UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP

Tesis para optar el Título de

Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Frank Muñoz Cano

Asesor(es):
Dr. Ing. Víctor Lizana Bobadilla

Piura, marzo de 2021

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Dedicatoria

A mis padres, Fany Cano y Javier Muñoz
los que siempre me apoyaron, y lo siguen haciendo hasta el día de hoy

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Resumen Analítico-Informativo

Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP.

Frank Muñoz Cano
Asesor(es): Dr. Ing. Víctor Lizana Bobadilla
Tesis.
Ingeniero Mecánico – Eléctrico
Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
Piura, marzo del 2021

Palabras claves: Iluminación tipo LED/demanda energética/oferta energética/energía solar fotovoltaica/sistema fotovoltaico autónomo/análisis económico

Introducción: El presente trabajo tiene como objetivo final, el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para suministrar energía al edificio IME de la Universidad de Piura. Pretendiéndose demostrar que es posible abastecer parte de la demanda energética de un edificio aprovechando la energía solar fotovoltaica, y a la vez, dar a conocer la viabilidad de un proyecto de esta magnitud. Adicionalmente, se tiene como objetivo proponer una alternativa de mejora para la iluminación fluorescente que es usada actualmente, por una iluminación LED.

Metodología: Se realizan primero mediciones de nivel de iluminación en los ambientes del edificio, para posteriormente compararlos con los valores recomendados por la Norma Técnica EM.010. A continuación, se calcula y dimensiona el sistema de iluminación LED.

En cuanto al dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, primero se estima la demanda energética del edificio y la energía disponible dadas las condiciones de irradiación en la ciudad de Piura. Luego se procede a realizar el cálculo para la correcta selección de los componentes de la instalación. Finalmente, se ejecuta un análisis económico.

Resultados: Para la propuesta de iluminación, se calculó por el método de lúmenes, la cantidad de luminarias LED necesarias para cada ambiente.

Respecto al diseño de la instalación fotovoltaica, se escogieron los componentes más económicos en base a sus parámetros eléctricos calculados.

Conclusiones: La materialización de una instalación fotovoltaica autónoma es viable desde el punto de vista técnico. Sin embargo, desde el punto de vista económico no es viable, debido al alto costo de los componentes, en especial las baterías del sistema de acumulación.

Fecha de elaboración del resumen: 20 de Noviembre del 2020

Analytical-Informative Summary

Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP.
Frank Muñoz Cano
Asesor(es): Dr. Ing. Víctor Lizana Bobadilla
Tesis.
Ingeniero Mecánico – Eléctrico
Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
Piura, marzo del 2021

Keywords: LED type lighting / energy demand / energy supply / Photovoltaic Solar Energy / autonomous photovoltaic system / economic analysis

Introduction: The present work has as its final objective, the design of an autonomous photovoltaic system to supply energy to the IME building of the University of Piura. Pretending to demonstrate that it is posible to supply part of the energy demand of a building by taking advantage of photovoltaic solar energy, and at the same time, make known the viability of a project of this magnitude. Additionally, the objective is to propose an improvement alternative for the fluorescent lighting that is currently used, for LED-type lighting.

Methodology: First, light level measurements are made in the building environments to later compare them with the values recommended by Technical Standard EM.010. The LED lighting system is then calculated and dimensioned.

Regarding the dimensioning of the photovoltaic installation, first the energy demand of the building and the available energy are analysed, the last one is estimated given the irradiation conditions in the city of Piura. Then, the calculation is carried out for the correct selection of the components of the photovoltaic installation. Finally, an economic analysis is run.

Results: For the lighting proposal, the amount of LED lights needed for each environment was calculated using the lumens method. Regarding the design of the photovoltaic installation, the most economical components were chosen based on their calculated electrical parameters.

Conclusion: The realization of an autonomous photovoltaic installation is feasible from a technical point of view. However, from an economic point of view it is not viable, due to the high cost of the components, specially storage batteries.

Summary date: November 20th, 2020

Prólogo

Con el fin de mitigar los efectos del cambio climático, es que varios países de todo el mundo están realizando la transición de fuentes de energía contaminantes, como el carbón y el petróleo, a fuentes limpias que emplean recursos renovables (convencionales y no convencionales), como la energía solar, eólica, entre otras. Actualmente, las energías renovables no convencionales no tienen una participación significativa en la matriz energética peruana, sin embargo, debido a su potencial se prevé que tendrán un rol vital en el futuro.

Los sistemas fotovoltaicos generan escasos residuos a comparación de otros sistemas de generación de energía. Estos se utilizan en zonas remotas o geográficamente aisladas, también pueden adaptarse para funcionar en conjunto con la red eléctrica como fuente complementaria de energía eléctrica. Por otro lado, el principal elemento de los sistemas fotovoltaicos, el panel solar, ha venido experimentando mejoras tecnológicas y reducciones en sus costos de fabricación, haciendo más competitiva a esta fuente de energía.

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para suministrar energía al Edificio IME de la Universidad de Piura. Si bien este tipo de sistemas no es comúnmente implementado en edificaciones con altas demandas energéticas debido a sus diversos componentes, se buscará adaptar un diseño funcional dado el espacio disponible y con el menor costo posible de los elementos que lo constituyen, y así demostrar la factibilidad de abastecer la demanda energética de un edificio haciendo uso de la energía solar fotovoltaica.

Para la realización de este trabajo de tesis fue imprescindible la guía del asesor Dr. Ing. Víctor Lizana Bobadilla, catedrático de la Universidad de Piura, a quien se agradece por su apoyo, paciencia y tiempo invertido. De igual manera, se agradece a los familiares y amigos cuyo apoyo y palabras de aliento son infaltables.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Tabla de principales parámetros

Parámetro	Nombre	Unidades
ϕ	Flujo luminoso	lm
I	Intensidad luminosa	cd
E	Iluminancia	lx
L	Luminancia	cd/m^2
δ	Declinación solar	°
ω_s	Ángulo de salida del sol	°
ω_{ss}	Ángulo de salida del sol sobre un plano inclinado	°
β	Ángulo de inclinación	°
α	Ángulo de acimut	°
$B_{d,m(o)}$	Irradiación solar directa sobre un plano horizontal	Wh/m^2
$B_{(\beta,\alpha)}$	Irradiación solar directa sobre un plano inclinado	Wh/m^2
$D_{(\beta,\alpha)}$	Irradiación solar difusa sobre un plano inclinado	Wh/m^2
$R_{(\beta,\alpha)}$	Irradiación de albedo sobre un plano inclinado	Wh/m^2
$G_{(\beta,\alpha)}$	Irradiación global solar sobre un plano inclinado	Wh/m^2

