Q}\right)}{\ln(1+k)} \quad (62)$$

12.6. Escenarios

Para todos los escenarios planteados, se usa una tasa de descuento anual del 7,99%, con un plazo de 20 años mencionados anteriormente.

El primer escenario considera el costo subsidiado del kWh facturado a la institución por la empresa eléctrica. Además, los próximos panoramas planteados en el proyecto, son situaciones ideales para que este tipo de sistemas de generación puedan ser rentables.

12.6.1. Escenario 1

En este escenario se considera que el costo del kWh subsidiado es de 0,065 USD/kWh para las entidades de beneficio público (anexo 49) [65]. La tabla 22 indica los resultados del estudio financiero.

Tabla 22. Evaluación financiera con un costo de 0,065 USD/kWh.

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
0	\$83.290,88			-\$83.290,88	-\$83.290,88
1		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$1.160,32
2		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$1.074,47
3		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$994,97
4		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$921,35
5		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$853,18
6		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$790,06
7		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$731,60
8		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$677,47

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
9		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$627,35
10		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$580,93
11		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$537,95
12		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$498,15
13		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$461,29
14		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$427,16
15		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$395,55
16		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$366,29
17		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$339,19
18		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$314,09
19		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$290,85
20		\$758,27	\$2.011,30	\$1.253,03	\$269,33
Valor Actual Neto			-\$70.979,34	Tasa Interna de Retorno	-9,45%
Relación Beneficio/Costo			0,22		

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Mediante un VAN negativo y TIR menor al COK, el proyecto no es rentable. Además, de acuerdo con el resultado del B/C, por cada dólar invertido en la instalación fotovoltaica, la Universidad Técnica de Cotopaxi perdería 0,78 USD.

12.6.2. Escenario 2

Para este escenario se considera el cargo por energía más elevado encontrado en el pliego tarifario, mismo que es de 0,6812 USD/kWh (anexo 49) [65]. Así, existe un ahorro de 21.078,37 USD anuales. La tabla 23 visualiza los resultados del estudio financiero.

Tabla 23. Evaluación financiera con un costo de 0,6812 USD/kWh.

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
0	\$83.290,88			-\$83.290,88	-\$83.290,88
1		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$18.816,65
2		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$17.424,44
3		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$16.135,23
4		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$14.941,41
5		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$13.835,92
6		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$12.812,23
7		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$11.864,27
8		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$10.986,45
9		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$10.173,58
10		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$9.420,86
11		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$8.723,82
12		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$8.078,36

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
13		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$7.480,66
14		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$6.927,18
15		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$6.414,65
16		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$5.940,04
17		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$5.500,54
18		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$5.093,57
19		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$4.716,70
20		\$758,27	\$21.078,37	\$20.320,10	\$4.367,72
Valor Actual Neto		\$116.363,42		Tasa Interna de Retorno	24,07%
Relación Beneficio/Costo			2,28		

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Con una VAN positiva y TIR mayor al COK, el proyecto es rentable. Además, el resultado de la relación beneficio/costo, indica que, por cada dólar invertido en el sistema fotovoltaico, la Universidad Técnica de Cotopaxi tiene una ganancia adicional de 1,28 USD a lo proyectado. Así, la tabla de recuperación de la inversión es:

Tabla 24. Recuperación de la inversión y ganancias.

Inversión		\$83.290,88	Plazo		20 años
Tasa Interna de Retorno		24,07%	FRC		24,40%
Periodos	Saldo inicial	Ingreso	Ganancias (TIR)	Recuperación del Capital	Balance Final
0					\$83.290,88
1	\$83.290,88	\$20.320,10	\$20.048,09	\$272,01	\$83.018,87
2	\$83.018,87	\$20.320,10	\$19.982,61	\$337,49	\$82.681,38
3	\$82.681,38	\$20.320,10	\$19.901,38	\$418,72	\$82.262,65
4	\$82.262,65	\$20.320,10	\$19.800,59	\$519,51	\$81.743,15
5	\$81.743,15	\$20.320,10	\$19.675,55	\$644,55	\$81.098,59
6	\$81.098,59	\$20.320,10	\$19.520,40	\$799,70	\$80.298,89
7	\$80.298,89	\$20.320,10	\$19.327,92	\$992,18	\$79.306,71
8	\$79.306,71	\$20.320,10	\$19.089,10	\$1.231,00	\$78.075,71
9	\$78.075,71	\$20.320,10	\$18.792,80	\$1.527,31	\$76.548,40
10	\$76.548,40	\$20.320,10	\$18.425,17	\$1.894,93	\$74.653,47
11	\$74.653,47	\$20.320,10	\$17.969,07	\$2.351,04	\$72.302,44
12	\$72.302,44	\$20.320,10	\$17.403,17	\$2.916,93	\$69.385,51
13	\$69.385,51	\$20.320,10	\$16.701,07	\$3.619,03	\$65.766,48
14	\$65.766,48	\$20.320,10	\$15.829,97	\$4.490,13	\$61.276,34
15	\$61.276,34	\$20.320,10	\$14.749,19	\$5.570,91	\$55.705,44
16	\$55.705,44	\$20.320,10	\$13.408,28	\$6.911,82	\$48.793,61
17	\$48.793,61	\$20.320,10	\$11.744,61	\$8.575,50	\$40.218,12
18	\$40.218,12	\$20.320,10	\$9.680,49	\$10.639,61	\$29.578,50
19	\$29.578,50	\$20.320,10	\$7.119,54	\$13.200,57	\$16.377,94
20	\$16.377,94	\$20.320,10	\$3.942,16	\$16.377,94	\$0,00
Total	\$0,00	\$406.402,03	\$323.111,15	\$83.290,88	

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Al considerar el periodo de recuperación de la inversión, llega a obtenerse lo siguiente:

$$PR_c = \frac{\ln\left(\frac{-Q}{I_0 \times k - Q}\right)}{\ln(1+k)}$$

$$PR_c = \frac{\ln\left(\frac{-20.320,10}{83.290,88 \times 0,0799 - 20.320,10}\right)}{\ln(1+0,0799)}$$

$$PR_c = 5,16$$

Por lo tanto, la inversión podría recuperarse en 5 años, 1 mes y 28 días.

12.6.3. Escenario 3

En este caso se plantea encontrar el costo del kWh para que la universidad gane solo la tasa de descuento y recupere los gastos del proyecto, al considerar la inversión e interés anual del 7,99% en un periodo de 20 años.

$$\text{Valor total a recibir} = [(FRC \times \text{Inversión}) + \text{Gasto anual}] \times n \quad (63)$$

$$\text{Valor total a recibir} = \left\{ \left[\frac{0,0799(1+0,0799)^{20}}{(1+0,0799)^{20} - 1} \right] (83.290,88 \text{ USD}) + (758,27 \text{ USD}) \right\} (20)$$

$$\text{Valor total a recibir} = 184.706,36 \text{ USD}$$

$$\text{Cargo por energía [USD/kWh]} = \frac{\text{Valor total a recibir [USD]}}{(E_{a102\%} [\text{kWh}])(n)} \quad (64)$$

$$\text{Cargo por energía} = \frac{184.706,36 \text{ USD}}{(30943 \text{ kWh})(20)}$$

$$\text{Cargo por energía} = 0,2985 \text{ USD/kWh}$$

Tabla 25. Evaluación financiera con un costo de 0,2985* USD/kWh.

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
0	\$83.290,88			-\$83.290,88	-\$83.290,88
1		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$7.849,85
2		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$7.269,05

Inversión	\$83.290,88	Plazo	20 años	Tasa de interés anual	7,99%
Periodos	Egreso		Ingreso	Flujo de Caja Neto	Valor Actual
	Inversión	Gastos			
3		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$6.731,22
4		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$6.233,19
5		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$5.772,01
6		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$5.344,95
7		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$4.949,48
8		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$4.583,28
9		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$4.244,17
10		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$3.930,15
11		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$3.639,37
12		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$3.370,10
13		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$3.120,75
14		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$2.889,85
15		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$2.676,03
16		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$2.478,04
17		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$2.294,69
18		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$2.124,91
19		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$1.967,69
20		\$758,27	\$9.235,32	\$8.477,05	\$1.822,11
Valor Actual Neto			\$0,00	Tasa Interna de Retorno	7,99%
Relación Beneficio/Costo			1,00		

* Para el cálculo se consideró todas las unidades decimales

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Como se puede observar, el VAN es cero y la TIR es igual al COK, por tanto, el proyecto solo gana el interés propuesto del 7,99%. De acuerdo a este resultado, la relación beneficio/costo, por cada dólar invertido en la instalación fotovoltaica, el plantel educativo no obtiene una ganancia superior a la tasa de descuento.

De esta manera, el mejor escenario es el segundo al recuperar la inversión y obtener ganancias, con un precio de 0,6822 USD/kWh, vigente en el pliego tarifario 2019.

La figura 40 muestra los ingresos a diferentes costos de energía comparados con el tercer escenario.

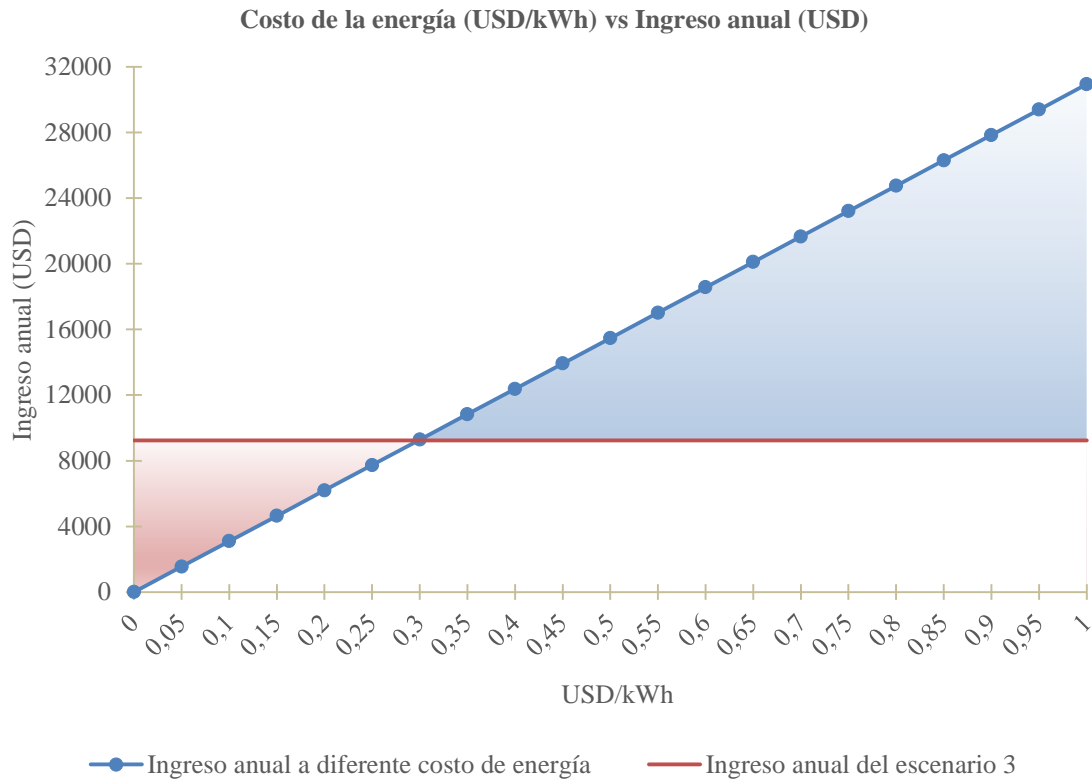


Figura 40. Zona de pérdidas (relleno rojo) y beneficios adicionales (sombreado azul).

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Gráficamente los costos de energía por debajo del escenario 3 generan pérdidas, al contrario, con cargos mayores a 0,2985 USD/kWh, la universidad recupera su inversión y obtiene ganancias superiores a la tasa de descuento.

13. IMPACTOS

Los impactos esperados al implementar el presente proyecto de investigación son los siguientes:

13.1. Impacto Técnico

El proyecto al inyectar 30336 kWh anualmente en el bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, reduce la energía suministrada por el transformador.

13.2. Impacto Ambiental

El presente proyecto contribuye en el cuidado del medio ambiente, por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, con un total de 18,42 toneladas de CO₂ al año.

13.3. Impacto Económico

La Universidad Técnica de Cotopaxi genera ganancias adicionales en el proyecto y recupera la inversión en un plazo de 20 años, con una tasa interna de retorno del 24,07%, cuando el precio de la energía eléctrica es de 0,6812 USD/kWh.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- De acuerdo al análisis del potencial solar, la Universidad Técnica de Cotopaxi cuenta con un promedio anual de 4,34 HSP en el día, valor óptimo para la incorporación de proyectos fotovoltaicos.
- La demanda promedio máxima del edificio B de la Universidad Técnica de Cotopaxi es de 35,11 kW, registrado el día miércoles a las 6:00 pm, con un factor de potencia de 0,939. Además, en el horario de 8:00 am a 5:00 pm donde va a funcionar el sistema fotovoltaico conectado a la red, el factor de potencia casi llega a 1.
- A través de la determinación del sur geográfico, la institución cuenta con un ángulo azimut de 22°, mismo que maximiza el aprovechamiento de la radiación en los paneles fotovoltaicos.
- La capacidad instalada del sistema fotovoltaico es de 26,4 kW dividida en dos grupos: 14,4 kW y 12 kW, con un total de 66 paneles solares destinados al autoconsumo del bloque B de la UTC durante su funcionamiento habitual. En caso de que la demanda sea inferior a la generación, el SFCR podría inyectar energía a la red eléctrica.
- El Bloque B cuenta con una superficie libre de 958,94 m², de los cuales 218,37 m² fueron utilizados por el sistema fotovoltaico, de manera que queda un área disponible de 740,57 m²; los mismos, podrían ser utilizados para cubrir la demanda de los demás bloques del plantel educativo, mediante el incremento de la capacidad instalada del SFCR.
- Al considerar el mes con mayor irradiación, el sistema fotovoltaico tiene una potencia pico de 24,55 kW a la 1 pm, la cual se estima que sea consumida totalmente por el bloque B, dado que la demanda a la misma hora en el día de menor actividad académica entre semana es de 25,47 kW.
- La instalación fotovoltaica conectada a la red genera anualmente 30336 kWh, que, a su vez evita la emisión de 18,42 toneladas de CO₂ al año, con lo cual el SFCR contribuye al cuidado del medio ambiente.
- Los bonos de carbono en el país no son representativos, ya que su precio medio anual oscila entre 33 centavos por tonelada, el cual ha tendido a la baja durante los últimos 5 años.
- El estudio financiero dio a conocer que el mejor escenario es el segundo por recuperar la inversión, con un precio de 0,6812 USD/kWh, de esta manera, el proyecto tiene un ingreso anual de 21.078,37 USD, VAN de 116.363,42 USD, TIR del 24,07% y B/C de 2,28.

14.2. Recomendaciones

- En caso de que el proyecto no sea implementado en un plazo de 2 años, se debería rediseñar el sistema fotovoltaico conectado a la red, debido al desarrollo de tecnologías más eficientes. Además, realizar mediciones periódicas de la radiación solar para ver la variación que puede existir en la HSP.
- Para bajar los picos de potencia es importante realizar un análisis del comportamiento de la carga del Bloque B con la finalidad de aplanar la curva de demanda, que, a la vez, reduciría el pago de la planilla eléctrica.
- Cualquier sistema fotovoltaico implementado o en estudio, debe orientarse al sur geográfico, con el fin de asegurar la máxima captación de radiación en el módulo; para el caso de los alrededores de la institución el azimut es de 22° , debido a que se encuentra cerca de la línea ecuatorial.
- Antes de implementar la instalación fotovoltaica se debe realizar un estudio de puesta a tierra del sistema eléctrico de la institución.
- Analizar el impacto técnico – económico que tendría un seguidor solar en el sistema fotovoltaico para determinar su factibilidad en su implementación.
- Debido a que el proyecto tiene la posibilidad de aumentar su capacidad instalada mediante una entrada libre del segundo inversor, es necesario colocar de 5 hasta máximo 6 paneles en serie, para evitar voltajes menores o mayores al rango de tensión MPP necesaria.
- Por existir el área disponible en la azotea del bloque B, se debe realizar un estudio más amplio con el propósito de aprovechar el potencial de energía solar del lugar en otros sitios de la institución.
- Si existiera algún incentivo económico al generar energía fotovoltaica, sería adecuado incrementar la capacidad instalada del SFCR, para aumentar los beneficios económicos y ambientales.
- Es conveniente la existencia de un incentivo económico por el gobierno, o a su vez que la institución busque apoyo financiero externo interesado en el cambio climático mediante proyectos relacionados con las energías renovables, caso contrario los sistemas fotovoltaicos se encarecen y no tienen validez para una inversión.
- La instalación fotovoltaica conectada a la red podría ser enfocada al ámbito educativo, ya que permitiría a los estudiantes realizar investigaciones de radiación solar y eficiencia del SFCR, con sus respectivas variables en tiempo real.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Casa y M. Barrio, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Barcelona, España: Marcombo, 2012.
- [2] A. Martínez, *UF0150: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*, 5ta. ed. España: Elearning, 2012.
- [3] O. Perpiñán, *Energía solar fotovoltaica*, ed. 1.9. España: Creative commons, 2018.
- [4] A. Castejón y G. Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. España: Editex commons, 2010.
- [5] A. Lira, “Radiación solar invisible y arquitectura”, *Bitácora arquitectura*, vol. 12, no. 35, pp. 116-224, Marzo 2017.
- [6] E. A. García, “Diseño de un sistema de generación fotovoltaica con conexión a red y respaldo de energía eléctrica”, tesis de pregrado, CTIE, USB, Sartenejas, Venezuela, 2016.
- [7] Instituto de Tecnologías Educativas. (2016, Agosto 26). Factores que condicionan la insolación terrestre [En línea]. Disponible en: https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/2_factores_que_condicionan_la_insolacion_terrestre.html
- [8] M. Tobajas, *Energía solar fotovoltaica*, 1ra. ed. España: Canopina, 2018.
- [9] CDEA. (2015, Octubre 16). Funcionamiento de la energía fotovoltaica [En línea]. Disponible en: <http://www.construccion-sustentable.cl/wp-content/uploads/2015/03/Presentaci%C3%B3n-2-Funcionamiento-Celulas-FV.pdf>
- [10] M. Sánchez, *Energía solar fotovoltaica*, 1ra. ed. México: Limusa, 2010.
- [11] P. García, *Energías renovables*, 1ra. ed. Salvador: Escoda S.A, 2018.
- [12] J. Carta, R. Calero, A. Colmenar y M. Castro, *Centrales de energías renovables*, 1ra. ed. Madrid, España: Pearson Prentice Hall y UNED, 2009.
- [13] Simec Chile SRL, “Sistemas de iluminación de bajo consumo, utilizando paneles fotovoltaicos”, Valdivia, Chile, 2010.
- [14] O. Style, *Energía solar autónoma*, 1ra. ed. México: ITACA, 2012.

- [15] Ingelibre. (2014, Noviembre 09). Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica [En línea]. Disponible en: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- [16] Acesolar. (2017, Diciembre 04). Generación distribuida [En línea]. Disponible en: <http://www.acesolar.org/que-es-generacion-distribuida/>
- [17] Esco-tel. (2013, Abril 14). Paneles solares para generar energía solar fotovoltaica [En línea]. Disponible en: http://www.esco-tel.com/paneles_solares.html
- [18] Instituto Tecnológico de Canarias, *Energías renovables y eficiencia energética*, 1ra. ed. Canaria: ITC, 2008.
- [19] Renova energía. (2015, Marzo 21). Inversores de conexión a red [En línea]. Disponible en: <https://www.renova-energia.com/productos/inversores-conexion-red/>
- [20] ARCONEL, “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, Ecuador, 003/18, Octubre 22, 2018.
- [21] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*, 3ra. ed. Colombia: UNAL, 2004.
- [22] J. Juárez, *Sistemas de distribución de energía eléctrica*, 1ra. ed. México: UNAM, 1995.
- [23] R. Espinosa y Lara, *Sistemas de distribución*, 1ra. ed. México: Limusa, 1990.
- [24] H. Espíritu. (2015, Octubre 05). Curva de carga o de demanda [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/HiberFranciscoEspiritu/curvas-decargaygeneracin>
- [25] M. Moro, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2018.
- [26] V. Mascarós, *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2016.
- [27] J. Viloría, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2010.
- [28] EREN, *Energía solar fotovoltaica: Manual del proyectista*, 1ra. ed. España: Junta de Castilla y León, 2004.
- [29] J. Cantos, *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2016.
- [30] T. Díaz y G. Carmona, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra. ed. España: McGraw-Hill, 2010.

- [31] INEN, “Alambres de cobre semiduro de sección circular para uso eléctrico. Requisitos y métodos de ensayo”, 2174, Octubre, 2016.
- [32] INEN, “Cables telefónicos de acometida, instalaciones interiores y de cruzada. Requisitos”, 2 538, 2010.
- [33] J. Toledano y J. Sanz, *Instalaciones de distribución*, 2da. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2013.
- [34] NEC, “Instalaciones electromecánicas”, 11 Cap. 15, Enero, 2013.
- [35] NFPA, “Código eléctrico nacional”, 70, Agosto 2013, 2014.
- [36] MAE. (2013, Noviembre 22). Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador Informe 2013 [En línea]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Factor-de-emisi%C3%B3n-2013-PUBLICADO.pdf>
- [37] Apogee instruments. (2010, Marzo 18). Piranómetro Serie MP-100 & 200 [En línea]. Disponible en: https://www.proviento.com.pe/MP-100_200specs.pdf
- [38] M. Holguín y D. Gomezcoello, “Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana”, tesis de pregrado, FI, UPS, Guayaquil, Ecuador, 2010.
- [39] Fluke. (2012, Julio 06). Analizadores de la energía y de la calidad eléctrica 435 Serie II Fluke [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/analizadores-de-calidad-electrica/analizadores-trifasicos-de-calidad-electrica/fluke-435-series-ii>
- [40] Fluke. (2012, Julio 06). Manual de uso Fluke 434-II/435-II/437-II. Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica [En línea]. Disponible en: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/F430-II_umspa0100.pdf
- [41] Google. (2019). Google Earth [En línea]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/>
- [42] S. Monroy, *Estadística descriptiva*, 1ra. ed. México: IPN, 2008.
- [43] H. Quevedo y B. Pérez, *Estadística para Ingeniería y Ciencias*, 1ra. ed. México: Patria, 2014.
- [44] R. Murray y J. Larry, *Estadística Schaum*, 4ta. ed. México: McGraw-Hill, 2009.