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Tabla de contenido

Introducción 1

Capítulo 1. Marco teórico 3

1.1. Sistema de iluminación 3

1.1.1. La luz 3

1.1.2. Magnitudes luminotécnicas 4

1.1.3. Lámparas 6

1.2. Sistemas fotovoltaicos 11

1.2.1. El sol 11

1.2.2. Órbita tierra-sol 12

1.2.3. Tipos de radiación solar 12

1.2.4. Irradiancia (G) 13

1.2.5. Irradiación (I) 13

1.2.6. Energía solar fotovoltaica 14

1.2.7. Tipos de sistemas fotovoltaicos 15

Capítulo 2. Iluminación del edifico IME 19

2.1. Medición del nivel de iluminación en los ambientes del edificio IME de la UDEP. .. 19

2.1.1. Medición de nivel de iluminación de ambientes del primer piso 21

2.1.2. Medición de nivel de iluminación de ambientes del segundo piso 24

2.2. Niveles de iluminación recomendados y resumen de resultados 26

2.2.1. Resumen de resultados 27

2.3. Propuesta de iluminación LED para los distintos ambientes del edificio 28

2.3.1. Luminarias LED tipo panel 29

2.3.2. Luminarias LED tipo regleta 29

2.4. Método de lúmenes para determinar el número de luminarias 32

2.4.1 Flujo luminoso total necesario (ϕ_T) 32

2.4.2. Coeficiente de utilización (C_u) 39

2.4.3. Resumen de resultados de números de luminarias 42
Capítulo 3. Diseño de la instalación fotovoltaica autónoma para el edificio IME 45
3.1. Conceptos previos 45
3.1.1. Potencia de utilización 45
3.2. Análisis de la demanda energética del edificio IME 46
3.2.1. Demanda energética de iluminación 47
3.2.2. Demanda energética de tomacorrientes 48
3.3. Determinación de la disponibilidad energética 50
3.3.1. Irradiación global solar sobre un plano inclinado ($G_{(\beta,\alpha)}$) 51
3.3.2. Irradiación solar directa sobre un plano horizontal ($B_{d,m(0)}$) 53
3.3.3. Índice de claridad (K_{Tm}) 53
3.3.4. Fracción difusa de la radiación horizontal (F_{Dm}) 53
3.3.5. Irradiación solar directa sobre un plano inclinado ($B_{(\beta,\alpha)}$) 54
3.3.6. Irradiación solar difusa sobre un plano inclinado ($D_{(\beta,\alpha)}$) 54
3.3.7. Irradiación de albedo sobre un plano inclinado ($R_{(\beta,\alpha)}$) 55
3.4. Consideraciones iniciales para el dimensionamiento 55
3.5. Dimensionado de la instalación fotovoltaica 57
3.5.1. Generador fotovoltaico 57
3.5.2. Sistema de acumulación 60
3.5.3. Regulador de carga solar 62
3.5.4. Inversor solar 65
3.5.5. Conductores del sistema fotovoltaico 68
3.5.6. Aparatos de maniobra y protección 70
3.5.7. Estructuras de soporte 74
Capítulo 4. Resultados 75
4.1. Descripción del sistema 75
4.2. Datos de partida de oferta energética 76
4.3. Consideraciones para el diseño 77
4.3.1. Orientación de los módulos solares 77
4.3.2. Sombras 79
4.3.3. Tensión nominal del sistema de acumulación 79
4.3.4. Número de días de autonomía 80
4.4. Resultados 81
4.4.1. Subconjunto I 81

4.4.2. Subconjunto II 86
4.4.3. Subconjunto III 91
4.4.4. Subconjunto IV 96
4.4.5. Subconjunto V 101
4.4.6. Estructura de soporte 106
4.4.7. Superficie del generador fotovoltaico de la instalación 107
Capítulo 5. Análisis económico 109
5.1. Análisis de costes 109
5.1.1. Costos de los componentes del subconjunto I 110
5.1.2. Costos de los componentes del subconjunto II 111
5.1.3. Costos de los componentes del subconjunto III 112
5.1.4. Costos de los componentes del subconjunto IV 113
5.1.5. Costos de los componentes del subconjunto V 114
5.2. Factibilidad financiera 115
5.2.1. Valor Presente Neto (VPN) 115
5.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR) 116
5.3. Cálculo de los indicadores económicos de la inversión 116
Conclusiones 119
Referencias bibliográficas 123
Anexos 125
Anexo A. Ubicación de los puntos representativos para la medición de iluminación en el laboratorio de Electrotecnia. 127
Anexo B. Tabla de coeficientes de Reflexión. 128
Anexo C. Demanda energética de iluminación del edificio IME. 129
Anexo C-1. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Electrotecnia. 129
Anexo C-2. Demanda energética de iluminación del taller de Mecánica de Suelos. 129
Anexo C-3. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Ensayo de Materiales. 129
Anexo C-4. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica. 130
Anexo C-5. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Física. 130
Anexo C-6. Demanda energética de iluminación del Centro de Idiomas. 131
Anexo C-7. Demanda energética de iluminación de Dirección IME. 131
Anexo C-8. Demanda energética de iluminación de zona de pasillo del primer piso. 131
Anexo C-9. Demanda energética de iluminación de auditorio IME. 132
Anexo C-10. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Energía. 132

Anexo C-11. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Electrónica. 132
Anexo C-12. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Metalotecnia. 133
Anexo C-13. Demanda energética de iluminación del laboratorio de SAC. 133
Anexo C-14. Demanda energética de iluminación de zona de pasillo del segundo piso. .. 133
Anexo C-15. Demanda energética de iluminación de Soluciones de Software. 134
Anexo C-16. Demanda energética de iluminación de centro de Diseño. 134
Anexo D. Demanda energética de tomacorrientes del edificio IME. 135
Anexo D-1. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Electrotecnia. 135
Anexo D-2. Demanda energética de tomacorrientes de taller de Mecánica de Suelos. 135
Anexo D-3. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Ensayo de Materiales. 136
Anexo D-4. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Física. 137
Anexo D-5. Demanda energética de tomacorrientes de Dirección IME. 138
Anexo D-6. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica. 138
Anexo D-7. Demanda energética de tomacorrientes del Centro de Idiomas. 139
Anexo D-8. Demanda energética de tomacorrientes del Auditorio IME. 140
Anexo D-9. Demanda energética de tomacorrientes del laboratorio de Energía. 140
Anexo D-10. Demanda energética de tomacorrientes del laboratorio de Electrónica. 141
Anexo D-11. Demanda energética de tomacorrientes de Soluciones de Software. 142
Anexo D-12. Demanda energética de tomacorrientes del pasillo del segundo piso. 142
Anexo D-13. Demanda energética de tomacorrientes del pasillo del segundo piso. 143
Anexo D-14. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de SAC. 144
Anexo D-15. Demanda energética de tomacorrientes de Centro de Diseño. 145
Anexo D-16. Demanda energética de tomacorrientes de Metalotecnia. 146
Anexo E. Características técnicas del panel solar Jinko. 147
Anexo F. Características técnicas de las baterías estacionarias BAE. 148
Anexo G. Características técnicas del regulador de carga STECA. 150
Anexo H. Características técnicas del inversor solar Phoenix. 151

Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de resultados de las mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux). 21
Tabla 2. Resumen de resultados de las mediciones en la zona de pruebas de probetas. Unidades (Lux). 21
Tabla 3. Resumen de resultados de las mediciones en la sala de técnicos. Unidades (Lux). 22
Tabla 4. Resumen de resultados de las mediciones en una oficina. Unidades (Lux). 22
Tabla 5. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux). 22
Tabla 6. Resumen de resultados de mediciones en el área de modelos. Unidades (Lux). 22
Tabla 7. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux). 22
Tabla 8. Resumen de resultados de mediciones en la sala de reuniones. Unidades (Lux). 23
Tabla 9. Resumen de resultados de mediciones en sala de máquinas. Unidades (Lux). 23
Tabla 10. Resumen de resultados de mediciones en zona de recepción de proyectos. Unidades (Lux). 23
Tabla 11. Resumen de resultados de mediciones en zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux). 23
Tabla 12. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux). 24
Tabla 13. Resumen de resultados de mediciones en la sala de oficinas. Unidades (Lux). 24
Tabla 14. Resumen de resultados de mediciones en sala de reuniones. Unidades (Lux). 24
Tabla 15. Resumen de resultados de mediciones en sala de tesistas L-52F. Unidades (Lux). 24
Tabla 16. Resumen de resultados de mediciones en sala principal. Unidades (Lux). 25
Tabla 17. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio y pulido de piezas. Unidades (Lux). 25
Tabla 18. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux). 25
Tabla 19. Resumen de resultados de mediciones en la sala principal. Unidades (Lux). 25
Tabla 20. Resumen de resultados de mediciones en la sala de estudio. Unidades (Lux). 25
Tabla 21. Resumen de resultados de mediciones en la sala de oficinas. Unidades (Lux). 26
Tabla 22. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux). 26
Tabla 23. Resumen de resultados de mediciones en la sala de tesistas. Unidades (Lux). 26
Tabla 24. Niveles requeridos de nivel de iluminación o iluminancia según la Norma Técnica EM.010. 27
Tabla 25. Dimensiones de los ambientes del laboratorio de Electrotecnia. 32
Tabla 26. Medidas de los ambientes del Centro de Idiomas. 33
Tabla 27. Dimensiones de ambientes del laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica. 33
Tabla 28. Medidas de los ambientes del taller de Mecánica de Suelos. 34

Tabla 29. Medidas de los ambientes de Dirección IME. 34
Tabla 30. Medidas de los ambientes del laboratorio de Ensayo y Materiales. 34
Tabla 31. Medidas de los ambientes del laboratorio de Física. 35
Tabla 32. Medidas de los ambientes del auditorio IME. 35
Tabla 33. Medidas de los ambientes del laboratorio de SAC. 35
Tabla 34. Medidas de los ambientes del laboratorio de Energía. 36
Tabla 35. Medidas de los ambientes del laboratorio de Electrónica. 36
Tabla 36. Medidas de los ambientes de Soluciones de Software. 37
Tabla 37. Medidas de los ambientes del Centro de Diseño. 37
Tabla 38. Medidas de los ambientes del pasillo del segundo piso. 37
Tabla 39. Medidas de los ambientes del laboratorio de Metalotecnia. 38
Tabla 40. Demanda energética de iluminación en el primer piso del edificio IME. 47
Tabla 41. Demanda energética de iluminación en el segundo piso del edificio IME. 48
Tabla 42. Demanda energética de tomacorrientes en el primer piso del edificio IME. 49
Tabla 43. Demanda energética de tomacorrientes en el segundo piso del edificio IME. 49
Tabla 44. Máxima demanda y energía consumida diaria del Subconjunto IV. 56
Tabla 45. Máxima demanda y energía consumida diaria del Subconjunto V. 56
Tabla 46. Características eléctricas de regulador solar Steca Power Tarom. 64
Tabla 47. Datos de partida de oferta energética. 77
Tabla 48. Tensión nominal del sistema en función de la potencia. 80
Tabla 49. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto I. 81
Tabla 50. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto I. 81
Tabla 51. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto I. 82
Tabla 52. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto I. 82
Tabla 53. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto I. 83
Tabla 54. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto I. 83
Tabla 55. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto I. 84
Tabla 56. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto II. 86
Tabla 57. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto II. 86
Tabla 58. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto II. 87
Tabla 59. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto II. 87
Tabla 60. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto II. 88
Tabla 61. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto II. 88
Tabla 62. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto II. 89
Tabla 63. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto III. 91
Tabla 64. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto III. 91
Tabla 65. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto III. 92
Tabla 66. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto III. 92
Tabla 67. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto III. 93
Tabla 68. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto III. 93
Tabla 69. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto III. 94
Tabla 70. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto IV. 96
Tabla 71. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto IV. 96
Tabla 72. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto IV. 97

Tabla 73. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto IV..... 97
Tabla 74. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto IV. 98
Tabla 75. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto IV. 98
Tabla 76. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto IV. 99
Tabla 77. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto V. 101
Tabla 78. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto V..... 101
Tabla 79. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto V. 102
Tabla 80. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto V. 102
Tabla 81. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto V..... 103
Tabla 82. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto V. 103
Tabla 83. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto V. 104
Tabla 84. Composición del kit de la estructura de soporte para dos paneles fotovoltaicos en serie. 106
Tabla 85. Número de módulos solares y kits de estructuras de soporte de la instalación fotovoltaica. 107
Tabla 86. Costos de los componentes del subconjunto I de la instalación fotovoltaica..... 110
Tabla 87. Costos de los componentes del subconjunto II de la instalación fotovoltaica. 111
Tabla 88. Costos de los componentes del subconjunto III de la instalación fotovoltaica. 112
Tabla 89. Costos de los componentes del subconjunto IV de la instalación fotovoltaica. 113
Tabla 90. Costos de los componentes del subconjunto V de la instalación fotovoltaica. 114
Tabla 91. Flujo de caja total y BNA de la inversión para un periodo de tiempo de 25 años. 118

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1. Espectro electromagnético y luz visible. 4
Figura 2. Flujo luminoso de una fuente de luz. 5
Figura 3. Intensidad luminosa. 5
Figura 4. Iluminancia de una luminaria. 6
Figura 5. Luminancia. 6
Figura 6. Lámparas incandescentes. 7
Figura 7. Esquema de lámpara de descarga. 8
Figura 8. Esquema de una lámpara de inducción magnética. 9
Figura 9. Esquema del principio de funcionamiento de un diodo emisor de luz. 10
Figura 10. Componentes de un sistema de iluminación LED. 10
Figura 11. Ciclo de vida del sol. 11
Figura 12. Órbita de la tierra alrededor del sol. 12
Figura 13. Componentes de la radiación solar sobre una superficie. 13
Figura 14. Composición de un módulo fotovoltaico. 14
Figura 15. Sistemas fotovoltaicos con acumulación. a) Con regulador. b) Con inversor para cargas AC. c) AC-DC. d) Híbridos. 16
Figura 16. Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red. 16
Figura 17. Sistema fotovoltaico de bombeo de agua y sus componentes. 17
Figura 18. Luxómetro empleado para la medición de iluminación de ambientes del edificio. 20
Figura 19. Especificaciones técnicas del luxómetro. 20
Figura 20. Disposición en tres puntos del sensor fotoeléctrico. 21
Figura 21. Productos de la marca Philips que utilizan tecnología LED. 28
Figura 22. Luminaria Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC junto a un esquema de sus dimensiones en mm. 29
Figura 23. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 junto a un esquema con sus dimensiones en mm. 30
Figura 24. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED53S/840 IA1 TW1 L1500 junto a un esquema con sus dimensiones en mm. 31
Figura 25. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 junto a un esquema con sus dimensiones en mm. 31
Figura 26. Esquema de alturas en un ambiente. 38
Figura 27. Tabla de factor de utilización de la luminaria LED Coreline Panel. 40
Figura 28. Tabla de factor de utilización de la luminaria LED Coreline Regleta. 40
Figura 29. Coeficientes de reflexión en las tablas de factor de utilización. 41

Figura 30. Valores medios mensuales de irradiación global diaria sobre una superficie horizontal. 50
Figura 31. Módulo fotovoltaico policristalino Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72, de 72 células y sus dimensiones (medidas en mm). 58
Figura 32. Vasos estacionarios BAE tipo gel de 2V y distintas capacidades. 60
Figura 33. Regulador de tipo PWM Steca Power Tarom y sus dimensiones (medidas en mm). 64
Figura 34. Inversor Victron Phoenix 48/5000 66
Figura 35. Elementos de protección de las ramas en paralelo del generador fotovoltaico. 71
Figura 36. Elemento de protección del generador fotovoltaico. 72
Figura 37. Elemento de protección de las baterías de acumuladores. 73
Figura 38. Elementos de protección del inversor solar y del circuito de utilización. 74
Figura 39. Estructura de soporte coplanaria. 74
Figura 40. Orientación de una superficie en el hemisferio sur. 78
Figura 41. Esquema unifilar del subconjunto I. 85
Figura 42. Esquema unifilar del subconjunto II. 90
Figura 43. Esquema unifilar del subconjunto III. 95
Figura 44. Esquema unifilar del subconjunto IV. 100
Figura 45. Esquema unifilar del subconjunto V. 105
Figura 46. Límites de la superficie techada e inclinada en vista de planta del edificio IME. 108