- [45] ARCONEL, “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, 005/18, Diciembre 28, 2018.
- [46] INEN, “Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Vías de circulación peatonal”, 2243, Febrero 26, 2016.
- [47] INEN, “Símbolos gráficos. Colores de seguridad y señales de seguridad”, ISO 3864-1:2013, Mayo 23, 2013.
- [48] IEC, “Símbolos gráficos para esquemas”, 60617, Junio, 1996.
- [49] NEC, “Instalaciones eléctricas”, NEC-SB-IE, Febrero, 2018.
- [50] SUNPOWER. (2019, Enero 09). Panel fotovoltaico residencial MAXEON 3 400 W [En línea]. Disponible en: https://www.awsolar.com.au/wp-content/uploads/2019/04/sp_MAX3-400-390-370_ds_au_a4_mc4_532418.pdf
- [51] Fronius. (2019, Febrero 08). Datos técnicos Fronius Symo [En línea]. Disponible en: https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Datasheets/SE_DS_Fronius_Symo_ES_MX.pdf
- [52] Fronius. (2015, Octubre 28). Manual de instrucciones Fronius Symo [En línea]. Disponible en: <https://www.wholesalesolar.com/cms/fronius-fronius-symo-lite-12.0-3-12kw-inverter-3-phase-208-240-inverter-manual-3641133606.pdf>
- [53] Conelsa. (2015, Diciembre 07). Catálogo de productos de cobre [En línea]. Disponible en: <http://www.conelsa.com.ec/uploads/category/cobre-final.pdf>
- [54] G. Enríquez, *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*, 1ra. ed. México: Limusa, 2004.
- [55] G. Enríquez, *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*, 2da. ed. México: Limusa, 2004.
- [56] INEN, “Conductores y alambres para uso eléctrico aislados con material termoplástico”, 021, 2008.
- [57] M. Sobrevila y A. Farina, *Instalaciones eléctricas*, 1ra. ed. Buenos Aires, Argentina: Alsina, 2014.
- [58] J. Moreno, D. Lasso y C. Fernández, *Instalaciones eléctricas interiores*, 4ta. ed. Madrid, España: Paraninfo, 2016.

- [59] Schneider Electric. (2012, Septiembre 25). Interruptor termomagnético A9N61528 [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/download-pdf/A9N61528>
- [60] Schneider Electric. (2011, Febrero 28). Limitador de sobrevoltajes A9L16434 [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/download-pdf/A9L16434>
- [61] EATON. (2017, Mayo 11). Fusible Bussmann diseñado específicamente para aplicaciones fotovoltaicas [En línea]. Disponible en: https://www.cesco.com/resources/pdf_CC8/ID-SPE-v1-bus-ele-ds-2153-pvm-fuse.pdf
- [62] LSIS. (2017, Mayo 11). Productos eléctricos LSIS [En línea]. Disponible en: <http://manelsa.com.pe/documentos/237/descargar>
- [63] Druseidt Elektrotechnik. (2008, Enero 18). Barras conductoras, mecanización de metales no féreos y accesorios [En línea]. Disponible en: <https://www1.druseidt.de/pdf/0108spa.pdf>
- [64] BEAUCOUP. (2018, Noviembre 20). Catálogo de productos Beaucoup [En línea]. Disponible en: <https://www.inselec.com.ec/wp-content/uploads/2018/12/CATALOGO-BEAUCOUP.pdf>
- [65] ARCONEL, “Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado. Servicio público de energía eléctrica. Periodo: Enero – Diciembre 2019”, Enero 31, 2019.
- [66] SENDECO₂. (2019, Julio 01). Comprar y vender CO₂ [En línea]. Disponible en: <https://www.sendeco2.com/es/comprar-y-vender-co2>
- [67] J. Rodríguez, E. Rodríguez y A. Pierdant, *Matemáticas financieras*, 1ra. ed. México: Patria, 2014.
- [68] J. Flórez, *Matemáticas financieras empresariales*, 2da. ed. Bogotá, Colombia: ECOE, 2011.
- [69] V. Alvarado, *Ingeniería económica, nuevo enfoque*, 1ra. ed. México: Patria, 2014.
- [70] BCE. (2019, Julio 01). Tasas de interés efectivas vigentes [En línea]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasHistorico.htm>
- [71] C. Aching, *Matemáticas financieras para toma de decisiones empresariales*, 1ra. ed. España: B-EUMED, 2006.
- [72] A. Martínez, *Bases de economía*, 1ra. ed. España: UCLM, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019										
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S				
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)		
1	7:00	01/02/2019	0	0	8	8	5,29 ≈ 6	1,33 ≈ 2		
		02/02/2019	1							
		03/02/2019	0							
		04/02/2019	0							
		05/02/2019	0							
		06/02/2019	1							
		07/02/2019	2							
		08/02/2019	2							
		09/02/2019	1							
		10/02/2019	1							
		11/02/2019	0							
		12/02/2019	0							
		13/02/2019	0							
		14/02/2019	1							
		15/02/2019	2							
		16/02/2019	1							
		17/02/2019	1							
		18/02/2019	0							
		19/02/2019	1							
		20/02/2019	1							
		21/02/2019	0							
		22/02/2019	1							
		23/02/2019	2							
		24/02/2019	1							
		25/02/2019	0							
		26/02/2019	8							
		27/02/2019	1							
		28/02/2019	2							

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[0;2)	22	22	1
[2;4)	5	27	3
[4;6)	0	27	5
[6;8)	0	27	7
[8;10)	1	28	9
[10;12]	0	28	11
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 2. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
2	7:30	01/02/2019	18	7	58	51	5,29 ≈ 6	8,5 ≈ 9
		02/02/2019	16					
		03/02/2019	13					
		04/02/2019	9					
		05/02/2019	7					
		06/02/2019	7					
		07/02/2019	21					
		08/02/2019	23					
		09/02/2019	18					
		10/02/2019	15					
		11/02/2019	17					
		12/02/2019	16					
		13/02/2019	7					
		14/02/2019	19					
		15/02/2019	15					
		16/02/2019	29					
		17/02/2019	11					
		18/02/2019	12					
		19/02/2019	17					
		20/02/2019	9					
		21/02/2019	7					
		22/02/2019	7					
		23/02/2019	19					
		24/02/2019	24					
		25/02/2019	12					
		26/02/2019	58					
		27/02/2019	23					
		28/02/2019	29					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[7;16)	13	13	11,5
[16;25)	12	25	20,5
[25;34)	2	27	29,5
[34;43)	0	27	38,5
[43;52)	0	27	47,5
[52;61]	1	28	56,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencias

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 3. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 8:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
3	8:00	01/02/2019	57	28	86	58	5,29 ≈ 6	9,67 ≈ 10
		02/02/2019	61					
		03/02/2019	50					
		04/02/2019	28					
		05/02/2019	39					
		06/02/2019	45					
		07/02/2019	36					
		08/02/2019	49					
		09/02/2019	69					
		10/02/2019	41					
		11/02/2019	57					
		12/02/2019	42					
		13/02/2019	62					
		14/02/2019	59					
		15/02/2019	81					
		16/02/2019	65					
		17/02/2019	52					
		18/02/2019	74					
		19/02/2019	41					
		20/02/2019	51					
		21/02/2019	41					
		22/02/2019	37					
		23/02/2019	50					
		24/02/2019	53					
		25/02/2019	35					
		26/02/2019	51					
		27/02/2019	49					
		28/02/2019	86					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[28;38)	4	4	33
[38;48)	6	10	43
[48;58)	10	20	53
[58;68)	4	24	63
[68;78)	2	26	73
[78;88]	2	28	83
Total	28		

Histograma de frecuencia

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia
33	4
43	6
53	10
63	4
73	2
83	2

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 4. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 8:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
4	8:30	01/02/2019	87	30	195	165	5,29 ≈ 6	27,5 ≈ 28
		02/02/2019	148					
		03/02/2019	102					
		04/02/2019	30					
		05/02/2019	169					
		06/02/2019	114					
		07/02/2019	147					
		08/02/2019	121					
		09/02/2019	111					
		10/02/2019	107					
		11/02/2019	178					
		12/02/2019	98					
		13/02/2019	68					
		14/02/2019	99					
		15/02/2019	142					
		16/02/2019	150					
		17/02/2019	133					
		18/02/2019	140					
		19/02/2019	105					
		20/02/2019	124					
		21/02/2019	91					
		22/02/2019	83					
		23/02/2019	147					
		24/02/2019	102					
		25/02/2019	70					
		26/02/2019	107					
		27/02/2019	87					
		28/02/2019	195					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[30;58)	1	1	44
[58;86)	3	4	72
[86;114)	11	15	100
[114;142)	5	20	128
[142;170)	6	26	156
[170;198]	2	28	184
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencias

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 5. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 9:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
5	9:00	01/02/2019	98	60	355	295	5,29 ≈ 6	49,17≈50
		02/02/2019	288					
		03/02/2019	117					
		04/02/2019	60					
		05/02/2019	247					
		06/02/2019	195					
		07/02/2019	156					
		08/02/2019	284					
		09/02/2019	232					
		10/02/2019	239					
		11/02/2019	311					
		12/02/2019	275					
		13/02/2019	87					
		14/02/2019	140					
		15/02/2019	299					
		16/02/2019	355					
		17/02/2019	216					
		18/02/2019	225					
		19/02/2019	269					
		20/02/2019	204					
		21/02/2019	97					
		22/02/2019	191					
		23/02/2019	217					
		24/02/2019	146					
		25/02/2019	124					
		26/02/2019	312					
		27/02/2019	140					
		28/02/2019	189					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[60;110)	4	4	85
[110;160)	6	10	135
[160;210)	4	14	185
[210;260)	6	20	235
[260;310)	5	25	285
[310;360]	3	28	335
Total	28		

Histograma de frecuencia

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia
85	4
135	6
185	4
235	6
285	5
335	3

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 6. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 9:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
6	9:30	01/02/2019	152	117	568	451	5,29 ≈ 6	75,17≈76
		02/02/2019	461					
		03/02/2019	252					
		04/02/2019	117					
		05/02/2019	180					
		06/02/2019	277					
		07/02/2019	227					
		08/02/2019	421					
		09/02/2019	435					
		10/02/2019	404					
		11/02/2019	282					
		12/02/2019	227					
		13/02/2019	154					
		14/02/2019	155					
		15/02/2019	488					
		16/02/2019	499					
		17/02/2019	259					
		18/02/2019	374					
		19/02/2019	335					
		20/02/2019	194					
		21/02/2019	219					
		22/02/2019	305					
		23/02/2019	568					
		24/02/2019	212					
		25/02/2019	487					
		26/02/2019	392					
		27/02/2019	364					
		28/02/2019	266					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[117;193)	5	5	155
[193;269)	8	13	231
[269;345)	4	17	307
[345;421)	4	21	383
[421;497)	5	26	459
[497;573]	2	28	535
Total	28		

Histograma de frecuencia

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia
155	5
231	8
307	4
383	4
459	5
535	2

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 7. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 10:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S																																					
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																					
7	10:00	01/02/2019	231	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Valor mínimo</td> <td>Valor máximo</td> <td>Rango (R)</td> <td>Número de intervalos (Nc)</td> <td>Amplitud (Tc)</td> </tr> <tr> <td>144</td> <td>694</td> <td>550</td> <td>5,29 ≈ 6</td> <td>91,67≈92</td> </tr> </table>	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)	144	694	550	5,29 ≈ 6	91,67≈92																										
		Valor mínimo	Valor máximo		Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																	
		144	694	550	5,29 ≈ 6	91,67≈92																																		
		02/02/2019	323	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> <tr> <td>[144;236)</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>[236;328)</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>282</td> </tr> <tr> <td>[328;420)</td> <td>10</td> <td>17</td> <td>374</td> </tr> <tr> <td>[420;512)</td> <td>5</td> <td>22</td> <td>466</td> </tr> <tr> <td>[512;604)</td> <td>3</td> <td>25</td> <td>558</td> </tr> <tr> <td>[604;696]</td> <td>3</td> <td>28</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[144;236)	3	3	190	[236;328)	4	7	282	[328;420)	10	17	374	[420;512)	5	22	466	[512;604)	3	25	558	[604;696]	3	28	650	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase		Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i		F _i	X _i																																		
		[144;236)	3		3	190																																		
		[236;328)	4		7	282																																		
		[328;420)	10		17	374																																		
		[420;512)	5		22	466																																		
		[512;604)	3		25	558																																		
		[604;696]	3		28	650																																		
		Total	28																																					
		03/02/2019	347																																					
		04/02/2019	144																																					
		05/02/2019	330																																					
		06/02/2019	242																																					
		07/02/2019	360																																					
		08/02/2019	446																																					
		09/02/2019	499																																					
		10/02/2019	413																																					
		11/02/2019	371																																					
		12/02/2019	252																																					
		13/02/2019	338																																					
		14/02/2019	223																																					
		15/02/2019	594																																					
		16/02/2019	611																																					
		17/02/2019	328																																					
18/02/2019	506																																							
19/02/2019	423																																							
20/02/2019	346																																							
21/02/2019	405																																							
22/02/2019	363																																							
23/02/2019	570																																							
24/02/2019	290																																							
25/02/2019	553																																							
26/02/2019	694																																							
27/02/2019	645																																							
28/02/2019	509																																							

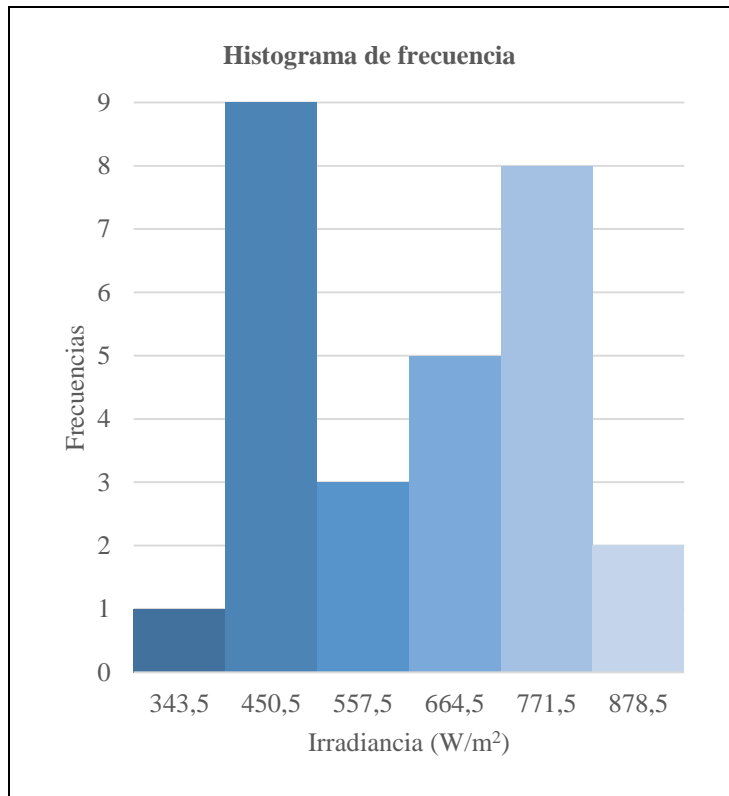
Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia (f _i)
[144;236)	3
[236;328)	4
[328;420)	10
[420;512)	5
[512;604)	3
[604;696]	3

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 8. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 11:00 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

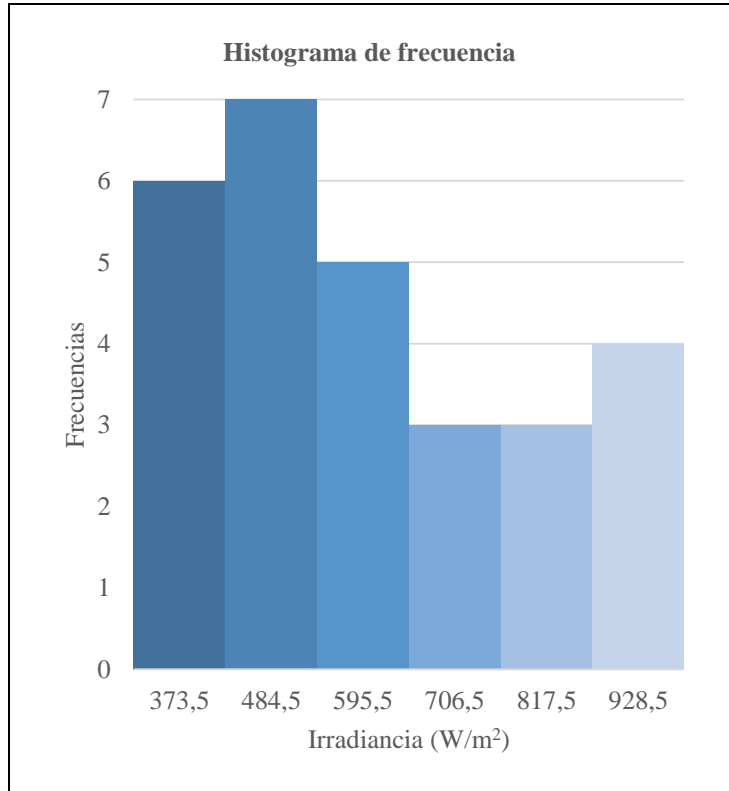
IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																													
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																							
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
8	11:00	01/02/2019	413	290	930	640	5,29 ≈ 6	106,67 ≈ 107																																					
		02/02/2019	474	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[290;397)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>343,5</td> </tr> <tr> <td>[397;504)</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>450,5</td> </tr> <tr> <td>[504;611)</td> <td>3</td> <td>13</td> <td>557,5</td> </tr> <tr> <td>[611;718)</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>664,5</td> </tr> <tr> <td>[718;825)</td> <td>8</td> <td>26</td> <td>771,5</td> </tr> <tr> <td>[825;932]</td> <td>2</td> <td>28</td> <td>878,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[290;397)	1	1	343,5	[397;504)	9	10	450,5	[504;611)	3	13	557,5	[611;718)	5	18	664,5	[718;825)	8	26	771,5	[825;932]	2	28	878,5	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase							Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i							F _i	X _i																																		
		[290;397)	1							1	343,5																																		
		[397;504)	9							10	450,5																																		
		[504;611)	3							13	557,5																																		
		[611;718)	5							18	664,5																																		
		[718;825)	8							26	771,5																																		
		[825;932]	2							28	878,5																																		
		Total	28																																										
		03/02/2019	401																																										
		04/02/2019	290																																										
		05/02/2019	760																																										
		06/02/2019	455																																										
		07/02/2019	692																																										
		08/02/2019	601																																										
		09/02/2019	769																																										
		10/02/2019	478																																										
		11/02/2019	469																																										
		12/02/2019	658																																										
		13/02/2019	509																																										
		14/02/2019	492																																										
		15/02/2019	782																																										
		16/02/2019	788																																										
		17/02/2019	623																																										
		18/02/2019	772																																										
		19/02/2019	714																																										
20/02/2019	397																																												
21/02/2019	518																																												
22/02/2019	427																																												
23/02/2019	775																																												
24/02/2019	621																																												
25/02/2019	814																																												
26/02/2019	847																																												
27/02/2019	769																																												
28/02/2019	930																																												



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 9. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 11:30 am sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

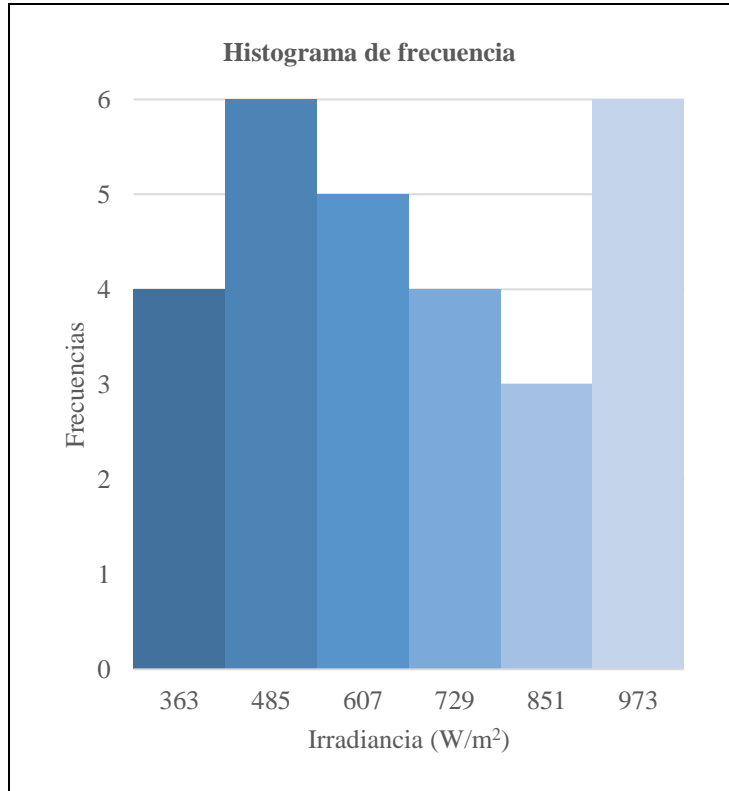
IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																													
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																							
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
9	11:30	01/02/2019	389	318	982	664	5,29 ≈ 6	110,67 ≈ 111																																					
		02/02/2019	510	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[318;429)</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>373,5</td> </tr> <tr> <td>[429;540)</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>484,5</td> </tr> <tr> <td>[540;651)</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>595,5</td> </tr> <tr> <td>[651;762)</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>706,5</td> </tr> <tr> <td>[762;873)</td> <td>3</td> <td>24</td> <td>817,5</td> </tr> <tr> <td>[873;984]</td> <td>4</td> <td>28</td> <td>928,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[318;429)	6	6	373,5	[429;540)	7	13	484,5	[540;651)	5	18	595,5	[651;762)	3	21	706,5	[762;873)	3	24	817,5	[873;984]	4	28	928,5	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase							Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i							F _i	X _i																																		
		[318;429)	6							6	373,5																																		
		[429;540)	7							13	484,5																																		
		[540;651)	5							18	595,5																																		
		[651;762)	3							21	706,5																																		
		[762;873)	3							24	817,5																																		
		[873;984]	4							28	928,5																																		
		Total	28																																										
		03/02/2019	409																																										
		04/02/2019	556																																										
		05/02/2019	883																																										
		06/02/2019	659																																										
		07/02/2019	564																																										
		08/02/2019	750																																										
		09/02/2019	522																																										
		10/02/2019	416																																										
		11/02/2019	500																																										
		12/02/2019	621																																										
		13/02/2019	593																																										
		14/02/2019	411																																										
		15/02/2019	851																																										
		16/02/2019	861																																										
		17/02/2019	799																																										
		18/02/2019	512																																										
		19/02/2019	677																																										
20/02/2019	318																																												
21/02/2019	401																																												
22/02/2019	478																																												
23/02/2019	528																																												
24/02/2019	584																																												
25/02/2019	982																																												
26/02/2019	951																																												
27/02/2019	963																																												
28/02/2019	502																																												



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 10. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 12:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																													
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																							
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
10	12:00	01/02/2019	568	302	1032	730	5,29 ≈ 6	121,67 ≈ 122																																					
		02/02/2019	462	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[302;424)</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>363</td> </tr> <tr> <td>[424;546)</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>485</td> </tr> <tr> <td>[546;668)</td> <td>5</td> <td>15</td> <td>607</td> </tr> <tr> <td>[668;790)</td> <td>4</td> <td>19</td> <td>729</td> </tr> <tr> <td>[790;912)</td> <td>3</td> <td>22</td> <td>851</td> </tr> <tr> <td>[912;1034]</td> <td>6</td> <td>28</td> <td>973</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[302;424)	4	4	363	[424;546)	6	10	485	[546;668)	5	15	607	[668;790)	4	19	729	[790;912)	3	22	851	[912;1034]	6	28	973	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase							Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i							F _i	X _i																																		
		[302;424)	4							4	363																																		
		[424;546)	6							10	485																																		
		[546;668)	5							15	607																																		
		[668;790)	4							19	729																																		
		[790;912)	3							22	851																																		
		[912;1034]	6							28	973																																		
		Total	28																																										
		03/02/2019	455																																										
		04/02/2019	842																																										
		05/02/2019	925																																										
		06/02/2019	530																																										
		07/02/2019	498																																										
		08/02/2019	706																																										
		09/02/2019	383																																										
		10/02/2019	422																																										
		11/02/2019	668																																										
		12/02/2019	710																																										
		13/02/2019	636																																										
		14/02/2019	432																																										
		15/02/2019	895																																										
		16/02/2019	891																																										
		17/02/2019	945																																										
		18/02/2019	569																																										
		19/02/2019	594																																										
20/02/2019	335																																												
21/02/2019	302																																												
22/02/2019	547																																												
23/02/2019	533																																												
24/02/2019	1019																																												
25/02/2019	1032																																												
26/02/2019	992																																												
27/02/2019	976																																												
28/02/2019	740																																												



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 11. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 12:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
11	12:30	01/02/2019	578	317	1010	693	5,29 ≈ 6	115,5 ≈ 116
		02/02/2019	535					
		03/02/2019	390					
		04/02/2019	592					
		05/02/2019	857					
		06/02/2019	382					
		07/02/2019	348					
		08/02/2019	737					
		09/02/2019	541					
		10/02/2019	429					
		11/02/2019	612					
		12/02/2019	896					
		13/02/2019	944					
		14/02/2019	524					
		15/02/2019	935					
		16/02/2019	951					
		17/02/2019	965					
		18/02/2019	489					
		19/02/2019	464					
		20/02/2019	405					
		21/02/2019	679					
		22/02/2019	317					
		23/02/2019	509					
		24/02/2019	466					
		25/02/2019	860					
		26/02/2019	1010					
		27/02/2019	913					
		28/02/2019	681					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[317;433)	6	6	375
[433;549)	7	13	491
[549;665)	3	16	607
[665;781)	3	19	723
[781;897)	3	22	839
[897;1013]	6	28	955
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 12. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a la 1:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
12	13:00	01/02/2019	459	337	1101	764	5,29 ≈ 6	127,33 ≈ 128
		02/02/2019	601					
		03/02/2019	451					
		04/02/2019	639					
		05/02/2019	986					
		06/02/2019	421					
		07/02/2019	422					
		08/02/2019	829					
		09/02/2019	349					
		10/02/2019	451					
		11/02/2019	380					
		12/02/2019	618					
		13/02/2019	1101					
		14/02/2019	400					
		15/02/2019	1021					
		16/02/2019	903					
		17/02/2019	999					
		18/02/2019	359					
		19/02/2019	524					
		20/02/2019	409					
		21/02/2019	724					
		22/02/2019	463					
		23/02/2019	429					
		24/02/2019	337					
		25/02/2019	620					
		26/02/2019	1000					
		27/02/2019	761					
		28/02/2019	661					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[337;465)	13	13	401
[465;593)	1	14	529
[593;721)	5	19	657
[721;849)	3	22	785
[849;977)	1	23	913
[977;1105]	5	28	1041
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 13. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a la 1:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
13	13:30	01/02/2019	625	312	1060	748	5,29 ≈ 6	124,67 ≈ 125
		02/02/2019	549					
		03/02/2019	485					
		04/02/2019	630					
		05/02/2019	800					
		06/02/2019	479					
		07/02/2019	337					
		08/02/2019	510					
		09/02/2019	417					
		10/02/2019	472					
		11/02/2019	380					
		12/02/2019	575					
		13/02/2019	761					
		14/02/2019	477					
		15/02/2019	944					
		16/02/2019	1011					
		17/02/2019	814					
		18/02/2019	488					
		19/02/2019	647					
		20/02/2019	312					
		21/02/2019	417					
		22/02/2019	609					
		23/02/2019	754					
		24/02/2019	424					
		25/02/2019	1060					
		26/02/2019	994					
		27/02/2019	1012					
		28/02/2019	929					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[312;437)	6	6	374,5
[437;562)	7	13	499,5
[562;687)	5	18	624,5
[687;812)	3	21	749,5
[812;937)	2	23	874,5
[937;1062]	5	28	999,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia (f _i)
[312;437)	6
[437;562)	7
[562;687)	5
[687;812)	3
[812;937)	2
[937;1062]	5

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 14. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 2:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019					
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)		
14	14:00	01/02/2019	473	Valor mínimo	
		02/02/2019	602	Valor máximo	
		03/02/2019	774	Rango (R)	
		04/02/2019	551	Número de intervalos (Nc)	
		05/02/2019	788	Amplitud (Tc)	
		06/02/2019	672		
		07/02/2019	231		
		08/02/2019	903		
		09/02/2019	468		
		10/02/2019	543		
		11/02/2019	536		
		12/02/2019	969		
		13/02/2019	860		
		14/02/2019	493		
		15/02/2019	959		
		16/02/2019	975		
		17/02/2019	961		
		18/02/2019	488		
		19/02/2019	660		
		20/02/2019	736		
		21/02/2019	499		
		22/02/2019	371		
		23/02/2019	807		
		24/02/2019	376		
		25/02/2019	920		
		26/02/2019	931		
		27/02/2019	864		
		28/02/2019	901		

231	975	744	5,29 ≈ 6	124
-----	-----	-----	----------	-----

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[231;355)	1	1	293
[355;479)	4	5	417
[479;603)	7	12	541
[603;727)	2	14	665
[727;851)	4	18	789
[851;975]	10	28	913
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 15. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 2:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
15	14:30	01/02/2019	435	218	1013	795	5,29 ≈ 6	132,5 ≈ 133
		02/02/2019	574					
		03/02/2019	356					
		04/02/2019	625					
		05/02/2019	974					
		06/02/2019	674					
		07/02/2019	218					
		08/02/2019	919					
		09/02/2019	826					
		10/02/2019	346					
		11/02/2019	488					
		12/02/2019	919					
		13/02/2019	652					
		14/02/2019	501					
		15/02/2019	955					
		16/02/2019	1005					
		17/02/2019	880					
		18/02/2019	565					
		19/02/2019	1013					
		20/02/2019	519					
		21/02/2019	481					
		22/02/2019	452					
		23/02/2019	939					
		24/02/2019	218					
		25/02/2019	318					
		26/02/2019	836					
		27/02/2019	675					
		28/02/2019	928					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[218;351)	4	4	284,5
[351;484)	4	8	417,5
[484;617)	5	13	550,5
[617;750)	4	17	683,5
[750;883)	3	20	816,5
[883;1016]	8	28	949,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencias

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 16. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 3:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
16	15:00	01/02/2019	431	195	943	748	5,29 ≈ 6	124,67 ≈ 125
		02/02/2019	857					
		03/02/2019	399					
		04/02/2019	550					
		05/02/2019	590					
		06/02/2019	526					
		07/02/2019	267					
		08/02/2019	830					
		09/02/2019	506					
		10/02/2019	430					
		11/02/2019	416					
		12/02/2019	904					
		13/02/2019	676					
		14/02/2019	588					
		15/02/2019	848					
		16/02/2019	911					
		17/02/2019	863					
		18/02/2019	579					
		19/02/2019	943					
		20/02/2019	436					
		21/02/2019	485					
		22/02/2019	307					
		23/02/2019	879					
		24/02/2019	195					
		25/02/2019	322					
		26/02/2019	787					
		27/02/2019	649					
		28/02/2019	880					

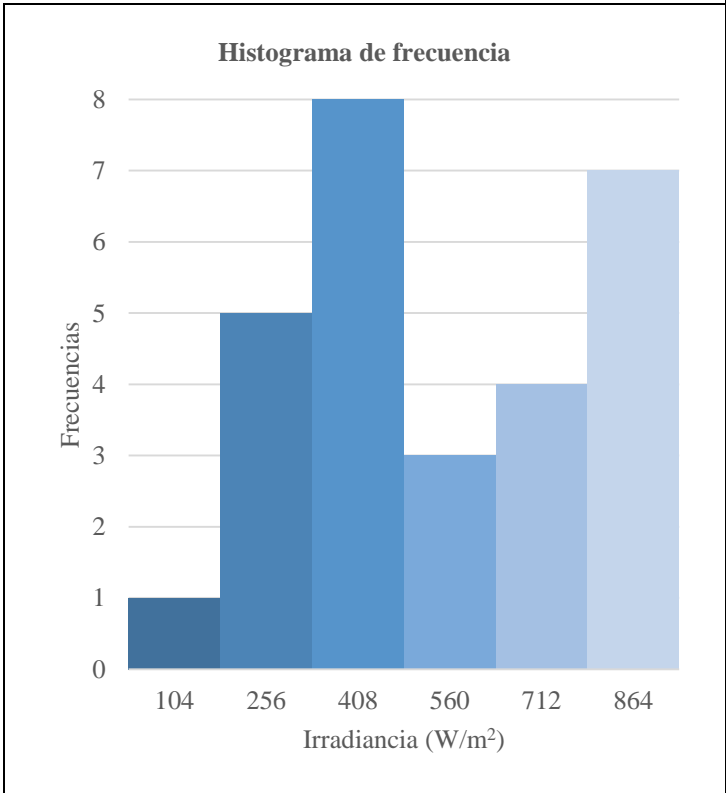
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[195;320)	3	3	257,5
[320;445)	6	9	382,5
[445;570)	4	13	507,5
[570;695)	5	18	632,5
[695;820)	1	19	757,5
[820;945]	9	28	882,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 17. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 3:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

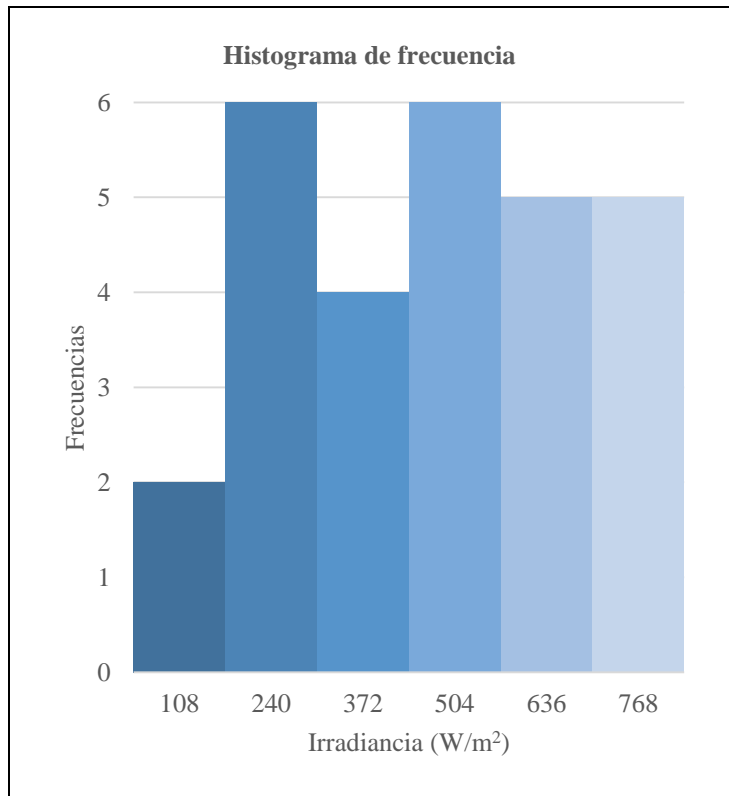
IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																													
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																							
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
17	15:30	01/02/2019	413	28	937	909	5,29 ≈ 6	151,5 ≈ 152																																					
		02/02/2019	786	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[28;180)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>104</td> </tr> <tr> <td>[180;332)</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td>[332;484)</td> <td>8</td> <td>14</td> <td>408</td> </tr> <tr> <td>[484;636)</td> <td>3</td> <td>17</td> <td>560</td> </tr> <tr> <td>[636;788)</td> <td>4</td> <td>21</td> <td>712</td> </tr> <tr> <td>[788;940]</td> <td>7</td> <td>28</td> <td>864</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[28;180)	1	1	104	[180;332)	5	6	256	[332;484)	8	14	408	[484;636)	3	17	560	[636;788)	4	21	712	[788;940]	7	28	864	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase							Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i							F _i	X _i																																		
		[28;180)	1							1	104																																		
		[180;332)	5							6	256																																		
		[332;484)	8							14	408																																		
		[484;636)	3							17	560																																		
		[636;788)	4							21	712																																		
		[788;940]	7							28	864																																		
		Total	28																																										
		03/02/2019	429																																										
		04/02/2019	421																																										
		05/02/2019	937																																										
		06/02/2019	516																																										
		07/02/2019	249																																										
		08/02/2019	812																																										
		09/02/2019	378																																										
		10/02/2019	313																																										
		11/02/2019	374																																										
		12/02/2019	869																																										
		13/02/2019	694																																										
		14/02/2019	475																																										
		15/02/2019	366																																										
		16/02/2019	801																																										
		17/02/2019	786																																										
		18/02/2019	606																																										
		19/02/2019	886																																										
20/02/2019	435																																												
21/02/2019	295																																												
22/02/2019	225																																												
23/02/2019	802																																												
24/02/2019	28																																												
25/02/2019	229																																												
26/02/2019	636																																												
27/02/2019	574																																												
28/02/2019	800																																												



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

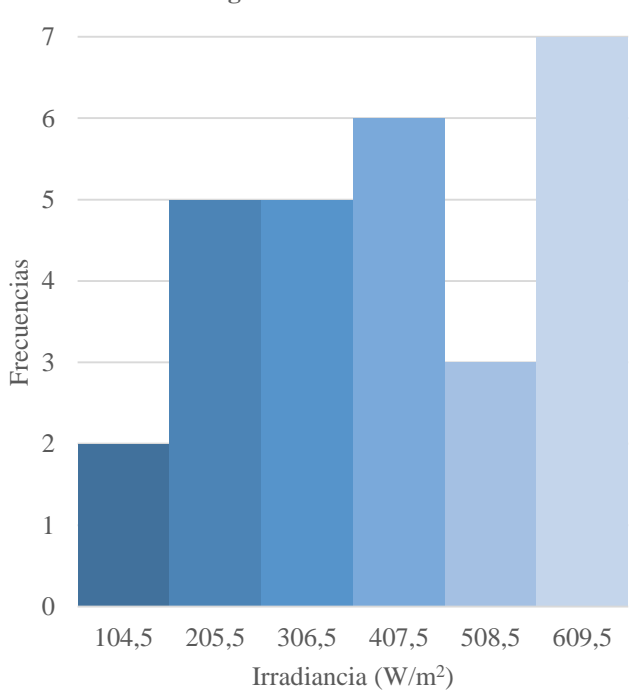
Anexo 18. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 4:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																													
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																							
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																					
18	16:00	01/02/2019	631	42	831	789	5,29 ≈ 6	131,5 ≈ 132																																					
		02/02/2019	617	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[42;174)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>[174;306)</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>240</td> </tr> <tr> <td>[306;438)</td> <td>4</td> <td>12</td> <td>372</td> </tr> <tr> <td>[438;570)</td> <td>6</td> <td>18</td> <td>504</td> </tr> <tr> <td>[570;702)</td> <td>5</td> <td>23</td> <td>636</td> </tr> <tr> <td>[702;834]</td> <td>5</td> <td>28</td> <td>768</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[42;174)	2	2	108	[174;306)	6	8	240	[306;438)	4	12	372	[438;570)	6	18	504	[570;702)	5	23	636	[702;834]	5	28	768	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase							Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i							F _i	X _i																																		
		[42;174)	2							2	108																																		
		[174;306)	6							8	240																																		
		[306;438)	4							12	372																																		
		[438;570)	6							18	504																																		
		[570;702)	5							23	636																																		
		[702;834]	5							28	768																																		
		Total	28																																										
		03/02/2019	422																																										
		04/02/2019	604																																										
		05/02/2019	831																																										
		06/02/2019	488																																										
		07/02/2019	175																																										
		08/02/2019	720																																										
		09/02/2019	301																																										
		10/02/2019	247																																										
		11/02/2019	440																																										
		12/02/2019	459																																										
		13/02/2019	474																																										
		14/02/2019	457																																										
		15/02/2019	301																																										
		16/02/2019	589																																										
		17/02/2019	689																																										
		18/02/2019	549																																										
		19/02/2019	723																																										
20/02/2019	426																																												
21/02/2019	340																																												
22/02/2019	262																																												
23/02/2019	727																																												
24/02/2019	42																																												
25/02/2019	222																																												
26/02/2019	157																																												
27/02/2019	342																																												
28/02/2019	715																																												



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 19. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 4:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S																																					
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																					
19	16:30	01/02/2019	660																																					
		02/02/2019	565																																					
		03/02/2019	428																																					
		04/02/2019	353																																					
		05/02/2019	389																																					
		06/02/2019	452																																					
		07/02/2019	103																																					
		08/02/2019	598																																					
		09/02/2019	253																																					
		10/02/2019	206																																					
		11/02/2019	626																																					
		12/02/2019	452																																					
		13/02/2019	517																																					
		14/02/2019	262																																					
		15/02/2019	209																																					
		16/02/2019	354																																					
		17/02/2019	614																																					
		18/02/2019	606																																					
		19/02/2019	465																																					
		20/02/2019	382																																					
		21/02/2019	358																																					
		22/02/2019	290																																					
		23/02/2019	654																																					
		24/02/2019	54																																					
		25/02/2019	251																																					
		26/02/2019	239																																					
		27/02/2019	308																																					
		28/02/2019	468																																					
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Valor mínimo</th> <th>Valor máximo</th> <th>Rango (R)</th> <th>Número de intervalos (Nc)</th> <th>Amplitud (Tc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>54</td> <td>660</td> <td>606</td> <td>5,29 ≈ 6</td> <td>101</td> </tr> </tbody> </table>	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)	54	660	606	5,29 ≈ 6	101																										
Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																				
54	660	606	5,29 ≈ 6	101																																				
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[54;155)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>104,5</td> </tr> <tr> <td>[155;256)</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>205,5</td> </tr> <tr> <td>[256;357)</td> <td>5</td> <td>12</td> <td>306,5</td> </tr> <tr> <td>[357;458)</td> <td>6</td> <td>18</td> <td>407,5</td> </tr> <tr> <td>[458;559)</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>508,5</td> </tr> <tr> <td>[559;660]</td> <td>7</td> <td>28</td> <td>609,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[54;155)	2	2	104,5	[155;256)	5	7	205,5	[256;357)	5	12	306,5	[357;458)	6	18	407,5	[458;559)	3	21	508,5	[559;660]	7	28	609,5	Total	28		
Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase																																					
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i																																					
[54;155)	2	2	104,5																																					
[155;256)	5	7	205,5																																					
[256;357)	5	12	306,5																																					
[357;458)	6	18	407,5																																					
[458;559)	3	21	508,5																																					
[559;660]	7	28	609,5																																					
Total	28																																							
				<div style="text-align: center;"> <p>Histograma de frecuencia</p>  </div>																																				

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 20. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 5:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019				
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S	
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
20	17:00	01/02/2019	426	Valor mínimo
		02/02/2019	483	Valor máximo
		03/02/2019	253	Rango (R)
		04/02/2019	322	Número de intervalos (Nc)
		05/02/2019	235	Amplitud (Tc)
		06/02/2019	216	
		07/02/2019	86	
		08/02/2019	623	
		09/02/2019	169	
		10/02/2019	112	
		11/02/2019	267	
		12/02/2019	412	
		13/02/2019	358	
		14/02/2019	249	
		15/02/2019	150	
		16/02/2019	306	
		17/02/2019	497	
		18/02/2019	457	
		19/02/2019	122	
		20/02/2019	273	
		21/02/2019	253	
		22/02/2019	191	
		23/02/2019	525	
		24/02/2019	60	
		25/02/2019	244	
		26/02/2019	189	
		27/02/2019	279	
		28/02/2019	286	

60	623	563	5,29 ≈ 6	93,83≈94
----	-----	-----	----------	----------

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[60;154)	5	5	107
[154;248)	6	11	201
[248;342)	9	20	295
[342;436)	3	23	389
[436;530)	4	27	483
[530;624]	1	28	577
Total	28		