Introducción

La matriz energética del Perú al concentrarse en fuentes hídricas convencionales, es baja en emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Por otra parte, el sector energético en el mundo está experimentando una transición hacia un suministro eléctrico que sea competente, seguro y fiable. Con el fin de afrontar tales cambios generados por la globalización, es que en el Perú se busca potenciar las fuentes de recursos energéticos renovables (RER), como la biomasa y biogás, solar fotovoltaica, eólicas y mini hidráulicas. La generación eléctrica basada en estas fuentes ocasiona un impacto ambiental positivo al mitigar los gases de efecto invernadero (GEI) de la atmósfera.

El principal recurso energético renovable del país es el hidroeléctrico, seguido del solar, con una potencia técnica aprovechable de 69 445 MW y 25 000 MW, respectivamente (COES et al., 2019)[1]. Este gran potencial solar se debe a que el Perú está ubicado muy próximo a la línea ecuatorial, lo cual permite contar con más horas de sol la mayor parte del año. Sin embargo, la participación de la energía solar en la matriz energética peruana en el año 2019 fue de aproximadamente 1.5%, siendo un recurso energético muy poco aprovechado (COES, 2019)[2].

El presente trabajo tiene como objetivo final, el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para suministrar energía al Edificio IME de la Universidad de Piura. En donde se pretende demostrar que es posible abastecer buena parte de la demanda energética de un edificio aprovechando la energía solar fotovoltaica, y a la vez, dar a conocer la viabilidad de un proyecto de esta magnitud.

Adicionalmente, se tiene como objetivo proponer una alternativa de mejora para la iluminación fluorescente por una iluminación de tipo LED más ecológica, que posee una alta eficiencia energética y vida útil.

El contenido del trabajo de investigación se divide en cinco capítulos. El primero, orientado al establecimiento de un marco teórico que consta de dos partes; la primera, se centra en los conceptos de luminotecnia y clasificación de las lámparas de alumbrado; en la segunda, trata los conceptos de energía solar y los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos existentes. En el capítulo 2 se realiza un estudio enfocado en el estado actual del nivel de iluminación de los ambientes del Edifico IME, así como también, se plantea una propuesta de iluminación de tipo LED, detallando la cantidad de estas nuevas luminarias y sus respectivas potencias.

[1] Bibliografía [11]. Página 106. Cuadro 6-1 (Potencial de las centrales RER).
[2] Bibliografía [11]. Página 102. Gráfico 6-6 (Producción de energía eléctrica SEIN según tipo de generación)

Haciendo uso del dato de las potencias de las luminarias LED ya diseñadas, y las potencias de los aparatos existentes en el Edificio, se realiza en el capítulo 3 un análisis de la demanda energética, de igual modo, de la oferta energética. Todo ello sienta las bases para el diseño de la instalación fotovoltaica autónoma, desarrollado en el mismo capítulo. En el capítulo 4, se presentan los resultados teóricos obtenidos del diseño de la instalación, además de algunas consideraciones importantes para comprender más a fondo el diseño de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Finalmente, el capítulo 5 hace referencia a un estudio económico financiero que da a conocer la viabilidad de la materialización de un proyecto de esta magnitud, y de ser factible una inversión, calcular el tiempo de recuperación de dicha la misma; se presenta, también, las conclusiones de este trabajo.

Capítulo 1
Marco teórico

En este capítulo se desarrolla la teoría que fundamenta los principales elementos constituyentes del presente trabajo de investigación. Por un lado, la luminotecnia con mención a la iluminación tipo LED y, por otro, lo relacionado a sistemas solares fotovoltaicos.

1.1. Sistema de iluminación

1.1.1. La luz

La luz es una forma de energía radiante electromagnética, que tiene la capacidad de estimular la retina del ojo humano y, producir así, la sensación visual.

Está constituida por partículas electromagnéticas denominadas “fotones”, estas partículas elementales carentes de masa, se propagan normalmente en línea recta, con un característico movimiento ondulatorio, y en todas las direcciones del espacio a una velocidad constante (299 792, 458 km/s), abarcando distintas longitudes de onda y frecuencias. Sin embargo, la velocidad y longitud de onda se ven alteradas cuando cambia el medio por el cual se propaga, es el caso del aire y cuerpos transparentes como el agua y el vidrio.

La luz blanca del sol se descompone en una banda de colores llamada espectro, cada color tiene una determinada longitud de onda: el ojo humano solo puede distinguir las longitudes de

onda que corresponde a la luz visible, que se encuentran en el rango de 400 – 700 nm, una pequeña parte del amplio rango del espectro electromagnético. Ver Figura 1.

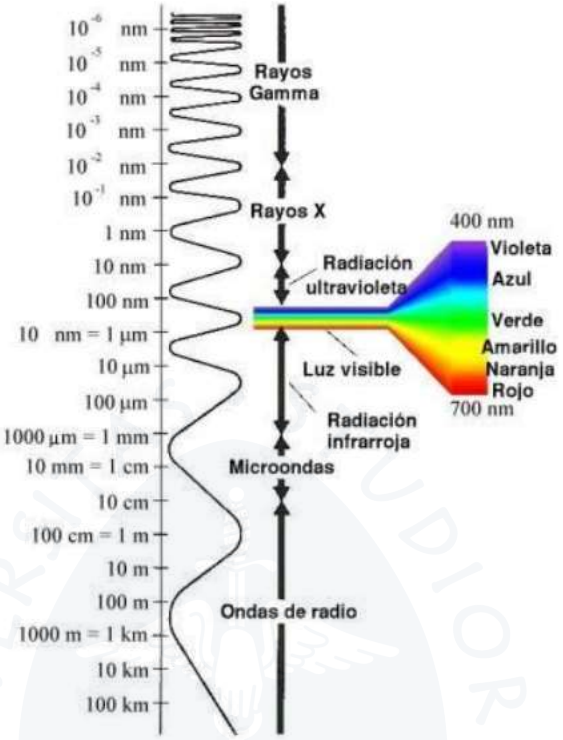


Figura 1. Espectro electromagnético y luz visible.
Fuente: Óptica. (Montalvo, C., 2010).

Cuando la luz blanca incide sobre un objeto, este absorbe parte del espectro de luz visible y refleja el resto apareciendo de un determinado color. Una superficie amarilla, por ejemplo, absorbe todos los colores del espectro, menos el componente amarillo que es el que refleja.

1.1.2. Magnitudes luminotécnicas

Estas magnitudes luminotécnicas proporcionan información sobre las fuentes emisoras de luz, en este caso las luminarias, para una adecuada selección dependiendo de la aplicación.

1.1.2.1. Flujo luminoso (ϕ)

Es la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz por unidad de tiempo, en todas las direcciones. Ver Figura 2.

La distribución del flujo luminoso depende del dispositivo empleado en la luminaria.