Histograma de frecuencia

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 21. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 5:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S																																					
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																					
21	17:30	01/02/2019	173	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Valor mínimo</td> <td>Valor máximo</td> <td>Rango (R)</td> <td>Número de intervalos (Nc)</td> <td>Amplitud (Tc)</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>410</td> <td>376</td> <td>5,29 ≈ 6</td> <td>62,67≈63</td> </tr> </table>	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)	34	410	376	5,29 ≈ 6	62,67≈63																										
		Valor mínimo	Valor máximo		Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																	
		34	410	376	5,29 ≈ 6	62,67≈63																																		
		02/02/2019	326	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <td>Intervalos de clase</td> <td>f_i</td> <td>F_i</td> <td>X_i</td> </tr> <tr> <td>[34;97)</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>65,5</td> </tr> <tr> <td>[97;160)</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>128,5</td> </tr> <tr> <td>[160;223)</td> <td>7</td> <td>17</td> <td>191,5</td> </tr> <tr> <td>[223;286)</td> <td>3</td> <td>20</td> <td>254,5</td> </tr> <tr> <td>[286;349)</td> <td>4</td> <td>24</td> <td>317,5</td> </tr> <tr> <td>[349;412]</td> <td>4</td> <td>28</td> <td>380,5</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[34;97)	5	5	65,5	[97;160)	5	10	128,5	[160;223)	7	17	191,5	[223;286)	3	20	254,5	[286;349)	4	24	317,5	[349;412]	4	28	380,5	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase		Frecuencia acumulada	Marca de clase																																		
		Intervalos de clase	f _i		F _i	X _i																																		
		[34;97)	5		5	65,5																																		
		[97;160)	5		10	128,5																																		
		[160;223)	7		17	191,5																																		
		[223;286)	3		20	254,5																																		
		[286;349)	4		24	317,5																																		
		[349;412]	4		28	380,5																																		
		Total	28																																					
		03/02/2019	161																																					
		04/02/2019	204																																					
		05/02/2019	171																																					
		06/02/2019	200																																					
		07/02/2019	65																																					
		08/02/2019	241																																					
		09/02/2019	121																																					
		10/02/2019	98																																					
		11/02/2019	236																																					
		12/02/2019	410																																					
		13/02/2019	299																																					
		14/02/2019	321																																					
		15/02/2019	34																																					
		16/02/2019	191																																					
		17/02/2019	387																																					
18/02/2019	327																																							
19/02/2019	81																																							
20/02/2019	351																																							
21/02/2019	356																																							
22/02/2019	141																																							
23/02/2019	239																																							
24/02/2019	36																																							
25/02/2019	76																																							
26/02/2019	111																																							
27/02/2019	165																																							
28/02/2019	142																																							

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia (f _i)
[34;97)	5
[97;160)	5
[160;223)	7
[223;286)	3
[286;349)	4
[349;412]	4

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 22. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 6:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																																											
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S																																																								
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)																																																								
22	18:00	01/02/2019	153	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Valor mínimo</td> <td style="text-align: center;">Valor máximo</td> <td style="text-align: center;">Rango (R)</td> <td style="text-align: center;">Número de intervalos (Nc)</td> <td style="text-align: center;">Amplitud (Tc)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">341</td> <td style="text-align: center;">322</td> <td style="text-align: center;">5,29 ≈ 6</td> <td style="text-align: center;">53,67 ≈ 54</td> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Irradiancia (W/m²)</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia de clase</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia acumulada</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Marca de clase</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Intervalos de clase</th> <th style="text-align: center;">f_i</th> <th style="text-align: center;">F_i</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">X_i</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[19;73)</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">46</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[73;127)</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[127;181)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">154</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[181;235)</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">208</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[235;289)</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">262</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[289;343]</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">316</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)	19	341	322	5,29 ≈ 6	53,67 ≈ 54	Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase		Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i		[19;73)	8	8	46		[73;127)	9	17	100		[127;181)	4	21	154		[181;235)	2	23	208		[235;289)	2	25	262		[289;343]	3	28	316		Total		28		
		Valor mínimo	Valor máximo		Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																																				
		19	341		322	5,29 ≈ 6	53,67 ≈ 54																																																				
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase		Frecuencia acumulada	Marca de clase																																																					
		Intervalos de clase	f _i		F _i	X _i																																																					
		[19;73)	8		8	46																																																					
		[73;127)	9		17	100																																																					
		[127;181)	4		21	154																																																					
		[181;235)	2		23	208																																																					
		[235;289)	2		25	262																																																					
		[289;343]	3		28	316																																																					
		Total			28																																																						
		02/02/2019	153																																																								
		03/02/2019	118																																																								
		04/02/2019	117																																																								
		05/02/2019	122																																																								
		06/02/2019	98																																																								
		07/02/2019	26																																																								
		08/02/2019	97																																																								
		09/02/2019	34																																																								
		10/02/2019	79																																																								
		11/02/2019	136																																																								
		12/02/2019	212																																																								
		13/02/2019	143																																																								
		14/02/2019	341																																																								
		15/02/2019	19																																																								
		16/02/2019	242																																																								
		17/02/2019	212																																																								
18/02/2019	294																																																										
19/02/2019	42																																																										
20/02/2019	313																																																										
21/02/2019	251																																																										
22/02/2019	57																																																										
23/02/2019	108																																																										
24/02/2019	27																																																										
25/02/2019	22																																																										
26/02/2019	60																																																										
27/02/2019	114																																																										
28/02/2019	88																																																										

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia (f _i)
[19;73)	8
[73;127)	9
[127;181)	4
[181;235)	2
[235;289)	2
[289;343]	3

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 23. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 6:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019																																															
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S																																									
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)																																							
23	18:30	01/02/2019	29	11	140	129	5,29 ≈ 6	21,5 ≈ 22																																							
		02/02/2019	44																																												
		03/02/2019	73							<table border="1"> <thead> <tr> <th>Irradiancia (W/m²)</th> <th>Frecuencia de clase</th> <th>Frecuencia acumulada</th> <th>Marca de clase</th> </tr> <tr> <th>Intervalos de clase</th> <th>f_i</th> <th>F_i</th> <th>X_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[11;33)</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>[33;55)</td> <td>8</td> <td>14</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>[55;77)</td> <td>7</td> <td>21</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>[77;99)</td> <td>2</td> <td>23</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>[99;121)</td> <td>2</td> <td>25</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>[121;143]</td> <td>3</td> <td>28</td> <td>132</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>28</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase	Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i	[11;33)	6	6	22	[33;55)	8	14	44	[55;77)	7	21	66	[77;99)	2	23	88	[99;121)	2	25	110	[121;143]	3	28	132	Total	28		
		Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase																																										
		Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i																																										
		[11;33)	6	6	22																																										
		[33;55)	8	14	44																																										
		[55;77)	7	21	66																																										
		[77;99)	2	23	88																																										
		[99;121)	2	25	110																																										
		[121;143]	3	28	132																																										
		Total	28																																												
		04/02/2019	79																																												
		05/02/2019	71																																												
		06/02/2019	129																																												
		07/02/2019	35																																												
		08/02/2019	34																																												
		09/02/2019	26																																												
		10/02/2019	54																																												
		11/02/2019	69																																												
		12/02/2019	41																																												
		13/02/2019	69																																												
		14/02/2019	97																																												
		15/02/2019	32																																												
		16/02/2019	114																																												
		17/02/2019	140																																												
		18/02/2019	67																																												
		19/02/2019	11																																												
20/02/2019	123																																														
21/02/2019	71																																														
22/02/2019	37																																														
23/02/2019	68																																														
24/02/2019	14																																														
25/02/2019	22																																														
26/02/2019	109																																														
27/02/2019	52																																														
28/02/2019	42																																														

Histograma de frecuencia

Intervalo de Clase (W/m ²)	Frecuencia (f _i)
[11;33)	6
[33;55)	8
[55;77)	7
[77;99)	2
[99;121)	2
[121;143]	3

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 24. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:00 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019								
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi						Latitud: 0.917342° S		
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	Valor mínimo	Valor máximo	Rango (R)	Número de intervalos (Nc)	Amplitud (Tc)
24	19:00	01/02/2019	7	3	50	47	5,29 ≈ 6	7,83 ≈ 8
		02/02/2019	17					
		03/02/2019	33					
		04/02/2019	29					
		05/02/2019	27					
		06/02/2019	50					
		07/02/2019	8					
		08/02/2019	8					
		09/02/2019	9					
		10/02/2019	17					
		11/02/2019	36					
		12/02/2019	18					
		13/02/2019	32					
		14/02/2019	21					
		15/02/2019	10					
		16/02/2019	20					
		17/02/2019	39					
		18/02/2019	28					
		19/02/2019	4					
		20/02/2019	19					
		21/02/2019	25					
		22/02/2019	9					
		23/02/2019	18					
		24/02/2019	6					
		25/02/2019	15					
		26/02/2019	15					
		27/02/2019	3					
		28/02/2019	10					

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[3;11)	10	10	7
[11;19)	6	16	15
[19;27)	4	20	23
[27;35)	5	25	31
[35;43)	2	27	39
[43;51]	1	28	47
Total	28		

Histograma de frecuencia

Frecuencias

Irradiancia (W/m²)

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

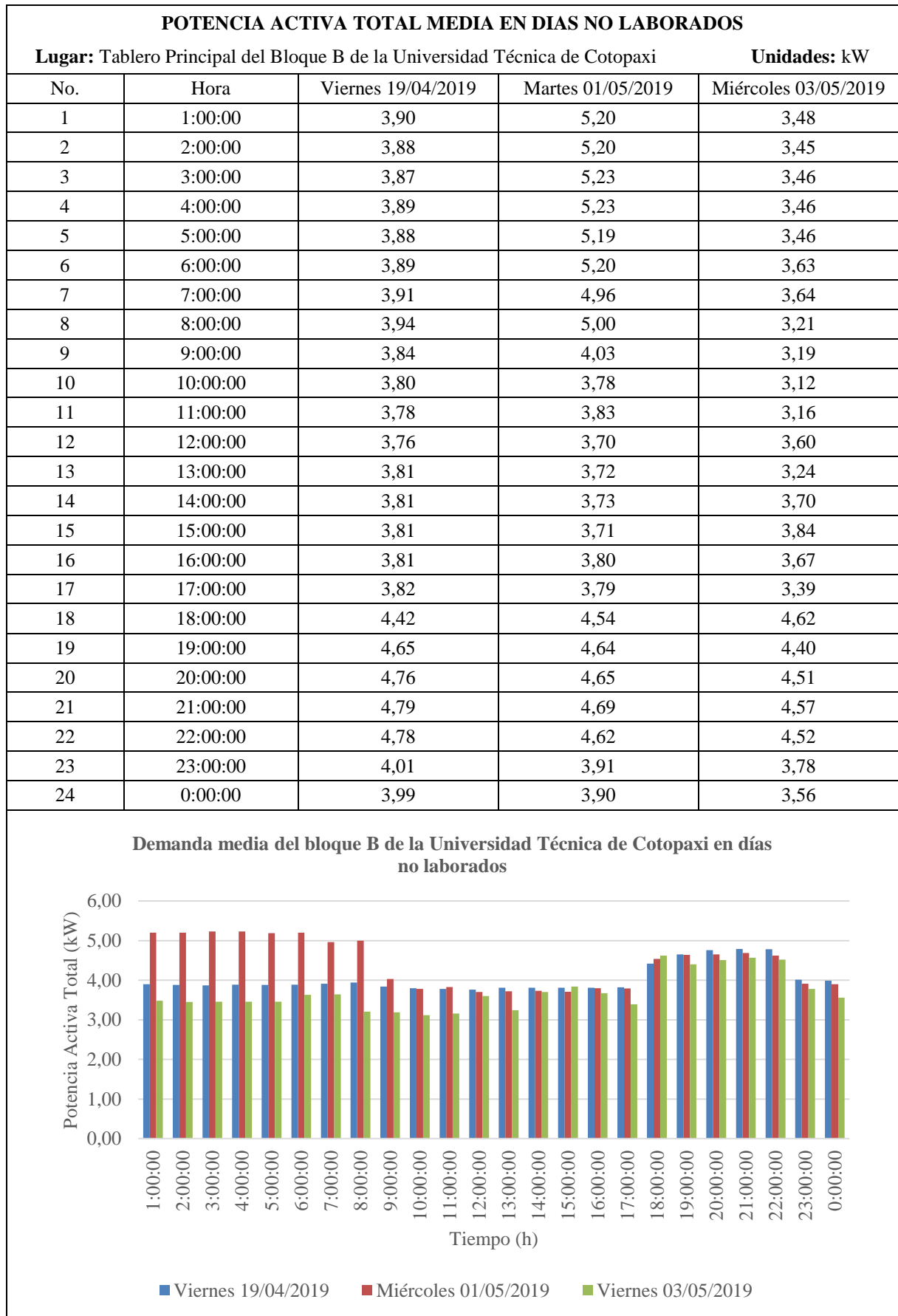
Anexo 25. Distribución de frecuencia de irradiancia global media diaria del mes de febrero del 2019 a las 7:30 pm sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

IRRADIANCIA GLOBAL MEDIA DIARIA DEL MES DE FEBRERO DEL 2019				
Lugar: Azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi			Latitud: 0.917342° S	
No.	Hora	Fecha	Irradiancia global (W/m ²)	
25	19:30	01/02/2019	0	Valor mínimo: 0
		02/02/2019	2	Valor máximo: 4
		03/02/2019	2	Rango (R): 4
		04/02/2019	3	Número de intervalos (Nc): 5,29 ≈ 6
		05/02/2019	1	Amplitud (Tc): 0,67 ≈ 1
		06/02/2019	3	
		07/02/2019	0	
		08/02/2019	0	
		09/02/2019	1	
		10/02/2019	1	
		11/02/2019	3	
		12/02/2019	1	
		13/02/2019	3	
		14/02/2019	4	
		15/02/2019	2	
		16/02/2019	1	
		17/02/2019	1	
		18/02/2019	2	
		19/02/2019	0	
		20/02/2019	1	
		21/02/2019	1	
		22/02/2019	1	
		23/02/2019	0	
		24/02/2019	1	
		25/02/2019	3	
		26/02/2019	0	
		27/02/2019	0	
		28/02/2019	2	

Irradiancia (W/m ²)	Frecuencia de clase	Frecuencia acumulada	Marca de clase
Intervalos de clase	f _i	F _i	X _i
[0;1)	7	7	0,5
[1;2)	10	17	1,5
[2;3)	5	22	2,5
[3;4)	5	27	3,5
[4;5)	1	28	4,5
[5;6]	0	28	5,5
Total	28		

Histograma de frecuencia

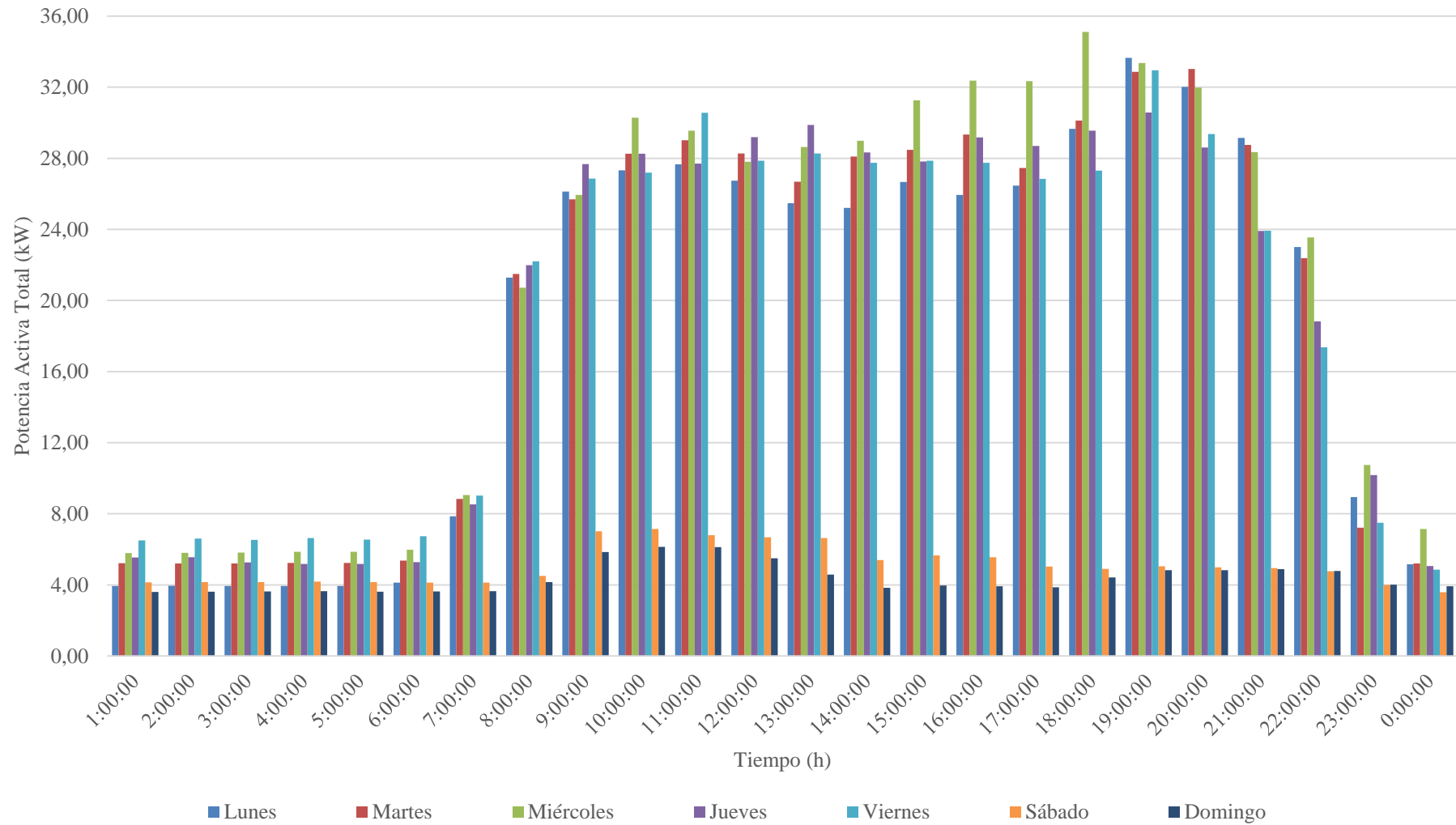
Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 26. Demanda total media del Bloque B de la UTC en los días no laborados.

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 27. Demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.

Demanda media semanal del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 28. Datos de la curva de demanda total media semanal del Bloque B de la UTC.

POTENCIA ACTIVA TOTAL MEDIA								
Lugar: Tablero Principal del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi							Unidades: kW	
No.	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1:00:00	3,93	5,22	5,79	5,54	6,50	4,14	3,60
2	2:00:00	3,95	5,21	5,80	5,56	6,60	4,15	3,62
3	3:00:00	3,93	5,2	5,82	5,26	6,53	4,15	3,63
4	4:00:00	3,94	5,23	5,86	5,18	6,63	4,19	3,65
5	5:00:00	3,93	5,24	5,86	5,17	6,55	4,15	3,62
6	6:00:00	4,13	5,37	5,97	5,27	6,73	4,13	3,63
7	7:00:00	7,86	8,84	9,05	8,53	9,02	4,12	3,65
8	8:00:00	21,29	21,49	20,72	21,98	22,21	4,51	4,15
9	9:00:00	26,13	25,69	25,94	27,68	26,86	7,01	5,84
10	10:00:00	27,32	28,26	30,28	28,25	27,19	7,15	6,14
11	11:00:00	27,66	29,01	29,55	27,71	30,56	6,80	6,13
12	12:00:00	26,74	28,27	27,81	29,19	27,87	6,67	5,50
13	13:00:00	25,47	26,68	28,63	29,88	28,27	6,64	4,57
14	14:00:00	25,21	28,10	28,99	28,33	27,75	5,39	3,83
15	15:00:00	26,67	28,47	31,26	27,82	27,87	5,66	3,97
16	16:00:00	25,94	29,33	32,37	29,17	27,75	5,55	3,92
17	17:00:00	26,46	27,45	32,34	28,70	26,85	5,03	3,86
18	18:00:00	29,65	30,13	35,11	29,56	27,31	4,90	4,41
19	19:00:00	33,65	32,87	33,36	30,58	32,95	5,05	4,82
20	20:00:00	32,02	33,02	31,98	28,61	29,36	4,98	4,82
21	21:00:00	29,14	28,75	28,35	23,91	23,92	4,94	4,88
22	22:00:00	23,01	22,38	23,55	18,82	17,36	4,77	4,78
23	23:00:00	8,94	7,21	10,75	10,17	7,50	3,99	4,01
24	0:00:00	5,16	5,21	7,15	5,06	4,85	3,59	3,92

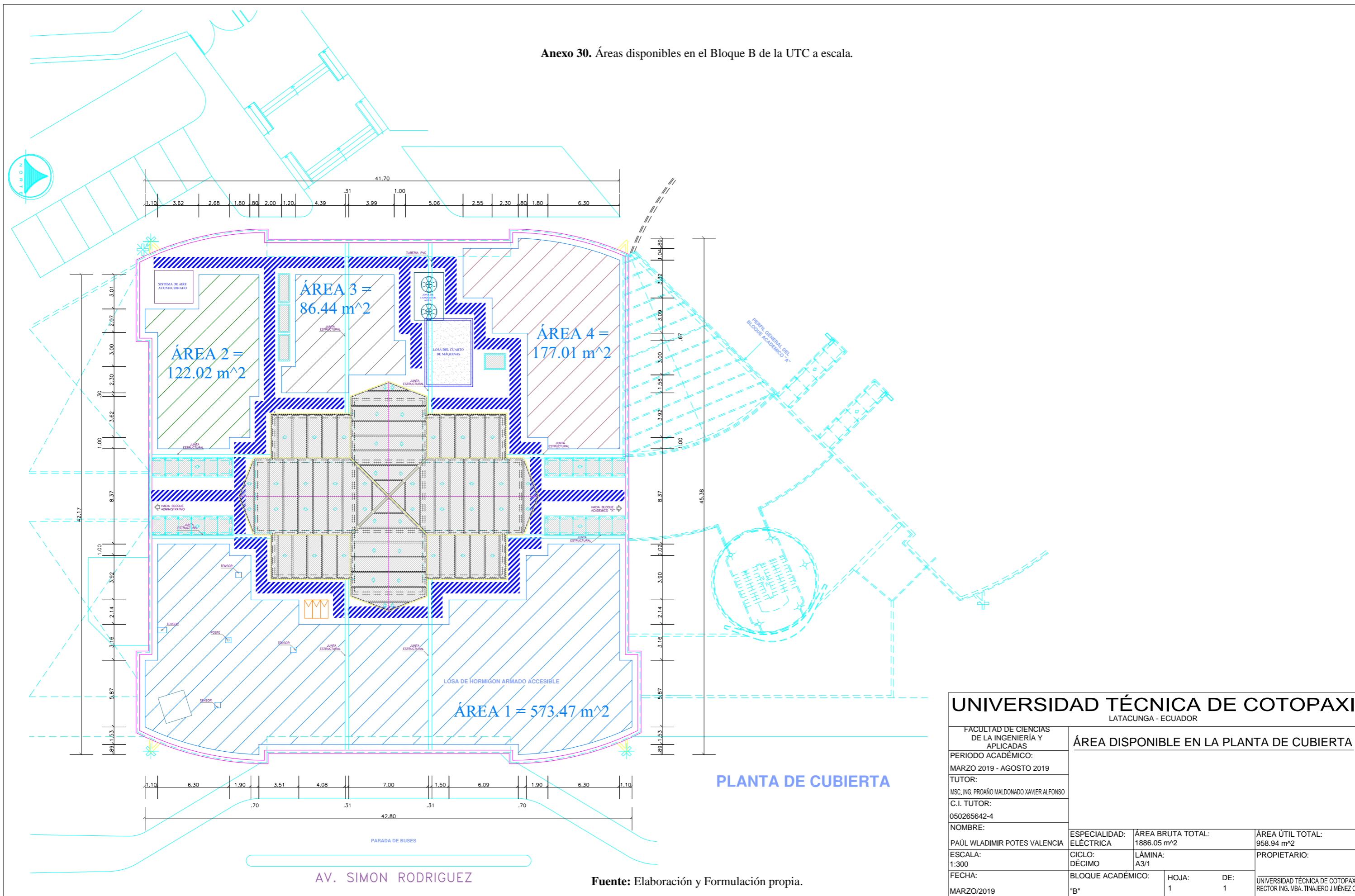
Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 29. Factor de potencia del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

FACTOR DE POTENCIA								
Lugar: Tablero Principal del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi								
No.	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1:00:00	0,920	0,934	0,952	0,947	0,962	0,922	0,909
2	2:00:00	0,923	0,934	0,952	0,946	0,962	0,922	0,910
3	3:00:00	0,920	0,932	0,953	0,941	0,960	0,920	0,910
4	4:00:00	0,921	0,934	0,954	0,938	0,962	0,923	0,910
5	5:00:00	0,920	0,934	0,954	0,938	0,960	0,922	0,910
6	6:00:00	0,926	0,937	0,955	0,941	0,963	0,922	0,910
7	7:00:00	0,973	0,972	0,977	0,974	0,977	0,922	0,910
8	8:00:00	0,992	0,991	0,993	0,992	0,993	0,930	0,926
9	9:00:00	0,993	0,993	0,995	0,994	0,995	0,963	0,953
10	10:00:00	0,994	0,994	0,996	0,994	0,995	0,964	0,956
11	11:00:00	0,994	0,995	0,996	0,994	0,995	0,960	0,955
12	12:00:00	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,961	0,947
13	13:00:00	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,960	0,931
14	14:00:00	0,993	0,994	0,995	0,994	0,994	0,946	0,912
15	15:00:00	0,994	0,994	0,996	0,994	0,994	0,950	0,913
16	16:00:00	0,993	0,995	0,996	0,994	0,995	0,950	0,916
17	17:00:00	0,993	0,994	0,995	0,994	0,994	0,942	0,908
18	18:00:00	0,906	0,909	0,939	0,900	0,908	0,362	0,335
19	19:00:00	0,905	0,901	0,902	0,889	0,901	0,336	0,327
20	20:00:00	0,897	0,900	0,895	0,876	0,882	0,331	0,327
21	21:00:00	0,877	0,874	0,870	0,835	0,837	0,326	0,328
22	22:00:00	0,852	0,845	0,829	0,813	0,760	0,353	0,357
23	23:00:00	0,966	0,956	0,975	0,975	0,960	0,919	0,920
24	0:00:00	0,933	0,935	0,965	0,941	0,934	0,907	0,920

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 30. Áreas disponibles en el Bloque B de la UTC a escala.



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
LATACUNGA - ECUADOR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS		ÁREA DISPONIBLE EN LA PLANTA DE CUBIERTA	
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MISC. ING. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	ÁREA BRUTA TOTAL: 1886.05 m ²
ESCALA: 1:300		CICLO: DÉCIMO	ÁREA ÚTIL TOTAL: 958.94 m ²
FECHA: MARZO/2019		LÁMINA: A3/1	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMÉNEZ C.
		BLOQUE ACADÉMICO: "B"	HOJA: 1 DE: 1

Anexo 31. Datos técnicos del panel fotovoltaico SUNPOWER MAXEON 3 400W.



MAXEON[®] 3 | 400 W

Residential Solar Panel

SunPower Maxeon panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings.^{1,2}



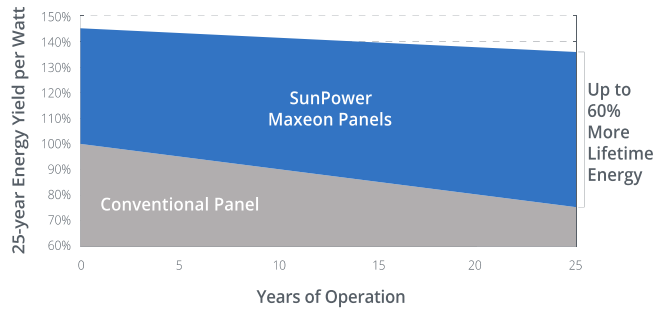
Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.



Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 60% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures.²



Fundamentally Different. And Better.



The SunPower Maxeon[®] Solar Cell

- Enables highest efficiency panels available²
- Unmatched reliability³
- Patented solid metal foundation prevents breakage and corrosion



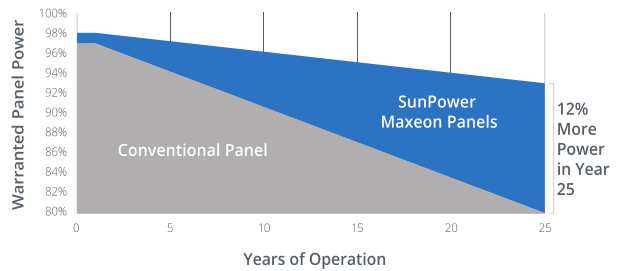
As Sustainable As Its Energy

- Ranked #1 in Silicon Valley Toxics Coalition Solar Scorecard⁴
- First solar panels to achieve Cradle to Cradle Certified[™] Silver recognition⁵, pending
- Contributes to more LEED categories than conventional panels⁶



Better Reliability, Better Warranty

With more than 25 million panels deployed around the world, SunPower technology is proven to last. That's why we stand behind our panel with an exceptional 25-year Combined Power and Product Warranty, including the highest Power Warranty in solar.

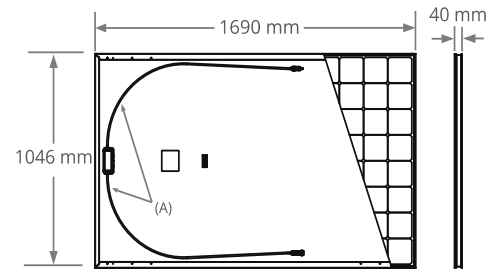


MAXEON® 3 | 400 W Residential Solar Panel

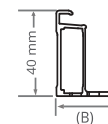
Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	15 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C		
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C		

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, Stäubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Design Load	Wind: 2660 Pa, 274 kg/m ² front & back Snow: 4000 Pa, 408 kg/m ² front
Max. Load ¹⁰	Wind: 4000 Pa, 408 kg/m ² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m ² front
Frame	Class 1 black anodised (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV ⁹



FRAME PROFILE



- A. Cable Length: 1200 mm +/-10 mm
- B. LONG SIDE: 32 mm
- SHORT SIDE: 24 mm

Please read the safety and installation guide.

1 SunPower 400 W, 22.6% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m²), 7% more energy per watt (based on PVSyst pan files for avg EU climate), 0.5%/yr slower degradation rate (Jordan, et. al. "Robust PV Degradation Methodology and Application." PVSC 2018).
 2 DNV "SunPower Shading Study," 2013. Compared to a conventional front contact panel.
 3 #1 rank in "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 3". PVTech Power Magazine, 2015.
 4 SunPower is rated #1 on Silicon Valley Toxics Coalition's Solar Scorecard.
 5 Cradle to Cradle Certified is a multi-attribute certification program that assesses products and materials for safety to human and environmental health, design for future use cycles, and sustainable manufacturing.
 6 Maxeon2 and Maxeon3 panels additionally contribute to LEED Materials and Resources credit categories.
 7 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
 8 Class C fire rating per IEC 61730.
 9 Also certified under names SPR-XXY-XXX.
 10 Calculated with a 1.5 Safety Factor.

Designed in USA
 Made in Philippines (Cells)
 Modules Assembled in Mexico

Visit www.sunpower.com.au for more information.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2019 SunPower Corporation. All rights reserved. SUNPOWER, the SUNPOWER logo and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation. Cradle to Cradle Certified™ is a certification mark licensed by the Cradle to Cradle Products Innovation Institute.



Anexo 32. Datos técnicos del inversor Fronius Symo 15.0-3 208.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SYMO

Máxima flexibilidad para las aplicaciones de mañana



PC Bond
Proceso de
reemplazo



Tecnología
SnapINverter



Comunicación
de datos
integrados



Diseño
Superflex



Smart Grid &
Certificación
NEC 2014



DynamicPeak
Mánager



AFCI
Integrado

Con categorías de potencia del 10 al 24 kW, el inversor trifásico sin transformador Fronius Symo es una perfecta solución compacta para aplicaciones comerciales. Su doble seguimiento del punto de máxima potencia, alta tensión máxima del sistema, amplio rango de voltaje de entrada y el uso sin restricciones en interiores y exteriores garantiza la máxima flexibilidad en el diseño del sistema fotovoltaico. Como miembro de la nueva familia SnapINverter, el Fronius Symo cuenta con el sistema de montaje SnapINverter, lo que permite instalaciones y servicios de campo seguros y convenientes. Las características líderes en la industria ahora vienen de serie con el Fronius Symo, incluyendo: protección de arco, monitorización inalámbrica integrada e interfaces SunSpec Modbus para el seguimiento y registro de datos a través de la plataforma móvil o en línea Fronius, Solar.web. Esto hace al Fronius Symo uno de los inversores con mayor conectividad, eficiencia y de fácil uso en el mercado. * La versión SYMO Lite no incluye la tarjeta de monitoreo integrada.

DATOS TÉCNICOS

DATOS GENERALES		ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO					DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO		
Dimensiones (ancho x alto x largo)		72.5 x 51.0 x 22.5 cm					AFCI & Conformidad NEC 2014		
Envolvente		NEMA 4X					Interrupción de falla a tierra por monitorización de aislamiento		
Consumo nocturno		< 1 W					Desconexión de CD		
Tecnología del inversor		Sin transformador					Polaridad inversa CD		
Enfriamiento		Ventilador de velocidad variable					INTERFACES		
Instalación		Interior y Exterior					DISPONIBILIDAD	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO	
Temperatura ambiente admisible		-40 a 60°C					USB(Socket tipo A)	Estándar	Registro de datos y actualización de firmware via USB
Humedad relativa admisible		0 - 100 % (sin condensación)					2x RS422 (RJ45 socket)	Estándar	Fronius Solar.Net; protocolo de interfaz
Terminales de conexión CD		6x CD+ y 6x CD- terminales de tornillo para cobre (sólido / trenzado / trenzado fino) o aluminio (sólido / trenzado)					WiFi* / Ethernet / Serie / Datalogger y servidor web	Opcional	Estandar inalámbrico 802.11 b/g/n Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
Terminales de conexión CA							6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales + 1 contacto de relé	Opcional	Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito
Certificaciones y cumplimiento de estándares (Excepto Symo 15.0 208)		UL 1741-2010; UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547.1-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC 2014 Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TILM-07 Issue 1-2013							
Certificaciones y cumplimiento de estándares Fronius Symo 15.0 208		UL 1741-2015; UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547-2003, 1547.1-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC 2014 Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TILM-07 Issue 1-2013							
DATOS DE ENTRADA CD		SYMO 10.0-3 208/240	SYMO 12.0-3 208/240	SYMO 10.0-3 480	SYMO 12.5-3 480	SYMO 15.0-3 208			
Peso (kg)		41.7					34.8		
Potencia FV Recomendada (kWp)		8.0 - 13.0	9.5 - 15.5	8.0 - 13.0	10.0 - 16.0	12.0 - 19.5			
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2)		25.0 A / 16.5 A					50.0 A		
Máxima corriente (MPPT1 + MPPT2)		41.5 A					50.0 A		
Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1/MPPT2)		37.5 A / 24.8 A					75.0 A		
Portafusibles de CD incluidos								6 - y 6+ incluidos	
Rango de tensión de operación		300 - 500 V		300 - 800 V	350 - 800 V	325 - 850 V			
Máxima tensión de entrada		600 V					1000 V		
Tensión nominal de entrada	208	350V	350V	-	-	-			
	240	370 V	370 V	-	-	325 V			
	480	-	-	675 V	685 V	-			
Tamaño de conductor admisible de CD		AWG 14 – AWG 6 Cobre directo , AWG 6 Aluminio directo, AWG 4 Cobre o Aluminio con combinador de entrada							
Rango de tensión MPP		200 V - 480 V		240 V - 480 V	250 V - 480 V	270 V - 480 V			
Número de MPPT							2	1	

DATOS TÉCNICOS

DATOS DE SALIDA CA		SYMO 10.0-3 208/240	SYMO 12.0-3 208/240	SYMO 10.0-3 480	SYMO 12.5-3 480	SYMO 15.0-3 208
Potencia máxima de salida	208 V	9995 VA	11995 VA	-	-	15000 VA
	240 V	9995 VA	11995 VA	-	-	-
	480 V	-	-	9995 VA	12495 VA	-
Máxima corriente de salida	208 V	27.7 A	33.3 A	-	-	41.6 A
	220 V	26.1 A	31.5 A	-	-	39.4 A
	240 V	24.0 A	28.9 A	-	-	-
	440 V	-	-	13.1 A	16.4 A	-
	480 V	-	-	12.0 A	15.0 A	-
OCPD / Breaker CA recomendado	208 V	35 A	45 A	-	-	60 A
	240 V	30 A	40 A	-	-	-
	480 V	-	-	15 A	20 A	-
Eficiencia máxima		97.0 %		98.1 %		97.3%
Eficiencia CEC	208 V	96.5 %	-	-	-	96.5 %
	240 V	96.5 %	-	-	-	-
	480 V	-	96.5 %	97.0 %	-	-
Tamaño de conductor de CA admisible	AWG 14 - AWG 6					
Tensión de red	208 / 220 / 240 V Delta			480 V WYE + N**		208 / 220 V Delta
Frecuencia nominal	60 Hz					
Distorsión armónica Total	< 1.5 %		< 1.75 %	< 1.5 %	< 3.5 %	
Factor de potencia ($\cos \phi_{w.c.}$)	1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.)					

DATOS DE ENTRADA CD	SYMO 15.0-3 480	SYMO 17.5-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia FV recomendada (kWp)	12.0 - 19.5	14.0 - 23.0	16.0 - 26.0	18.0 - 29.5	19.0 - 31.0
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2)	33.0 A / 25.0 A				
Máxima corriente total MPPT1 + MPPT2 (Usando kit de conector CD)	51 A				
Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1/MPPT2)	49.5 A / 37.5 A				
Portafusibles incluidos CD	6- y 6+ incluidos				
Rango de voltaje MPP	350 - 800 V	400 - 800 V	450 - 800 V	500 - 800 V	
Tensión de operación	200 - 1000 V				
Máximo tensión de entrada	1000 V				
Tensión nominal de entrada	480 V	685 V	695 V	710 V	720 V
Tamaño de conductor admisible de CD	AWG 14 - AWG 6 cobre directo, AWG 6 aluminio directo, AWG 4 - AWG 2 cobre o aluminio con combinador de entradas				
Rango de tensión MPP	200 V - 480 V	240 V - 480 V		250 V - 480 V	270 V - 480 V
Número de MPPT	2				

DATOS DE SALIDA CA	SYMO 15.0-3 480	SYMO 17.5-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Máxima potencia de salida					
480 V	14995 VA	17495 VA	19995 VA	22727 VA	23995 VA
Máxima corriente de salida					
480 V	18.0 A	21.0 A	24.0 A	27.3 A	28.9 A
OCPD / Breaker CA recomendado					
480 V	25 A	30 A		35 A	40 A
Máxima eficiencia	98%				
Eficiencia CEC					
480 V	97.0 %		97.5 %		
Tamaño de conductor de CA admisible	AWG 14 - AWG 6				
Tensión de red	480 V WYE - N**				
Frecuencia nominal	60 Hz				
Distorsión armónica Total	< 1.5 %	< 1.25 %	< 1.0 %	1.25 %	< 1.0 %
Factor de potencia ($\cos \phi_{w.c.}$)	1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.)				

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES DIVISIONES CON UN MISMO OBJETIVO: ESTABLECER LOS ESTÁNDARES MEDIANTE EL AVANCE TECNOLÓGICO.

/ Lo que comenzó en 1945 como una operación unipersonal ahora establece estándares tecnológicos en los campos de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. Hoy la compañía tiene alrededor de 3.800 empleados en todo el mundo y 1.242 patentes para el desarrollo de productos muestran el espíritu innovador dentro de la empresa. El desarrollo sostenible significa para nosotros implementar aspectos ambientales relevantes y sociales por igual con los factores económicos. Nuestro objetivo se ha mantenido constante durante todo el tiempo para ser el líder de innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo, visite www.fronius.mx

Fronius México S.A. de C.V.
Fronius Monterrey
Carretera Monterrey Saltillo 3279E
66367 Santa Catarina, N.L.
México
Teléfono +52 81 8882 8200
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Fronius Symo	15.0-3 208
---------------------	-------------------

Datos de entrada

Gama de tensión MPP	Con 208 V	325 - 850 V CC
	Con 220 V	340 - 850 V CC
Gama de tensión de entrada (con 1000 W/m ² / 14 °F en marcha sin carga)		325 - 1000 V CC
Máxima corriente de entrada	Con 208 V	47,8 A
	Con 220 V	45,7 A
Máxima corriente de cortocircuito de los módulos solares (I _{SC PV}) (MPP1 / MPP2)		49,5 / 37,5 A
Máxima corriente de retroalimentación ⁴⁾	Con 208 V	39,9 A
	Con 220 V	38,1 A

Datos de salida

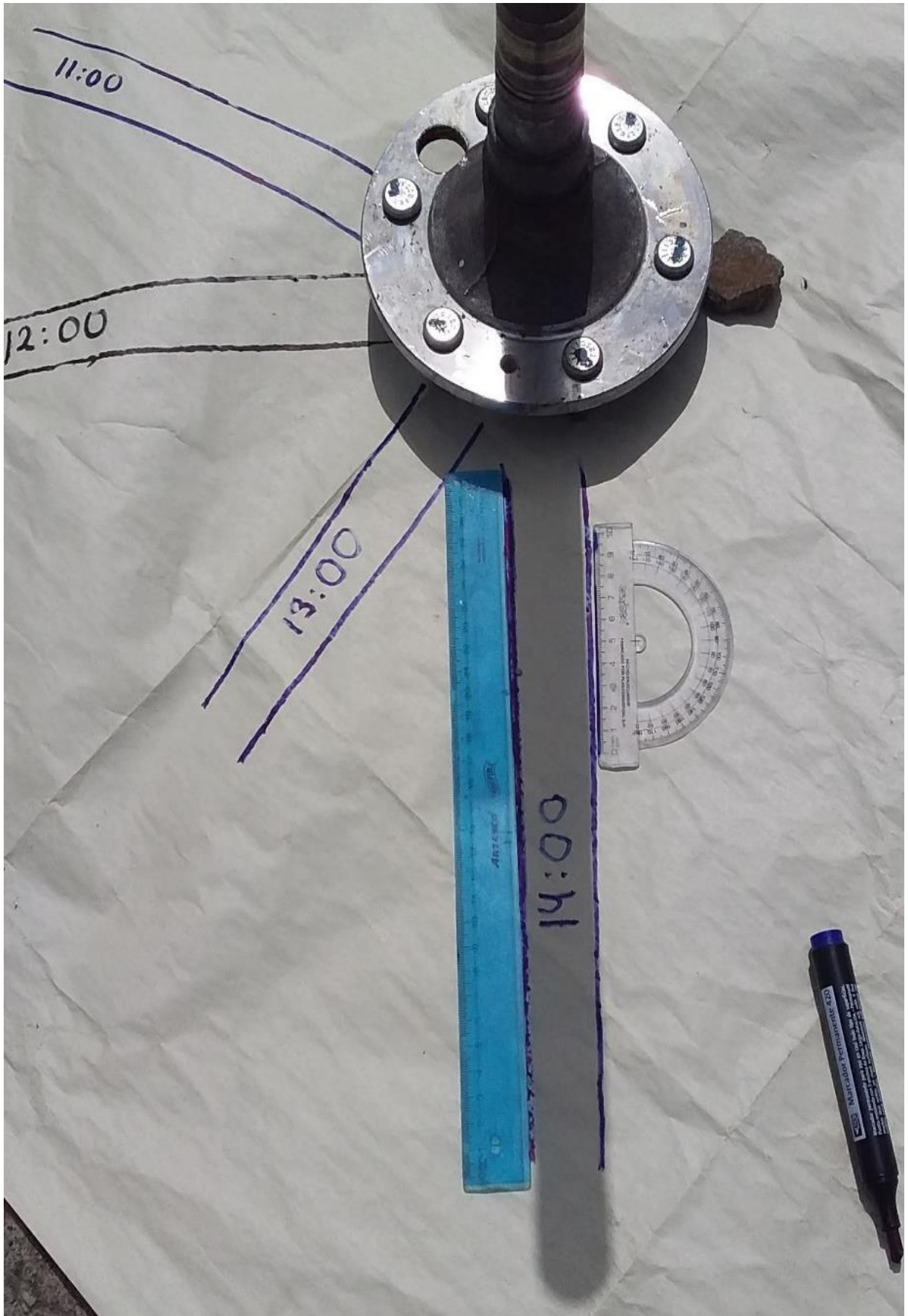
Potencia de salida nominal (P _{nom})		15000 W
Máxima potencia de salida (+104°F)		15000 W
Máxima potencia de salida (+140°F)		6600 W
Fases		3 ~ NPE
Tensión de red nominal	Con 208 V	120 V / 208 V
	Con 220 V	127 V / 220 V
Gama de servicio de la tensión CA		-12 ... +10 %
Margen de ajuste de la tensión de red	Con 208 V	106 - 132 V / 183 - 229 V
	Con 220 V	112 - 140 V / 194 - 242 V
Corriente de salida nominal	Con 208 V	41,6 A
	Con 220 V	39,4 A
Máxima corriente de salida	Con 208 V	42,0 A
	Con 220 V	42,0 A
Máxima corriente de falta de salida por período de tiempo		- A / - ms
Frecuencia nominal		60 Hz ¹⁾
Coefficiente de distorsión no lineal		< 3,5 %
Factor de potencia Cos phi		0 - 1 ind./cap. ²⁾