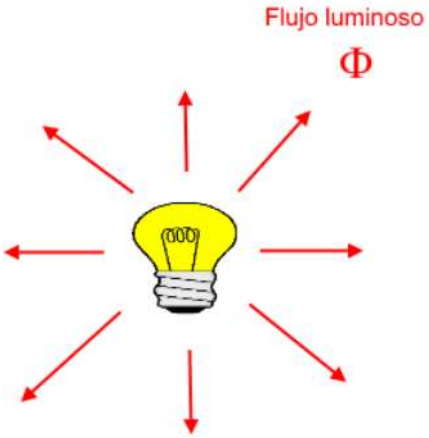


Figura 2. Flujo luminoso de una fuente de luz.
Fuente: Magnitudes físicas fundamentales. (ComparaLux, 2016).

1.1.2.2. Intensidad luminosa (I)

Es el flujo luminoso emitido o irradiado por una fuente luminosa en una sola dirección delimitada para un ángulo sólido de valor un estereorradián.

- El ángulo sólido de un estereorradián es el volumen de un cono, cuyo vértice es el centro de una esfera de 1 m de radio, y la base del cono está proyectada sobre la superficie de dicha esfera, donde la proyección tiene un área de 1m². En la Figura 3, se muestra el flujo luminoso, representado como un ángulo sólido, emitido por una fuente luminosa.

La unidad de medida de la intensidad luminosa es la candela (cd).

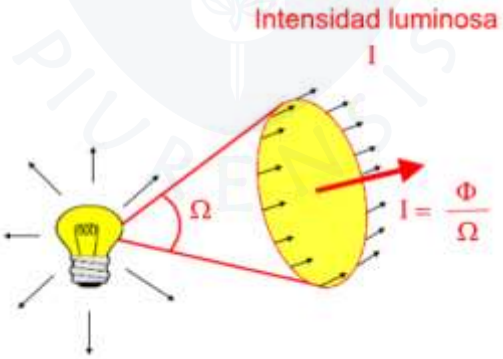


Figura 3. Intensidad luminosa.
Fuente: Magnitudes físicas fundamentales. (ComparaLux, 2016).

1.1.2.3. Iluminancia

La iluminancia se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y la extensión de dicha superficie. Ver Figura 4.

Su unidad de medida es el lux [lx], y este es el parámetro luminotécnico cuantificado por un medidor de iluminancia o luxómetro.

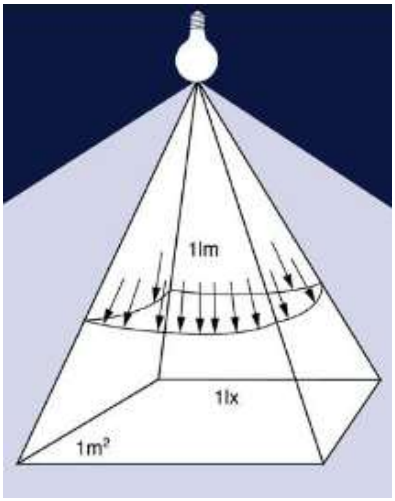


Figura 4. Iluminancia de una luminaria.
Fuente: Conceptos básicos de luminotecnia. (SanJuán, E., 2014).

1.1.2.4. Luminancia

La luminancia se define como la relación entre la intensidad luminosa, emitida por una fuente luminosa en una determinada dirección, y la superficie aparente vista desde la perspectiva del observador. La percepción de la luz es, en realidad, la percepción de diferencias de luminancias.

En la Figura 5, se muestra el plano de la superficie iluminada y el de la aparente.

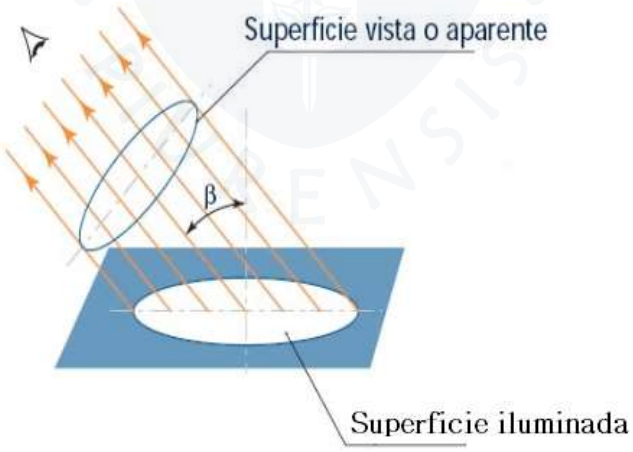


Figura 5. Luminancia.
Fuente: Luminotecnia. Magnitudes fotométricas básicas. (Blanca et al).

1.1.3. Lámparas

Es el dispositivo que emite energía luminosa, siempre y cuando las ondas electromagnéticas que la conforman sean detectadas por el ojo humano; es decir, que formen

parte del espectro de luz visible. Fundamentalmente existen dos formas para crear energía luminosa.

- Incandescencia

Es el fenómeno de emisión de luz debido a la energía calorífica. Un cuerpo, dependiendo de su naturaleza, emite radiación luminosa al alcanzar cierta temperatura. Por ejemplo, cuando los metales son calentados hasta estar al "rojo vivo", incluso el sol y las estrellas desprenden energía luminosa por incandescencia.

- Luminiscencia

Es todo proceso de emisión de luz cuyo origen no radica exclusivamente en altas temperaturas, sino que, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que se emite radiación lumínica en condiciones de temperaturas bajas o ambiente. Es el caso de las lámparas de vapor de mercurio, los diodos emisores de luz (LED), las lámparas de vapor de sodio a alta presión, entre otros.

Las distintas lámparas que existen actualmente en el mercado emiten energía luminosa por incandescencia y/o luminiscencia.

1.1.3.1. Lámparas incandescentes

Son dispositivos que emiten luz por el principio de la incandescencia. Estas bombillas poseen en su interior un filamento de wolframio de muy baja resistencia eléctrica, que alcanza altas temperaturas hasta llegar a la incandescencia debido a la corriente eléctrica que circula en su interior. En la Figura 6, se muestran algunos modelos de lámparas incandescentes con distinta geometría.

Figura 6. Lámparas incandescentes.
Fuente: Lámparas incandescentes. (Grudilec, s.f.)

1.1.3.2. Lámparas de descarga

Son lámparas eléctricas que emiten luz como consecuencia de la corriente eléctrica establecida entre dos electrodos con diferente potencial, y que fluye a través de un gas o vapor ionizado contenido en un tubo. Adicionalmente, estas lámparas cuentan con un balasto, que es un dispositivo que regula el flujo de corriente para evitar posibles sobrecargas que conllevarían a la destrucción del tubo. En la Figura 7, se muestra un esquema simplificado de una lámpara de descarga.

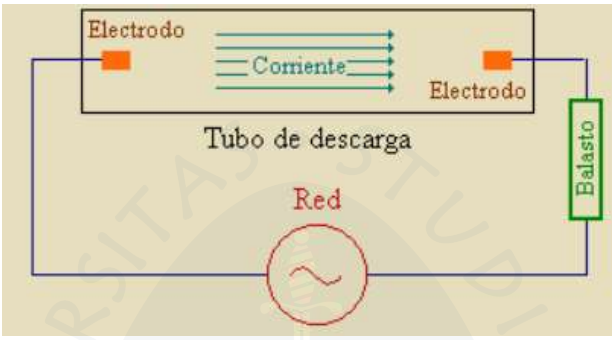


Figura 7. Esquema de lámpara de descarga.
Fuente: Lámparas de descarga. Conceptos (García, s.f.)

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio), o a la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades, como consecuencia, varían mucho y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión.