Datos generales

Máximo rendimiento	97,30 %
Rendimiento CEC	96,50 %
Refrigeración	Ventilación forzada regulada
Tipo de protección	NEMA 4X
Dimensiones (altura x anchura x longitud)	28.5 x 20.1 x 8.9 in. 725 x 510 x 225 mm
Peso	78.3 lbs. (35,5 kg)
Temperatura ambiente admisible	- 40 °F - +140 °F (- 40 °C - +60 °C)
Temperatura de almacenamiento admisible	- 40 °F - +158 °F (- 40 °C - +70 °C)
Humedad del aire admisible	0 - 100 %
Emisión de ruido	72,5 dB(A) (ref. 1pW)

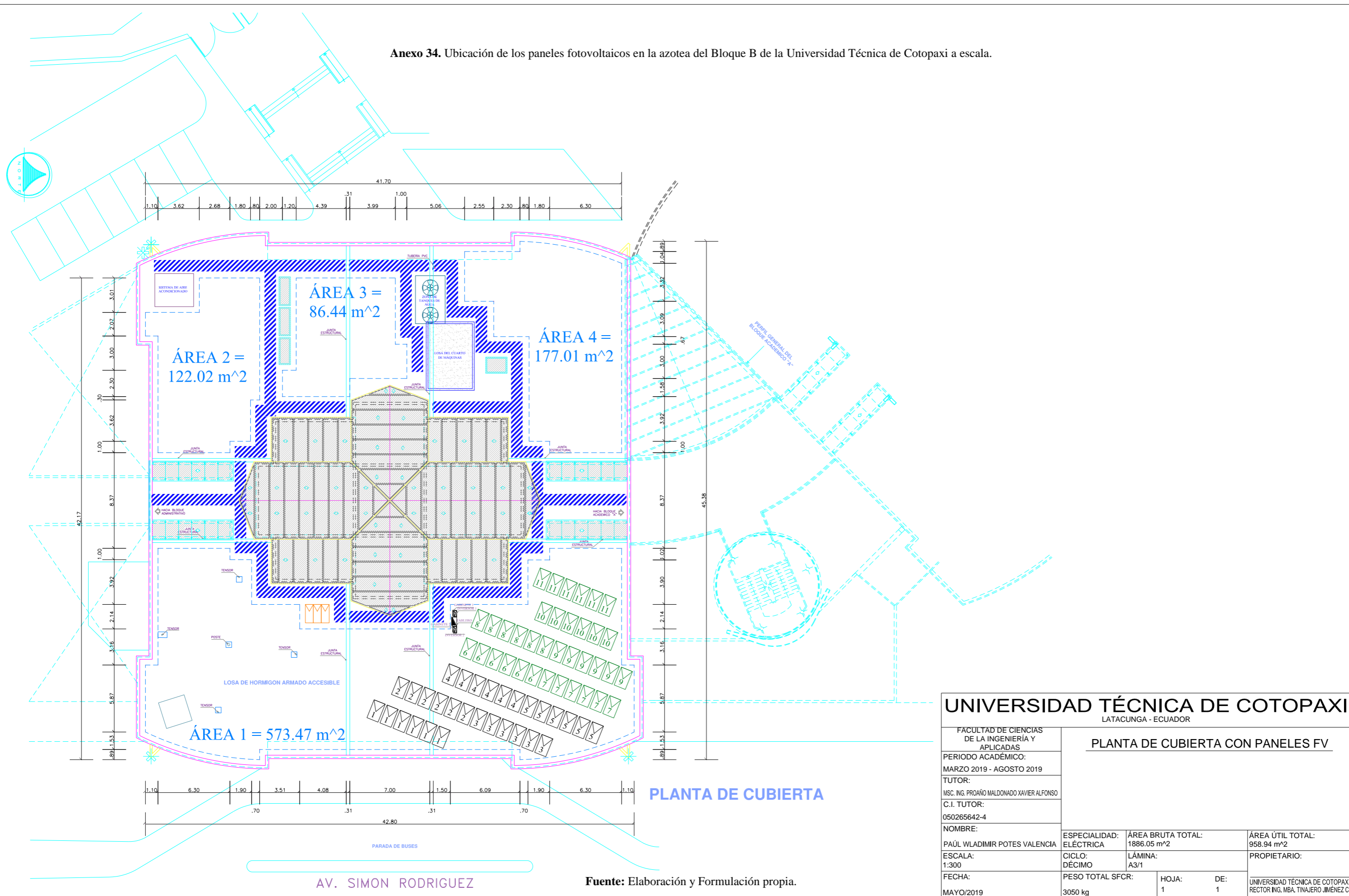
Fuente: [51], [52].

Anexo 33. Determinación del sur geográfico en la azotea del bloque B de la UTC.



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 34. Ubicación de los paneles fotovoltaicos en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi a escala.



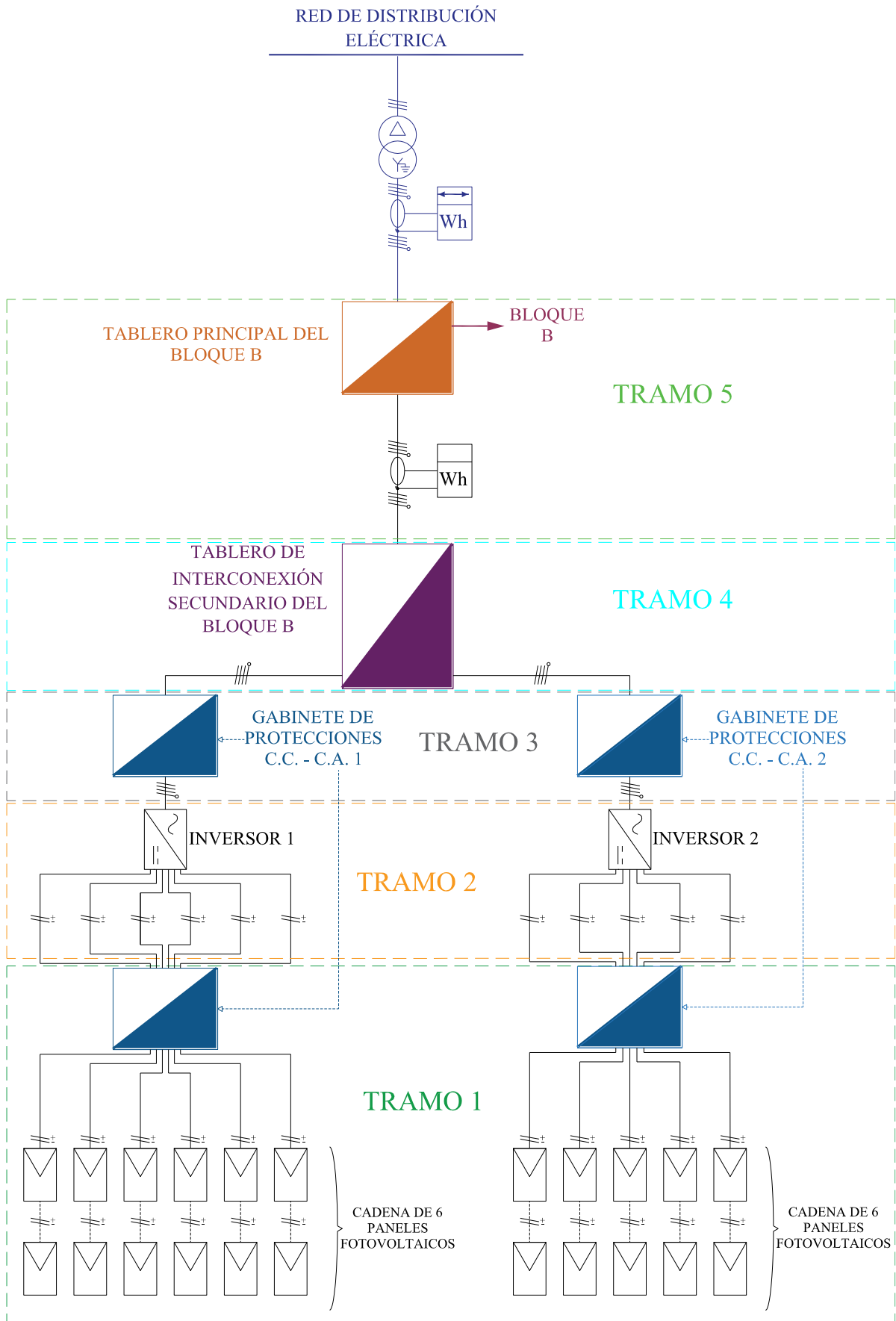
PLANTA DE CUBIERTA

AV. SIMON RODRIGUEZ

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
LATACUNGA - ECUADOR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS		PLANTA DE CUBIERTA CON PANELES FV	
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MSC. ING. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	ÁREA BRUTA TOTAL: 1886.05 m ²
ESCALA: 1:300		CICLO: DÉCIMO	LÁMINA: A3/1
FECHA: MAYO/2019		PESO TOTAL SFCR: 3050 kg	HOJA: 1 DE: 1
		ÁREA ÚTIL TOTAL: 958.94 m ²	
		PROPIETARIO: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMÉNEZ C.	

Anexo 35. Tramos del cableado del sistema fotovoltaico conectado a la red.



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

Anexo 36. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S _p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 16$	$S_p = 16$
$S \geq 35$	$S_p = S/2$

Fuente: [33].


Anexo 37. Cables THHN 600 V 90 °C Conelsa.

ilumina tus sueños con cable de:

CONELSA
CABLE SEGURO

> ALAMBRES Y CABLES TIPO TFN Y THHN 600 V 90 °C (1)

Calibre	No. Hilos	Dímetro Hilo	Área	Dímetro Conductor	Espesor Aislamiento	Espesor Chaqueta Nylon	Dímetro Exterior	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Peso Total	Capac. Corriente Aire Libre	Capac. Corriente Conduit	Tipo
AWG ó Kcmil		mm	mm ²	mm	mm	mm	mm	Ω/Km	Kg/Km	Α	Α	
18	1	1.02	0.82	1.02	0.38	0.10	1.98	20.99	10.94	15	10	TFN
16	1	1.29	1.31	1.29	0.38	0.10	2.25	13.18	16.48	20	15	TFN
14	1	1.63	2.08	1.63	0.38	0.10	2.59	8.29	23.40	35	25	THHN
12	1	2.05	3.31	2.05	0.38	0.10	3.01	5.21	35.20	40	30	THHN
10	1	2.59	5.26	2.59	0.51	0.10	3.81	3.28	55.80	55	40	THHN
14	7	0.62	2.08	1.85	0.38	0.10	2.81	8.45	24.50	35	25	THHN
12	7	0.78	3.31	2.33	0.38	0.10	3.29	5.31	36.90	40	30	THHN
10	7	0.98	5.26	2.93	0.51	0.10	4.15	3.34	58.60	55	40	THHN
8	7	1.23	8.37	3.69	0.76	0.13	5.47	2.10	95.70	80	55	THHN
6	7	1.56	13.30	4.65	0.76	0.13	6.43	1.32	145	105	75	THHN
4	7	1.96	21.15	5.88	1.02	0.15	8.22	0.83	232	140	95	THHN
2	7	2.47	33.62	7.41	1.02	0.15	9.76	0.52	356	190	130	THHN
16	19	0.30	1.31	1.48	0.38	0.10	2.44	13.45	17.95	20	15	TFN
14	19	0.37	2.08	1.87	0.38	0.10	2.83	8.45	24.30	35	25	THHN
12	19	0.47	3.31	2.36	0.38	0.10	3.32	5.31	36.60	40	30	THHN
10	19	0.59	5.26	2.97	0.51	0.10	4.19	3.34	58.10	55	40	THHN
8	19	0.75	8.37	3.75	0.76	0.13	5.53	2.10	94.40	80	55	THHN
6	19	0.94	13.30	4.72	0.76	0.13	6.50	1.32	143	105	75	THHN
4	19	1.19	21.15	5.96	1.02	0.15	8.30	0.83	229	140	95	THHN
2	19	1.50	33.62	7.51	1.02	0.15	9.85	0.52	351	190	130	THHN
1/0	19	1.89	53.49	9.45	1.27	0.18	12.37	0.33	553.30	260	170	THHN
2/0	19	2.13	67.43	10.65	1.27	0.18	13.53	0.26	688.70	300	195	THHN
3/0	19	2.39	85.01	11.95	1.27	0.18	14.84	0.21	856.80	350	225	THHN
4/0	19	2.68	107.20	13.40	1.27	0.18	16.31	0.16	1069.50	405	260	THHN
250	37	2.09	126.70	14.63	1.52	0.20	18.06	0.139	1263	455	290	THHN
300	37	2.29	152.00	16.03	1.52	0.20	19.46	0.116	1502	505	320	THHN
350	37	2.47	177.30	17.25	1.52	0.20	20.74	0.099	1743	570	350	THHN
400	37	2.64	202.70	18.48	1.52	0.20	21.93	0.0868	1981	615	380	THHN
500	37	2.95	253.40	20.65	1.52	0.20	24.11	0.0694	2457	700	430	THHN
600	61	2.52	304.00	22.68	1.78	0.23	26.70	0.0578	2960	780	475	THHN
700	61	2.72	354.70	24.48	1.78	0.23	28.51	0.0496	3453	855	520	THHN



ALAMBRES Y CABLES TIPO TFN Y THHN 600 V 90 °C (2)

Calibre	No. Hilos	Diámetro Hilos	Área	Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Espesor Chapeado Nylon	Diámetro Exterior	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Peso Total	Capac. Corriente Aire Libre	Capac. Corriente Conduit	Tipo
AWG ó Kcmil		mm	mm ²	mm	mm	mm	mm	Ω/Km	Kg/Km	Α	Α	
750	61	2.82	380.00	25.31	1.78	0.23	29.37	0.0463	3715	885	535	THHN
800	61	2.91	405.40	26.17	1.78	0.23	30.20	0.0434	3954	920	555	THHN
900	61	3.09	456.00	27.77	1.78	0.23	31.79	0.0386	4431	985	585	THHN
1000	61	3.25	506.70	29.26	1.78	0.23	33.30	0.0347	4906	1055	615	THHN

Aplicaciones: Los conductores tipo THHN y TFN son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado eléctrico en edificaciones industriales, comerciales y residenciales. Los conductores THHN son usados en lugares secos. Los conductores TFN son usados en lugares secos y húmedos. Pueden ser usados en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, pinturas, solventes químicos, etc.

Construcción: Conductor de cobre sólido o cableado, aislados con una capa uniforme de material termoplástico, cloruro de polivinilo (PVC), resistente a la humedad y al calor, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de Nylon o poliamida.

Especificaciones: Elaborado y probado de acuerdo a la última revisión de las siguientes normas: ASTM B-3, ASTM B-8; UL 83; INEN 2345.

Embalaje: Rollos y carretes de madera.

Nota: Modificaciones en la construcción de los cables pueden ser realizadas bajo pedido del cliente.

Fuente: [53].

Anexo 38. Dimensiones de la tubería E.M.T. y área disponible para los conductores.

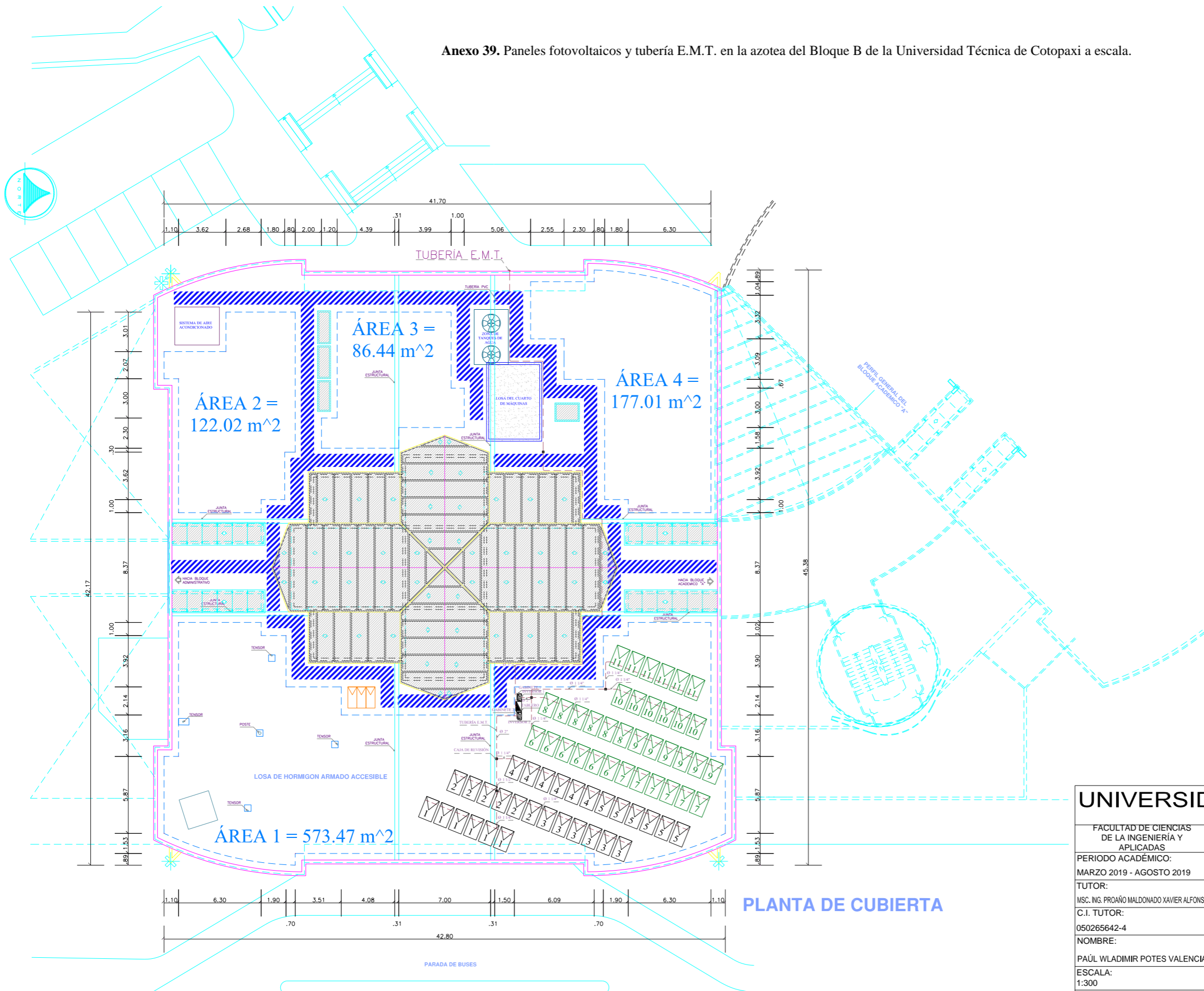
Diámetro nominal		Diámetro interior	Área interior total	Área disponible para conductores (mm ²)		
mm	pulg	mm	mm ²	40% (para 3 conductores o más)	31% (para 2 conductores)	53% (para 1 conductor)
13	½	15,81*	196	78	61	104
19	¾	21,30*	356	142	110	189
25	1	26,50*	552	221	171	293
32	1 ¼	35,31*	979	392	303	519
38	1 ½	41,16*	1331	532	413	705
51	2	52,76*	2186	874	678	1159
63	2 ½	62,71**	3088	1235	957	1637
76	3	77,93**	4769	1908	1478	2528
89	3 ½	90,12**	6378	2551	1977	3380
102	4	102,26**	8213	3285	2546	4353

* Corresponde al tubo metálico ligero.

** Corresponde al tubo metálico tipo pesado.

Fuente: [54], [55].

Anexo 39. Paneles fotovoltaicos y tubería E.M.T. en la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi a escala.



PLANTA DE CUBIERTA

AV. SIMON RODRIGUEZ

Fuente: Elaboración y Formulación propia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
LATACUNGA - ECUADOR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS		PANELES FOTOVOLTAICOS Y TUBERÍA E.M.T.	
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MSC. ING. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	ÁREA BRUTA TOTAL: 1886.05 m ²
ESCALA: 1:300		CICLO: DÉCIMO	ÁREA ÚTIL TOTAL: 958.94 m ²
FECHA: JUNIO/2019		PESO TOTAL SFCCR: 3050 kg	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMÉNEZ C.
		HOJA: 1	DE: 1

Anexo 40. Ficha técnica del interruptor termomagnético c.c.

Ficha técnica del producto **A9N61528**

Características

Int. Termomag. C60H-Dc 2X10A Curva C



Principal

Distancia	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 C60H-DC
Tipo de producto o componente	Disyuntor en miniatura
Modelo de dispositivo	C60H-DC
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal	10 A a 25 °C
Tipo de red	CC
Tipo de unidad de control	Térmico-magnético
Código de curva de disparo ins	C
Poder de corte	Icu 20 kA a 220 V CC conforme a GB 14048.2 Icu 10 kA a 440 V CC conforme a EN 60947-2 Icu 10 kA a 440 V CC conforme a IEC 60947-2 Icu 6 kA a 500 V CC conforme a EN 60947-2 Icu 6 kA a 500 V CC conforme a IEC 60947-2 Icu 20 kA a 220 V CC conforme a IEC 60947-2 Icu 20 kA a 250 V CC conforme a GB 14048.2 Icu 20 kA a 250 V CC conforme a IEC 60947-2
Categoría de utilización	A conforme a EN 60947-2 A conforme a IEC 60947-2
Idoneidad para el seccionamiento	Sí conforme a EN 60947-2 Sí conforme a IEC 60947-2

Complementario

Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Tensión asignada de empleo	500 V CC
[Ics] poder de corte en servicio	15 kA 75 % x Icu a 220 V CC conforme a EN 60947-2 15 kA 75 % x Icu a 220 V CC conforme a IEC 60947-2 15 kA 75 % x Icu a 250 V CC conforme a EN 60947-2 15 kA 75 % x Icu a 250 V CC conforme a IEC 60947-2 4,5 kA 75 % x Icu a 500 V CC conforme a EN 60947-2 4,5 kA 75 % x Icu a 500 V CC conforme a IEC 60947-2

	7.5 kA 75 % x Icu a 440 V CC conforme a EN 60947-2 7.5 kA 75 % x Icu a 440 V CC conforme a IEC 60947-2
Tensión asignada de aislamiento	500 V CC conforming to IEC 60947-2 500 V CC conforming to EN 60947-2
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV conforme a EN 60947-2 6 kV conforme a IEC 60947-2
Indicación de contacto positivo	Sí
Tipo de control	Palanca de conmutación
Señalizaciones frontales	Indicación encendido/apagado
Modo de montaje	Fijo
Soporte de montaje	Perfil DIN simétrico de 35 mm
Compatibilidad de juego de bar	Estándar arriba o abajo
Pasos de 9 mm	4
Peso del producto	0.256 kg
Color	Blanco
Endurancia mecánica	20000 cycles
Endurancia eléctrica	6000 cycles - 500 V CC 3000 cycles - 500 V CC
Provisión cierre candado	Cerradura
Descripción opciones bloqueo	En posición O
Par de apriete	2.5 N.m arriba o abajo circuito de alimentación
Protección de fugas a tierra	Sin

Entorno

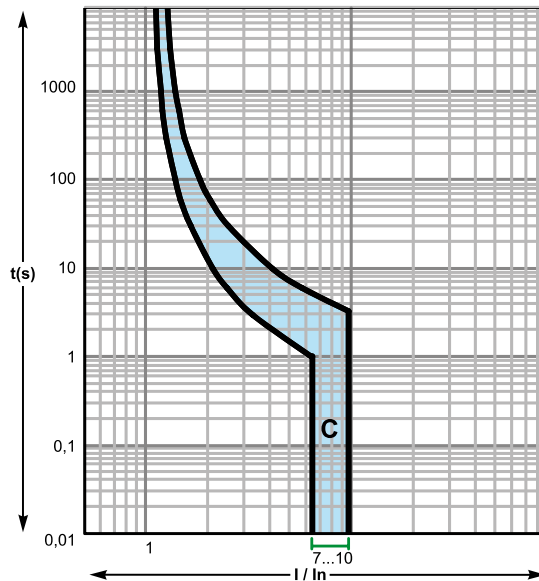
Normas	IEC 60947-2 EN 60947-2
Grado de contaminación	3 conforme a EN 60947-2 3 conforme a IEC 60947-2
Categoría de sobretensión	IV
Tropicalización	2 conforme a IEC 60068-2
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Temperatura ambiente	-25...70 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

Direct current

C60H-DC

According to IEC/EN 60947-2 (reference temperature 25°C)

Curve C



Fuente: [59].

Anexo 41. Ficha técnica del limitador de sobrevoltajes.

Hoja de características del producto **A9L16434**
Características **iPRD-DC 40r 600PV 2P - 840V CD-**



Principal

Gama de producto	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 iPRD-DC
Nombre corto del dispositivo	IPRD-DC
Tipo de producto o componente	Limitador de sobretensiones con cartucho enchufable
Número de polos	2P
Tipo de salida	Contacto (sin tensión)
Composición de contactos de señalización	1 SD (1 C/O)
Tipo de limitador de sobretensiones	Red de distribución eléctrica

Complementario

Tipo y clase de limitador de sobretensiones	Tipo 2
Tecnología de limitador de sobretensiones	MOV + GDT
[Ue] Tensión nominal de empleo	600 V (+/- 10 %) CC
[In] intensidad de descarga nominal	15 kA
[Imax] intensidad de descarga máxima	40 kA
[Ucpv] tensión de funcionamiento máxima continua	Modo diferencial : 840 V L+/L- Modo común : 600 V L+/PE Modo común : 600 V L-/PE
[Up] nivel de protección de tensión	<= 2.8 kV type 2 differential mode L+/L- <= 2.8 kV type 2 common mode L+/PE <= 2.8 kV type 2 common mode L-/PE
Tipo de dispositivo seccionador	Integrated disconnector
Señalizaciones en local	Bandera color: blanco/rojo
Tensión del circuito de señalización	CA : 250 V 50/60 Hz
Señalización de corriente de salida	0.25 A
Tipo de montaje	Ajustable en clip
SopORTE de montaje	Carril DIN
Pasos de 9 mm	6

Hoja de características del
producto
Características

A9L16434
iPRD-DC 40r 600PV 2P - 840V CD-



Altura	81 mm
Anchura	54 mm
Profundidad	69 mm
Peso del producto	0,4 kg
Color	Blanco (RAL 9003)
Tiempo de respuesta	<= 25 ns
Conexiones - terminales	Tunnel type terminal 2.5...16 mm ² flexible Tunnel type terminal 2.5...16 mm ² flexible with ferrule Tunnel type terminal 2.5...25 mm ² rigid
Longitud de cable pelado para conectar bornas	14 mm
Par de apriete	3.5 N.m

Entorno

Normas	UTE C 61740-51 EN 50539-11
Certificaciones de producto	CE
Grado de protección IP	En cara frontal : IP40 En terminal : IP20
Grado de protección IK	IK03
Humedad relativa	5...90 %
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25...60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

Fuente: [60].

Anexo 42. Ficha técnica del fusible 10 × 38 mm.

Technical Data 2153

Effective January 2017
Supersedes August 2015

BUSSMANN
SERIES

PVM fast-acting 13/32" x 1-1/2" (10x38 mm) 600 Vdc photovoltaic fuses



Catalog symbol:

- PVM-(amp)

Description:

A range of fast-acting UL 248-19 600 Vdc 13/32" x 1-1/2" (10x38 mm) fuses specifically designed to protect solar power systems in extreme ambient temperature, high cycling and low level fault current conditions (reverse current, multi-array fault).

Specifications:

Ratings

- Volts 600Vdc to UL 248-19
- Amps 4 - 30A
- IR 50 kA DC (4-30A)

Electrical characteristics

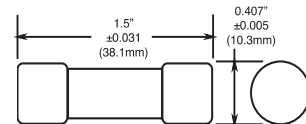
Catalog number	Amp rating	Power loss (watts)	
		0.8 x I _n	1.0 x I _n
PVM-10	10	1.04	1.86
PVM-15	15	1.00	1.72
PVM-30	30	1.65	2.91

Agency information

- UL® Listed, 248-19, Guide JFGA, File E335324
- CSA® Component Certified C22.2
- RoHS compliant

Catalog numbers (amps)			
PVM-4	PVM-7	PVM-10	PVM-20
PVM-5	PVM-8	PVM-12	PVM-25
PVM-6	PVM-9	PVM-15	PVM-30

Dimensions:



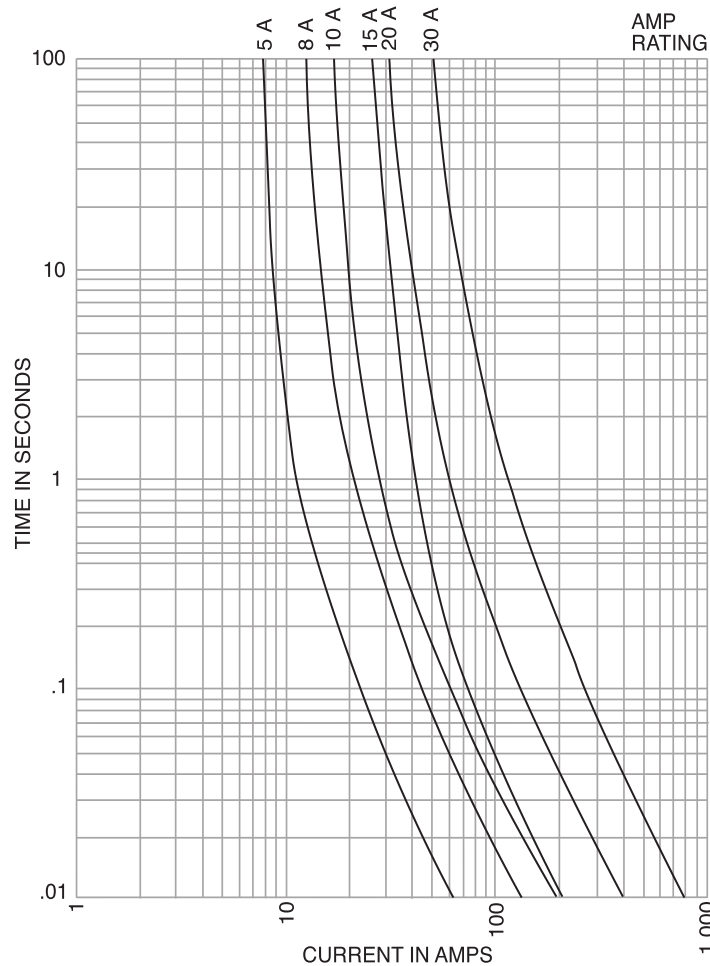
Typical applications:

- Combiner boxes
- Inverters
- Solar strings

Recommended fuse blocks / holders:

Catalog symbol	Description	Doc no.
CHM	600 V DIN-Rail fuse holder	3185
CHPV	1000 V DIN-Rail fuse holder	3185
BPVM	1000 V modular blocks	10625
BMM	600 V modular blocks	10241
HEB	600 V In-Line fuse holder	2127
1A3400_	PCB fuseclip	2131

Time-current curves:



The only controlled copy of this data sheet is the electronic read-only version located on the Eaton network drive. All other copies of this document are by definition uncontrolled. This bulletin is intended to clearly present comprehensive product data and provide technical information that will help the end user with design applications. Eaton reserves the right, without notice, to change design or construction of any products and to discontinue or limit distribution of any products. Eaton also reserves the right to change or update, without notice, any technical information contained in this bulletin. Once a product has been selected, it should be tested by the user in all possible applications.

Eaton
1000 Eaton Boulevard
Cleveland, OH 44122
Eaton.com

Bussmann Division
114 Old State Road
Ellisville, MO 63021
United States
Eaton.com/bussmannseries

© 2017 Eaton
All Rights Reserved
Printed in USA
Publication No. 2153 — BU-SB11985
January 2017

Eaton and Bussmann are valuable trademarks of Eaton in the US and other countries. You are not permitted to use the Eaton trademarks without prior written consent of Eaton.

CSA is a registered trademark of the Canadian Standards Group.
UL is a registered trademark of the Underwriters Laboratories, Inc.

For Eaton's Bussmann series product information, call 1-855-287-7626 or visit: Eaton.com/bussmannseries

Follow us on social media to get the latest product and support information.



Anexo 43. Interruptores automáticos de caja moldeada. Serie Metasol de 30A a 250A.



Tamaño		30	50			60		
Tipo		S-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	
Tipo y Polo	2 polos	ABS32c	ABN52c	ABS52c	ABH52c	ABN62c	ABS62c	
	3 polos	ABS33c	ABN53c	ABS53c	ABH53c	ABN63c	ABS63c	
	4 polos	ABS34c	ABN54c	ABS54c	ABH54c	ABN64c	ABS64c	
Corriente nominal, I _n	[A]	(3, 5, 10) 15, 20, 30	15, 20, 30, 40, 50			15, 20, 30, 40, 50	15, 20, 30, 40, 50, 60	
Tensión nominal, U _e	AC	[V]	690	690	690	690	690	
	DC	[V]	250	250	250	250	250	
Tensión de aislamiento, U _i	[V]	750	750	750	750	750	750	
Tensión de resistencia al impulso, U _{imp}	[kA]	8	8	8	8	8	8	
Poder de corte último (I _{cu}) kA (Sym), KSC8321, IEC60947-2								
AC	690V	[kA]	2.5	2.5	5	8	2.5	5
	480/500V	[kA]	7.5	7.5	10	25	7.5	10
	415/460V	[kA]	14 (10)	14	18	37	14	18
	380V	[kA]	18 (14)	18	22	42	18	22
	220/250V	[kA]	30 (25)	30	35	85	30	35
DC	500V(3P)	[kA]	5	5	10	30	5	10
	250V(2P)	[kA]	5	5	10	30	5	10
Poder de corte en servicio (%I _{cu}), I _{cs}		100	100	100	100	100	100	
Categoría de utilización		A	A	A	A	A	A	
Durabilidad	Mecánica							
	(Número de operaciones) Eléctrica							
Unidad de disparo								
Térmica-magnética		Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	
Magnética								
Solo magnética sin disparo térmico								
Protección diferencial	para 3 polos	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Accesorios								
Auxiliares Eléctricos	Contacto auxiliar	●	●	●	●	●	●	
	Contacto de alarma	●	●	●	●	●	●	
	Bobina de emisión	●	●	●	●	●	●	
	Bobina de mín. tensión	●	●	●	●	●	●	
Accesorios externos	Mando giratorio	●	●	●	●	●	●	
	Mando giratorio extensible	●	●	●	●	●	●	
	Cubre bornas	●	●	●	●	●	●	
	Barreras de aislamiento	●	●	●	●	●	●	
	Conexión trasera	●	●	●	●	●	●	
	Bloqueo mecánico	●	●	●	●	●	●	
	Kit de conexión	●	●	●	●	●	●	
Dimensiones (mm) An x Al x P		75 x 130 x 60	75 x 130 x 60			90 x 155 x 60	75 x 130 x 60	
Peso (kg)	2 polos	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	
	3 polos	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.7	
	4 polos	0.9	0.9	0.9	1.2	0.9	0.9	

Nota):

1. ● Aplicable ó disponible

2. ▲ disponible con un interruptor independiente



100		125		250	
N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo
ABN102c	ABS102c	ABH102c	ABN202c	ABS202c	ABH202c
ABN103c	ABS103c	ABH103c	ABN203c	ABS203c	ABH203c
ABN104c	ABS104c	ABH104c	ABN204c	ABS204c	ABH204c
15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125		100, 125, 150, 175, 200, 225, 250		
690	690	690	690	690	690
250	250	250	250	250	250
750	750	750	750	750	750
8	8	8	8	8	8
5	8	10	5	8	10
10	25	30	18	25	30
18	37	50	25	37	50
22	42	50	30	42	50
35	85	100	65	85	100
10	20	30	10	20	30
10	20	30	10	20	30
100	100	100	100	100	100
A	A	A	A	A	A
Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo
▲	▲	▲	▲	▲	▲
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
75 × 130 × 60	90 × 155 × 60		105 × 165 × 60		
0.5	0.7	0.7	1.1	1.1	1.1
0.7	1	1	1.2	1.2	1.2
0.9	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6

Fuente: [62].

Anexo 44. Interruptores de circuito por falla a tierra. Serie Metasol de 30AF a 250AF.



Tamaño		30	50			60		
		S-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	
Tipo		-	EBS33c	EBS53c	EBH53c	EBS63c	EBS63c	
Tipo y Polo	2 polos	-	EBS33c	EBS53c	EBH53c	EBS63c	EBS63c	
	3 polos	EBS33c	EBS33c	EBS53c	EBH53c	EBS63c	EBS63c	
	4 polos	EBS34c	-	EBS54c	EBH54c	-	EBS64c	
Función de protección		Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra	Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra		Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra	Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra		
Corriente nominal, I _n	[A]	15, 20, 30	15, 20, 30, 40, 50		15, 20, 30, 40, 50	60		
Corriente diferencial nominal, I _{Δn}	mA	30, 100/200/500	30, 100/200/500		30, 100/200/500	30, 100/200/500		
Tensión nominal, U _e	AC [V]	220/460	220/460		220/460	220/460		
Máxima tensión de pico, U _{imp}	[kV]	6	6		6	6		
Tiempo de corriente diferencial en I _{Δn}	seg	≤0.1 seg	≤0.1 seg		≤0.1 seg	≤0.1 seg		
Poder de corte último (I _{cu}) kA (Sym), KSC8321, IEC60947-2								
CA	460V	[kA]	14	14	18	50	14	18
	415V	[kA]	14	14	18	50	14	18
	220/250V	[kA]	30	30	35	100	30	35
Poder de corte en servicio (%I _{cu})	I _{cs}	100	100	100	100	100	100	
Categoría de utilización		A	A	A	A	A	A	
Durabilidad	Mecánica	25000	25000	25000	25000	25000	25000	
	(Número de operaciones) Eléctrica	10000	10000	10000	10000	10000	10000	
Unidad de disparo								
Térmica-magnética		Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	
Magnética								
Solo magnética sin disparo térmico								
Protección diferencial	para 3 polos	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Accesorios								
Auxiliares Eléctricos	Contacto auxiliar	●	●	●	●	●	●	
	Contacto de alarma	●	●	●	●	●	●	
	Bobina de emisión							
	Bobina de mín. tensión							
Accesorios externos	Barreras de aislamiento	●	●	●	●	●	●	
	Cubierta de Terminales (larga)	●	●	●	●	●	●	
	Cubierta de Terminales (corta)	●	●	●	●	●	●	
	Manija rotatoria (directa)	●	●	●	●	●	●	
	Manija rotatoria (directa, cerradura con llave)	●	●	●	●	●	●	
	Manija rotatoria (extendida)	●	●	●	●	●	●	
	Terminal posterior (barra)				●	●	●	
	Terminal posterior (redonda)	●	●	●	●	●	●	
	Kit de conexión	●	●	●	●	●	●	
	Seguro para de manija	●	●	●	●	●	●	
Dimensiones (mm)	An × Al × P (3p)	75 × 130 × 60	75 × 130 × 60		90 × 155 × 60	75 × 130 × 60		
Peso (kg)	2 polos	-	0.5	-	-	-	-	
	3 polos	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.7	
	4 polos	0.9	-	0.9	1.2	-	0.9	

Nota) 1. ● Aplicable o disponible

2. ▲ Disponible como interruptor por separado



100		125		250	
N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo	N-Tipo	S-Tipo	H-Tipo
EBN102c	-	-	EBN202c	-	-
EBN103c	EBS103c	EBH103c	EBN203c	EBS203c	EBH203c
EBN104c	EBS104c	EBH104c	-	EBS204c	EBH204c
Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra	Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra		Sobrecarga, cortocircuito y fuga a tierra		
60, 75, 100	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125		100, 125, 150, 175, 200, 225, 250		
30, 100/200/500	30,100/200/500		30,100/200/500		
220/460	220/460		220/460		
6	6		6		
≤0.1 seg	≤0.1 seg		≤0.1 seg		
18	37	50	26	37	50
18	37	50	26	37	50
35	85	100	65	85	100
100	100	100	100	100	
A	A	A	A	A	
25000	25000	25000	20000	20000	20000
10000	10000	10000	5000	5000	5000
Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo
▲	▲	▲	▲	▲	▲
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●
75 × 130 × 60	90 × 155 × 60		105 × 165 × 60		
0.5	-	-	1.1	-	-
0.7	1	1	1.2	1.2	1.2
0.9	1.2	1.2	-	1.5	1.5

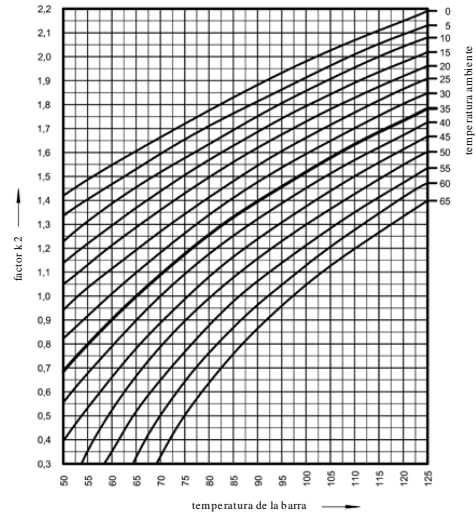
Fuente: [62].

Anexo 45. Barras conductoras.

Tablas de cargas y diagrama de factor de corrección para barras conductoras de cobre y aluminio según DIN 43671 y 43670

Las corrientes constantes indicadas son válidas de forma análoga a las normas indicadas para barras conductoras con sección rectangular colocadas de forma individual, posición vertical del ancho de la barra, en instalaciones interiores con temperatura de ambiente de +35° y temperatura de barra de +65° C. Para valores con temperaturas de ambiente diferentes véase diagrama de factores de corrección.

Con la ayuda del factor de corrección K2 las corrientes constantes indicadas en la tabla pueden ser corregidas con respecto a una temperatura de ambiente o de barra diferente. Todas las corrientes constantes indicadas se basan en aire sin movimiento, barras desnudas parcialmente oxidadas, de forma que el grado de emisión en Alu 0,35 o CU0,4 y en barras pintadas es de aproximadamente 0,9. Con otras condiciones ambientales o colocación paralela de varias barras los valores se tienen que tomar de las normas.



Ancho x Espesor mm	Material E-Cu F30 Corriente constante en A						Material E-AL Corriente constante en A					
	Peso kg por metro	ACHasta 60 Hz barra		DC + AChasta 16 2/3 Hz barra		Peso kg por metro	ACHasta 60 Hz barra		DC + AChasta 16 2/3 Hz barra			
		desnudo	pintado	desnudo	pintado		desnudo	pintado	desnudo	pintado		
12 x 2	0,210	108	123	108	123	0,060	84	97	84	97		
15 x 2	0,270	128	148	128	148	0,080	100	118	100	118		
15 x 3	0,400	162	187	162	187	0,120	126	148	126	148		
20 x 2	0,360	162	189	162	189	0,110	127	150	127	150		
20 x 3	0,530	204	237	204	237	0,160	159	188	159	188		
20 x 5	0,890	274	319	274	320	0,270	214	254	214	254		
20 x 10	1,780	427	497	428	499	0,540	331	393	331	393		
25 x 3	0,670	245	287	245	287	0,200	190	228	191	228		
25 x 5	1,115	327	384	327	384	0,340	255	305	255	305		
30 x 3	0,800	285	337	286	337	0,240	222	267	222	268		
30 x 5	1,340	379	447	380	448	0,410	295	356	296	356		
30 x 10	2,670	573	676	579	683	0,810	445	536	447	538		
40 x 3	1,070	366	435	367	436	0,320	285	346	285	346		
40 x 5	1,780	482	573	484	576	0,540	376	456	376	457		
40 x 10	3,560	715	850	728	865	1,080	557	677	561	682		
50 x 5	2,230	583	697	588	703	0,680	455	556	456	558		
50 x 10	4,450	852	1020	875	1050	1,350	667	815	674	824		
60 x 5	2,670	688	826	696	836	0,810	533	655	536	658		
60 x 10	5,340	985	1180	1020	1230	1,620	774	951	787	966		
80 x 5	3,560	885	1070	902	1090	1,080	688	851	694	858		
80 x 10	7,120	1240	1500	1310	1590	2,160	983	1220	1010	1250		
100 x 5	4,450	1080	1300	1110	1340	1,350	846	1050	858	1060		
100 x 10	8,900	1490	1810	1600	1940	2,700	1190	1480	1240	1540		
120 x 10	10,680	1740	2110	1890	2300	3,240	1390	1730	1460	1830		
160 x 10	14,240	2220	2700	2470	3010	4,320	1780	2220	1900	2380		
200 x 10	17,800	2690	3290	3040	3720	5,400	2160	2710	2350	2960		

Fuente: [63].