1.1.3.3. Lámparas de inducción magnética

Estas lámparas, al igual que las lámparas fluorescentes, contienen vapor de mercurio a baja presión, además de un recubrimiento de fósforo en las paredes internas del tubo. La diferencia radica en que el flujo de corriente eléctrica ya no se origina por el distinto potencial entre dos electrodos sino por dos bobinas de inducción magnética que envuelven los extremos opuestos del tubo, el cual tiene forma poligonal cerrada. Las bobinas de inducción generan campos magnéticos que atraviesan las paredes del tubo de vidrio e inducen una corriente eléctrica en su interior, excitando los átomos de mercurio y emitiendo luz ultravioleta que es inmediatamente transformada en luz visible debido al recubrimiento de fósforo. En la Figura 8, se muestra un esquema de la lámpara de inducción magnética.

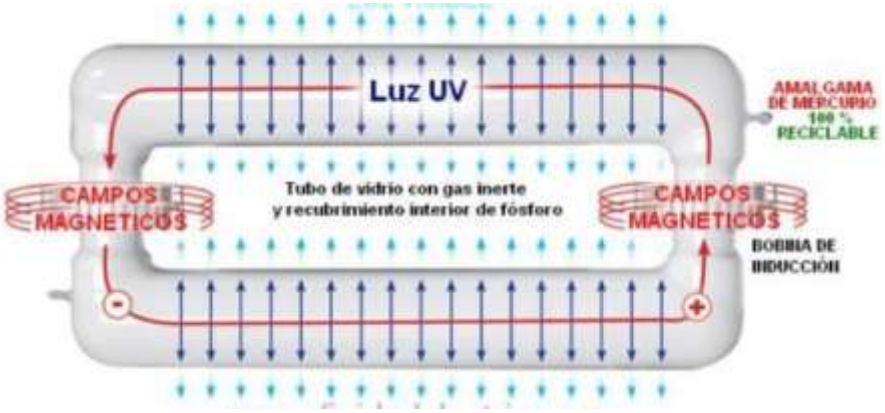


Figura 8. Esquema de una lámpara de inducción magnética.
Fuente: Afinidad eléctrica. (García, 2007).

1.1.3.4. Luminarias LED

El diodo emisor de luz o comúnmente llamado LED, por sus siglas en inglés *Light Emitting Diode*, es una fuente de luz constituida por un semiconductor. Este material, que generalmente es el silicio —poseedor de 4 electrones de valencia—, está dispuesto en dos capas que están dopadas distintamente; uno del tipo P, en la que se le sustituyen algunos átomos del semiconductor tetravalente por átomos con menos electrones de valencia (normalmente trivalente), y la otra del tipo N, a la que se le añade átomos de un elemento, normalmente pentavalente; es decir, con 5 electrones en su capa de valencia. De esta manera, a la capa tipo P se le aumenta el número de portadores de carga libres (positivos) y a la capa tipo N se le aumenta el número de portadores de carga libres (negativos).

Al nexo entre ambas capas de semiconductores dopadas se le denomina unión PN, el cual no permite el paso de los portadores de carga negativos hacia los positivos. Al polarizar directamente el diodo; es decir, al aplicarle una diferencia de potencial, los portadores de carga negativos de la capa tipo N se introducen en los agujeros o portadores de carga positivos de la capa tipo P. Al suceder esto, el electrón pasa de un nivel alto de energía a uno más bajo y esta diferencia de energía se manifiesta en forma de luz.

En la Figura 9, se muestra un esquema del principio de funcionamiento del diodo emisor de luz.

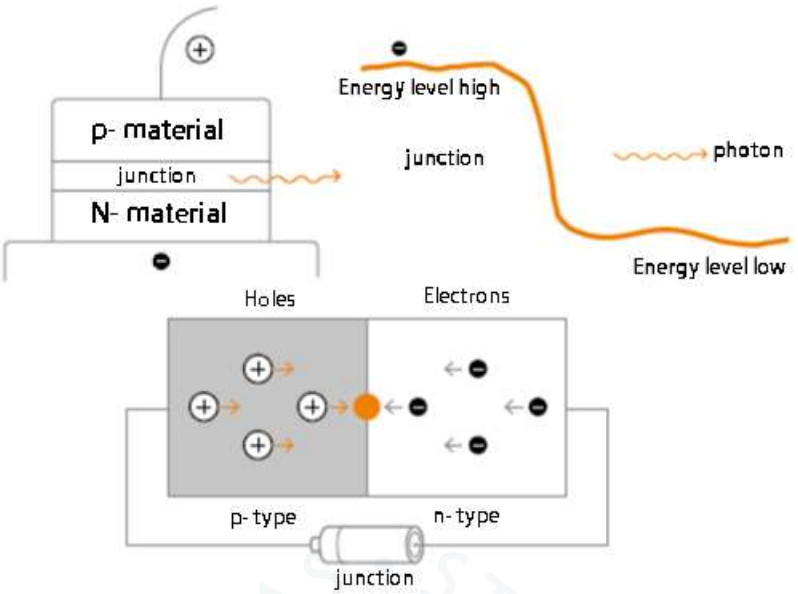


Figura 9. Esquema del principio de funcionamiento de un diodo emisor de luz.
Fuente: ISR – Universidad de Coimbra. (Premium Light PRO, 2017).

En lo que a iluminación LED se refiere, se requieren normalmente de un controlador, que convierte la corriente alterna (CA) a corriente continua (CC) y a su vez disminuye el voltaje a valores apropiadas para su funcionamiento. Sumado a esto, se requiere de la fuente de luz —que vendrían a ser la lámpara LED—, y la luminaria que es la estructura que sostiene a la lámpara LED y el controlador.

En la Figura 10, se muestra los componentes de un sistema de iluminación LED total en el cual la fuente de luz pueden ser lámparas LED de distinta geometría.

Figura 10. Componentes de un sistema de iluminación LED.
Fuente: ISR – Universidad de Coimbra (Premium Light Pro, 2017).

1.2. Sistemas fotovoltaicos

1.2.1. El sol

El sol, la estrella única y central del sistema solar, le debe su origen al colapso gravitacional de materia dentro de una gran nube interestelar de gas frío, ocurrido hace aproximadamente 4.6 millones de años. Este contiene prácticamente toda la masa del sistema solar (99.8 %), y es cerca de 333 000 veces más masivo que la Tierra.[3]

El sol está compuesto principalmente de dos elementos químicos: hidrógeno y helio, que representa un 74.9 % y un 23.8% de su masa, respectivamente. Estas cantidades han ido cambiando a lo largo de su vida y continúan haciéndolo mediante una cadena de reacciones nucleares conocida como cadena p-p (protón-protón), en la que cada cuatro átomos de hidrógeno dan lugar a uno de helio. En este proceso de conversión de hidrógeno a helio, una fracción de masa (0.7%) se convierte en energía de acuerdo con la ecuación de Einstein, $E = mc^2$. Pasado a gran escala, en el interior del sol, unos 580 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en helio cada segundo, consumiéndose 5 millones de toneladas de masa solar para producir 90 000 millones de megatones de pura energía. Para contrastar, el arma más poderosa que existe, el torpedo nuclear ruso Poseidón, tiene un potencial de 200 megatones.

Así, el sol pierde masa conforme produce energía nuclear. Sin embargo, se estima que aún tiene combustible para 5000 millones de años más. Pasado ese tiempo, se convertirá en una gigante roja, que consumirá todos los planetas del sistema solar, para finalmente convertirse en una estrella enana blanca. En la Figura 11, se muestra el ciclo de vida del sol.