Anexo 46. Gabinete y tablero en acero inoxidable con protección IP 66.

Gabinete puerta ciega, Acero Inoxidable

CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)			PESO Aprox. (kg)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	PROFUNDIDAD (D)	
I-3002	GSP-302015/INX	300	200	150	2.7
I-3003	GSP-303020/INX	300	300	200	4.2
I-3004	GSP-303015/INX	300	300	150	3.7
I-3006	GSP-403020/INX	400	300	200	5.2
I-3010	GSP-404020/INX	400	400	200	6.5
I-3016	GSP-604020/INX	600	400	200	9.1
I-3020	GSP-606020/INX	600	600	200	18.9
I-3024	GSP-806025/INX	800	600	250	23.2
I-3026	GSP-806030/INX	800	600	300	27.5
I-3032	GSP-1006030/INX	1000	600	300	33.2



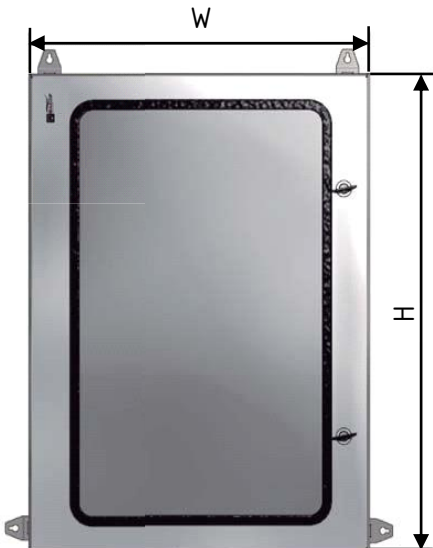
Gabinete con visor transparente, Acero inoxidable

CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)			PESO Aprox. (Kg.)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	PROFUNDIDAD (D)	
I-3006/T	GSP-403020/T/INX	400	300	200	6
I-3010/T	GSP-404020/T/INX	400	400	200	7.3
I-3016/T	GSP-604020/T/INX	600	400	200	9.9
I-3020/T	GSP-606020/T/INX	600	600	200	19.7
I-3024/T	GSP-806025/T/INX	800	600	250	24
I-3026/T	GSP-806030/T/INX	800	600	300	28.3
I-3032/T	GSP-1006030/T/INX	1000	600	300	34

VISTA INFERIOR



VISTA FRONTAL

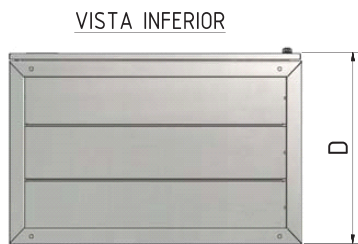


VISTA LATERAL IZQ



Tablero Modular Autosportado en Acero Inoxidable

CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)			PESO Aprox. (Kg.)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	PROFUNDIDAD (D)	
I-3100	TMP-1206040/INX	1200	600	400	51.0
I-3102	TMP-1208040/INX	1200	800	400	59.3
I-3104	TMP-1608040/INX	1600	800	400	73.8
I-3106	TMP-1608060/INX	1600	800	600	83.4
I-3112	TMP-1606060/INX	1600	600	600	70.5
I-3114	TMP-1606040/INX	1600	600	400	61.6
I-3116	TMP-1808060/INX	1800	800	600	94.1
I-3120	TMP-1806060/INX	1800	600	600	79.6
I-3122	TMP-2008060/INX	2000	800	600	102.5
I-3124	TMP-2006060/INX	2000	600	600	86.2
I-3126	TMP-20010060/INX	2000	1000	600	106.7

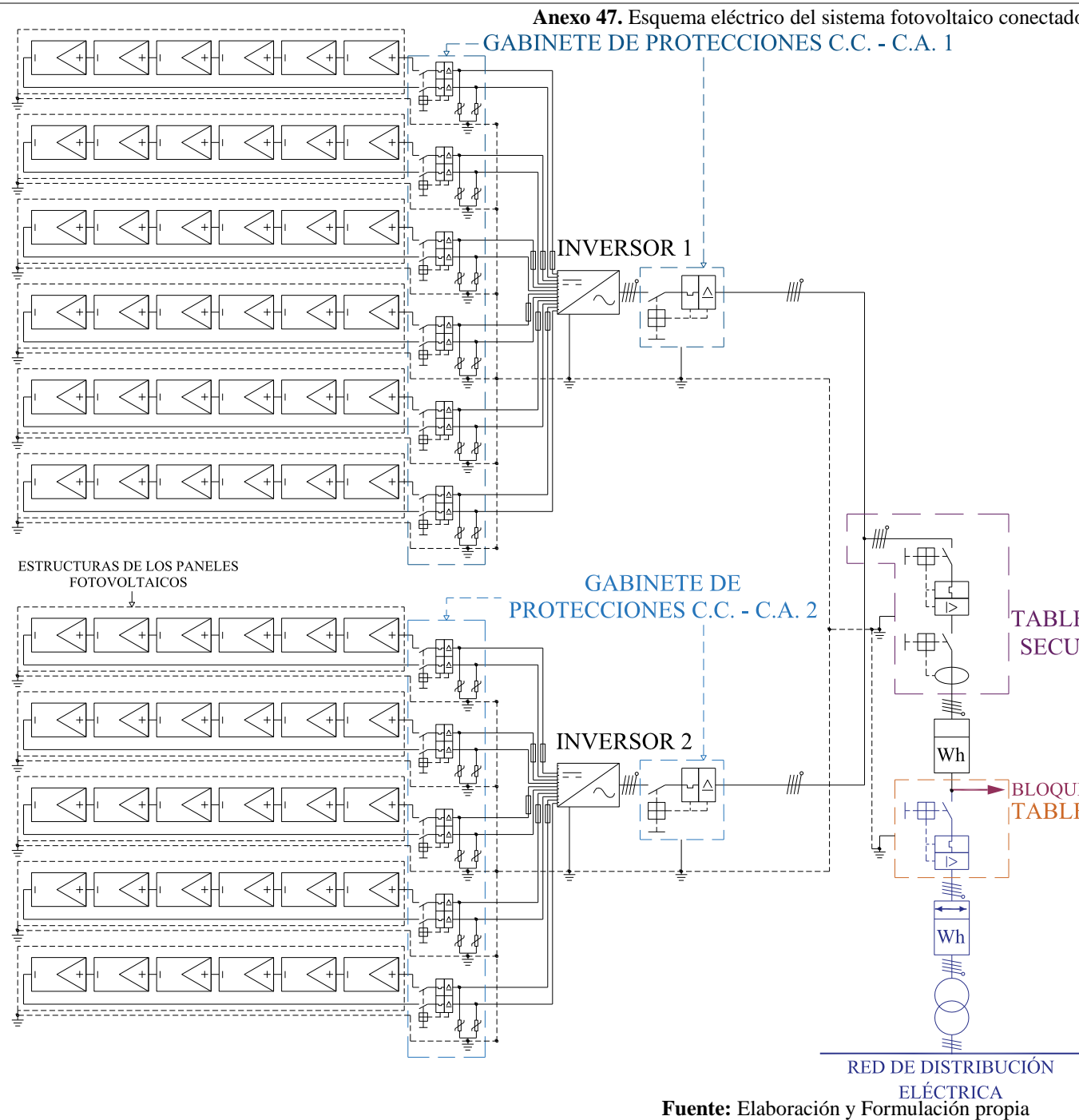


VISTA LATERAL IZQ



Fuente: [64].

Anexo 47. Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico conectado a la red.



SIMBOLOGÍA			
	PANEL FOTOVOLTAICO		INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	LIMITADOR DE SOBREVOLTAJES		PUESTA A TIERRA
	INVERSOR CC/CA		CONDUCTOR DE FASE
	FUSIBLE		CONDUCTOR NEUTRO
	CONTADOR DE ENERGÍA		INTERRUPTOR DIFERENCIAL
	CONTADOR DE ENERGÍA BIDIRECCIONAL		TRANSFORMADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA - ECUADOR

ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SFCR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS			
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MSC. ING. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	
FECHA: MAYO/2019	CICLO: DÉCIMO	LÁMINA: A4/1	PROPIETARIO:
	HOJA: 1	DE: 1	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMÉNEZ C.

Fuente: Elaboración y Formulación propia

RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

SIMBOLOGÍA

13.8/0.22 kV
300 kVA
Dyn5

TABLERO PRINCIPAL DEL BLOQUE B

BLOQUE B

TABLERO DE INTERCONEXIÓN SECUNDARIO DEL BLOQUE B

GABINETE DE PROTECCIONES C.C. - C.A. 1

GABINETE DE PROTECCIONES C.C. - C.A. 2

15 kW

15 kW

12 A 12 A 12 A 12 A 12 A 12 A

12 A 12 A 12 A 12 A 12 A

10 A 10 A 10 A 10 A 10 A 10 A

10 A 10 A 10 A 10 A 10 A

2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA

2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA 2.8 kV, 15 kA

400 W 400 W 400 W 400 W 400 W 400 W

400 W 400 W 400 W 400 W 400 W

CADENA DE 6 PANELES FOTOVOLTAICOS

CADENA DE 6 PANELES FOTOVOLTAICOS

	PANEL FOTOVOLTAICO		INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	LIMITADOR DE SOBREVOLTAJES		PUESTA A TIERRA
	INVERSOR CC/CA		CONDUCTOR DE FASE
	FUSIBLE		CONDUCTOR NEUTRO
			CONDUCTOR POSITIVO CONDUCTOR NEGATIVO
	CONTADOR DE ENERGÍA		INTERRUPTOR DIFERENCIAL
	CONTADOR DE ENERGÍA BIDIRECCIONAL		TRANSFORMADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA - ECUADOR

NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA	CICLO: DÉCIMO
FECHA: JUNIO/2019	ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA
LÁMINA No. A4/1	PROPIETARIO:
HOJA: 1	DE: 1
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMÉNEZ C.	

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019
TUTOR: MSC. ING. PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO
C.I. DOCENTE: 050265642-4

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SFCR

Anexo 49. Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado.

AGENCIA DE REGULACIÓN Y
CONTROL DE ELECTRICIDAD



PERIODO: **ENERO - DICIEMBRE ***

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO-AZOGUES-CNEL BOLÍVAR-CENTROSUR-COTOPAXI-NORTE-RIOBAMBA-SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD Consumidor)
CATEGORÍA	RESIDENCIAL		
NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE		1,414
1-50		0,091	
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	
501-700		0,1285	
701-1000		0,1450	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	
	RESIDENCIAL TEMPORAL		
		0,1285	
CATEGORÍA	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA		
NIVEL VOLTAJE	COMERCIAL		1,414
1-300		0,092	
Superior		0,103	
1-300	E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES		
Superior		0,082	
		0,093	
1-300	BOMBEO AGUA		
Superior		0,072	
		0,083	
1-300	BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE		
Superior		0,058	
		0,066	
1-300	INDUSTRIA ARTESANAL		
Superior		0,073	
		0,089	
1-100	ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO		
101-200		0,034	
201-300		0,036	
Superior		0,038	
		0,063	
NIVEL VOLTAJE	BAJO VOLTAJE CON DEMANDA		1,414
	COMERCIALES		
	4,790	0,090	
	INDUSTRIALES		
	4,790	0,080	
	ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES		
	4,790	0,080	
	BOMBEO AGUA		
	4,790	0,070	



Handwritten signature and initials.



PERIODO: ENERO - DICIEMBRE *

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO-AZOGUES-CNEL BOLÍVAR-CENTROSUR-COTOPAXI-NORTE-RIOBAMBA-SUR

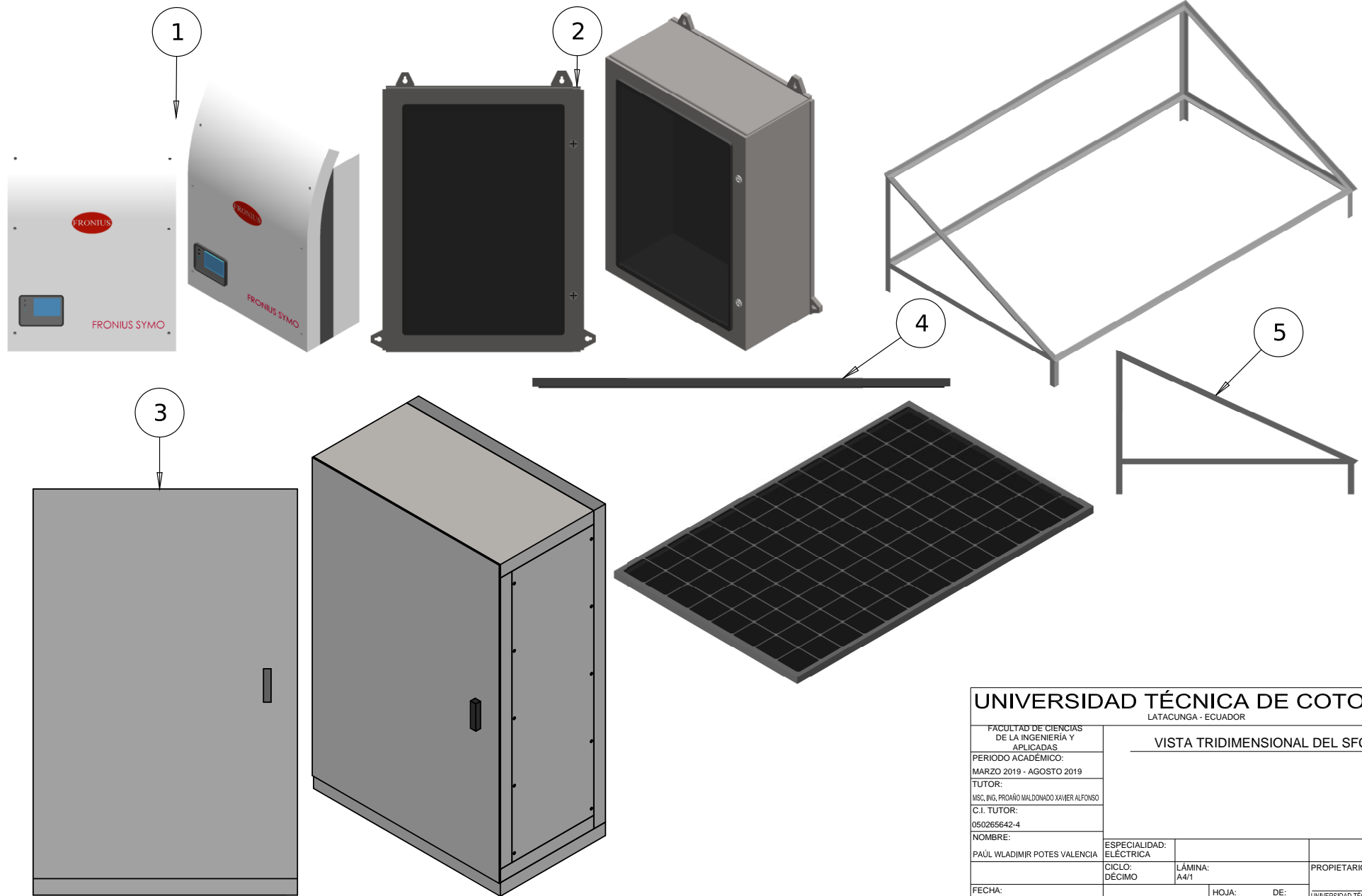
CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD Consumidor)		
NIVEL VOLTAJE		BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA			
COMERCIAL					
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,790	0,090	1,414		
		0,072			
INDUSTRIALES					
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,790	0,065			
		0,069			
E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES					
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,790	0,080			
		0,066			
BOMBEO					
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,790	0,070			
		0,056			
NIVEL VOLTAJE		BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA			
BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE					
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 horas hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas*** S.D 18:00 hasta 22:00 horas	2,620	0,056	1,414		
		0,095			
		0,045			
		0,056			
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS					
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-D: 18:00 horas hasta 22:00 horas L-D: 22:00 hasta 08:00 horas SyD: 18:00 hasta 22:00 horas	4,050	0,080			
		0,100			
		0,050			
NIVEL VOLTAJE		BAJO Y MEDIO VOLTAJE			
1-300 Superior	BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO		0,700		
		0,040			
ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA					
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	3,000	0,065	1,414		
	ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA				
	3,00	0,065			
		0,054			

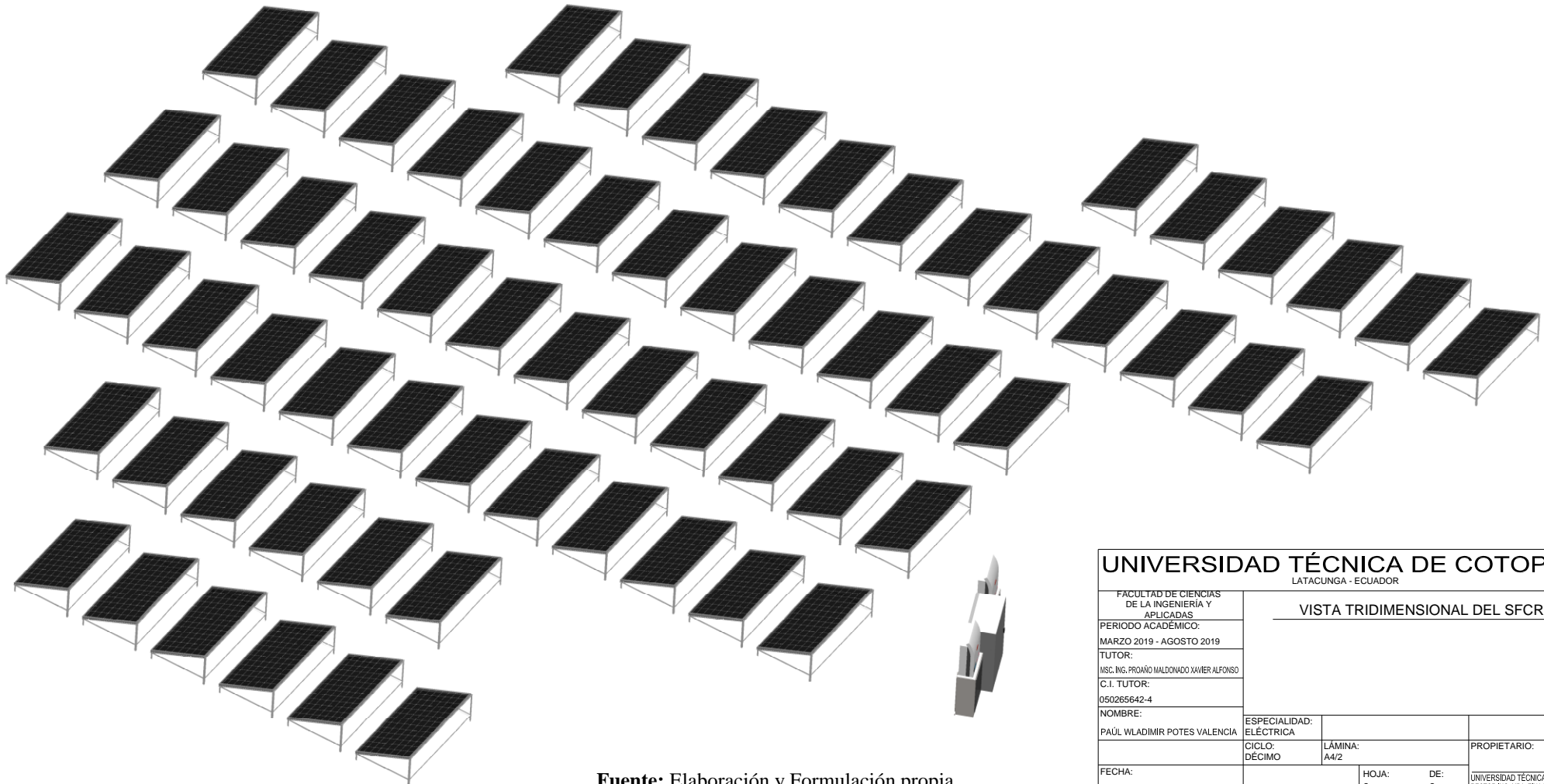
Handwritten signature and initials in blue ink.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA - ECUADOR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS		VISTA TRIDIMENSIONAL DEL SFCR	
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MSc. ING. PROBAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	
CICLO: DÉCIMO	LÁMINA: A4/1	PROPIETARIO:	
FECHA: JULIO/2019	HOJA: 1	DE: 2	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TINAJERO JIMENEZ C.

No. de componente	Denominación
1	Inversor Fronius Symo 15.0-3 208
2	Gabinete de protecciones c.c. – c.a.
3	Tablero de interconexión secundario del Bloque B
4	Panel fotovoltaico SUNPOWER Maxeon 3 400 W
5	Estructura para el módulo fotovoltaico



Fuente: Elaboración y Formulación propia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA - ECUADOR			
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS		VISTA TRIDIMENSIONAL DEL SFCR	
PERIODO ACADÉMICO: MARZO 2019 - AGOSTO 2019			
TUTOR: MSc. ING. PRONAO MALDONADO XAVIER ALFONSO			
C.I. TUTOR: 050265642-4			
NOMBRE: PAÚL WLADIMIR POTES VALENCIA		ESPECIALIDAD: ELÉCTRICA	
		LÁMINA: A4/2	PROPIETARIO:
FECHA: JULIO/2019		HOJA: 2	DE: 2
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI RECTOR ING. MBA. TNA.ERO JIMÉNEZ, C.			