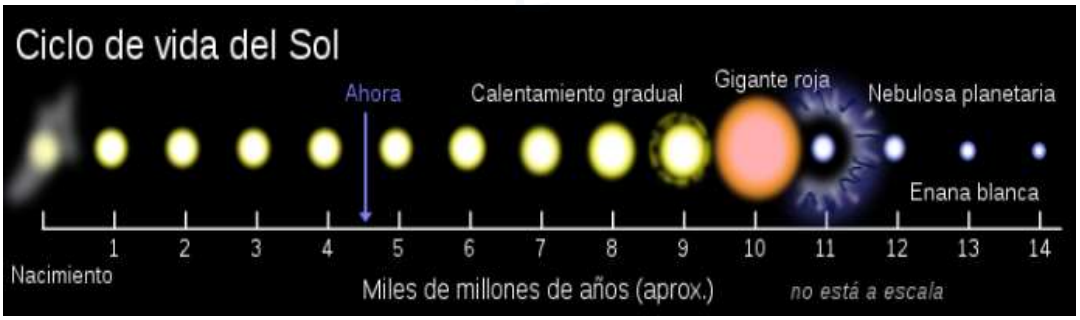


Figura 11. Ciclo de vida del sol.
Fuente: Los exoplanetas y las estrellas enanas rojas (Scientific American y Wikipedia, 2018).

[3] Bibliografía [5]

1.2.2. Órbita tierra-sol

El planeta Tierra describe anualmente alrededor del sol una trayectoria elíptica llamada órbita. Se estima que esta tiene un perímetro de 940 millones de km, en la cual, la distancia promedio de la Tierra al sol es de 149 597 870 km, esta es la denominada unidad astronómica (ua). En la Figura 12, se observa la órbita elíptica.

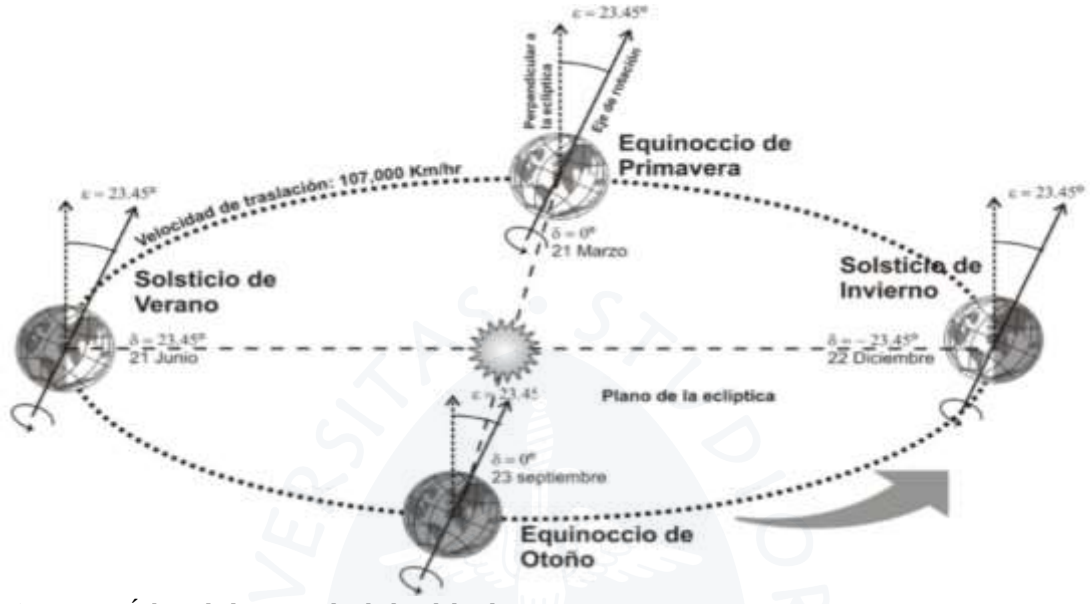


Figura 12. Órbita de la tierra alrededor del sol.
Fuente: Prontuario Solar de México (Tejeda, 2015).

El eje polar de la tierra, sobre el cual realiza la rotación, no es perpendicular al plano de su órbita alrededor al sol, sino que forma un ángulo de 23.45° con la perpendicular a dicho plano. Es debido a esa inclinación del eje polar que ocurren los cambios estacionales, la diferente duración de los días y noches en verano y en invierno, así como también, la distinta elevación del sol al mediodía entre estaciones.

1.2.3. Tipos de radiación solar

La radiación solar sufre ciertas transformaciones desde el momento en que atraviesa la atmósfera hasta que incide sobre la superficie terrestre. Para facilitar su estudio, la radiación solar sobre un receptor se clasifica en tres componentes: directa, difusa y reflejada o de albedo.

- Radiación directa: se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. Es la radiación extraterrestre.
- Radiación difusa: se recibe del sol, después de ser desviada por la dispersión atmosférica. Los rayos solares chocan con estas moléculas de la atmósfera y otras

partículas en el aire, dispersándose en múltiples direcciones y hacia el receptor. En un día nublado, por ejemplo, toda la radiación recibida es difusa.

- Radiación reflejada o de albedo: es la que se refleja de los objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago.

Estos tres componentes de la radiación solar total sobre una superficie, se aprecia en la Figura 13.

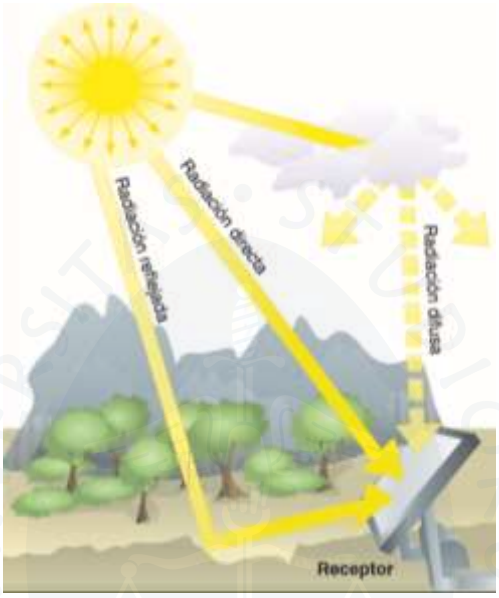


Figura 13. Componentes de la radiación solar sobre una superficie.
Fuente: Bibliografía [1]. Página 15.

1.2.4. Irradiancia (G)

Para expresar la potencia solar, se utiliza el término irradiancia. La irradiancia es la potencia por unidad de área, W/m², recibida del sol en la forma de energía electromagnética; en la superficie de la Tierra depende de la inclinación de la superficie de medición, la altura del sol sobre el horizonte y de condiciones atmosféricas.

El estudio y la medición de la irradiancia solar tiene muchas importantes aplicaciones, entre ellas la estimación de la generación de energía de plantas fotovoltaicas.

1.2.5. Irradiación (I)

Es la integración o suma de las irradiancias en un determinado periodo de tiempo. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo (J/m² por hora, día, semana, mes, año, etc., según sea el caso).

De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión: $I = \int_{t1}^{t2} G(t)dt$, en donde la irradiación se calcula para el periodo de tiempo comprendido entre t2 y t1.

En la práctica, dada la relación con la generación de energía eléctrica, se utiliza como unidad el W.h/m² y sus múltiplos más habituales kW.h/m² y MW.h/m².

1.2.6. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que resulta de la conversión directa de la energía solar a energía eléctrica por medio de las células solares que son dispositivos que aprovechan el efecto fotovoltaico; es decir, la capacidad de algunos materiales semiconductores (como el silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellos una radiación luminosa. Una célula solar típica está constituida por una hoja de silicio de gran pureza tratada químicamente con boro y fósforo, y con electrodos metálicos en las dos caras; sin embargo, debido a que los niveles de potencia que se pueden conseguir con una única célula son muy bajos, se agrupan formando paneles, de modo que, al conectarlos en serie o paralelo, e inclinarlos y orientarlos correctamente, se pueda suplir la demanda requerida para una aplicación en concreto. La composición de un panel fotovoltaico se muestra en la Figura 14.

Aunque es uno de los tipos de energía renovable de más reciente aparición, el uso de la energía solar fotovoltaica se ha extendido desde las zonas rurales y aisladas hasta las áreas urbanas.

Figura 14. Composición de un módulo fotovoltaico.
Fuente: Componentes de un panel solar (Sebastián, s.f.)

1.2.7. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo solar o panel solar, que conforman el generador fotovoltaico. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran parte de la aplicación a la que está destinada. En líneas generales, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en tres grupos: autónomos (*off-grid*), conectados a la red (*grid connected*) y de bombeo.

1.2.7.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Un sistema fotovoltaico autónomo se utiliza principalmente para abastecer energía eléctrica a receptores carentes de conexión a la red de distribución eléctrica, por medio de un sistema de acumulación de energía son capaces de hacer frente a periodos de escasa radiación solar.

Existen cuatro configuraciones más comunes de este tipo de sistemas. Los sistemas fotovoltaicos con regulador, en los que se suelen incorporar únicamente cargas en corriente continua, por lo cual no es necesario de un inversor; estos sistemas están compuestos por un generador, un acumulador electroquímico y un regulador de carga (Figura 15 (a)). Cuando en el consumo existen cargas de corriente alterna, es necesario instalar un inversor conectado directamente a la batería (Figura 15 (b)). También, existe la posibilidad de que el consumo sea mixto; es decir, que está compuesto de cargas en corriente continua y alterna, tal que las cargas en continua van conectadas directamente al regulador, y las de alterna al inversor (Figura 15 (c)).

Como un caso especial destacan los sistemas híbridos. Siempre existe una muy pequeña probabilidad de fallo del suministro, por lo que para garantizar la continuidad del suministro (principalmente aplicaciones profesionales) o redes de consumo de gran tamaño que exigen un generador y acumulador excesivamente grandes.

Para estos casos el sistema fotovoltaico autónomo incluye un grupo electrógeno que suministra la energía que haga falta, permitiendo así reducir el tamaño del sistema. Ver Figura 15 (d).

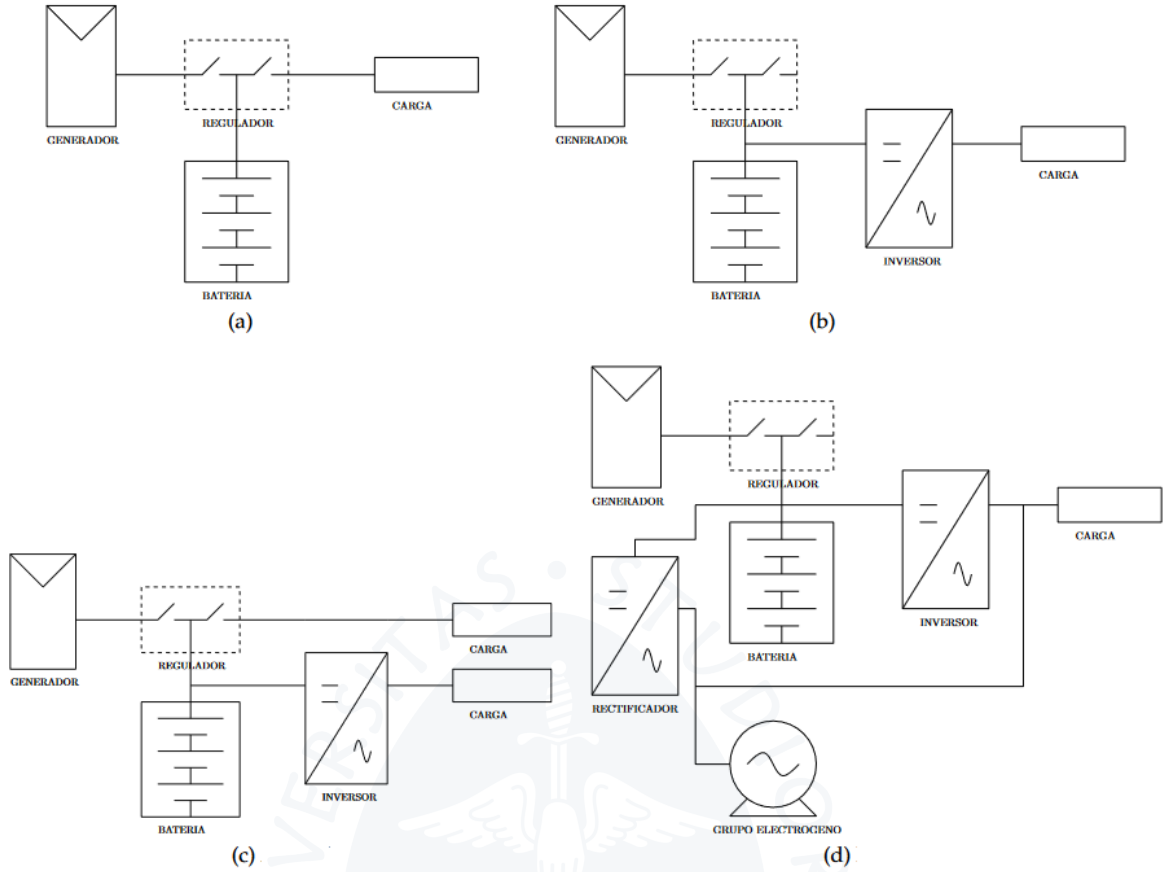


Figura 15. Sistemas fotovoltaicos con acumulación. a) Con regulador. b) Con inversor para cargas AC. c) AC-DC. d) Híbridos.
Fuente: Bibliografía [4]. Página 95.

1.2.7.2. Sistemas fotovoltaicos de conexión a red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red está constituido básicamente por un generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La finalidad de este tipo de sistemas es generar energía eléctrica que es inyectada a la red de distribución eléctrica, para finalmente ser comprada por la compañía distribuidora de electricidad. En la Figura 16 se muestra un esquema de este tipo de sistema.

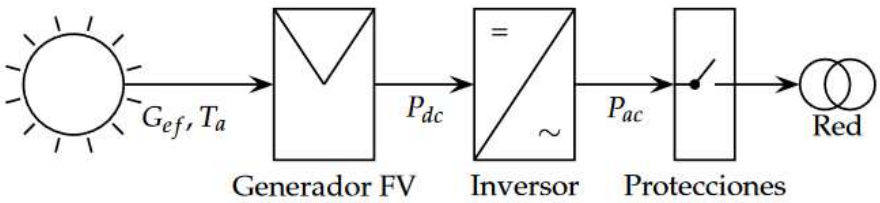


Figura 16. Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red.
Fuente: Bibliografía [4]. Página 65.

1.2.7.3. Sistemas fotovoltaicos de bombeo

Un sistema fotovoltaico de bombeo hace uso de un generador fotovoltaico con el fin de alimentar una motobomba que extrae agua de un pozo y que es almacenada en un depósito para después ser transportada a otro lugar.

En la Figura 17 se muestra los componentes de un sistema fotovoltaico de bombeo: el generador fotovoltaico, la motobomba, el equipo de acoplamiento entre generador y motobomba, el circuito hidráulico y el depósito de agua.

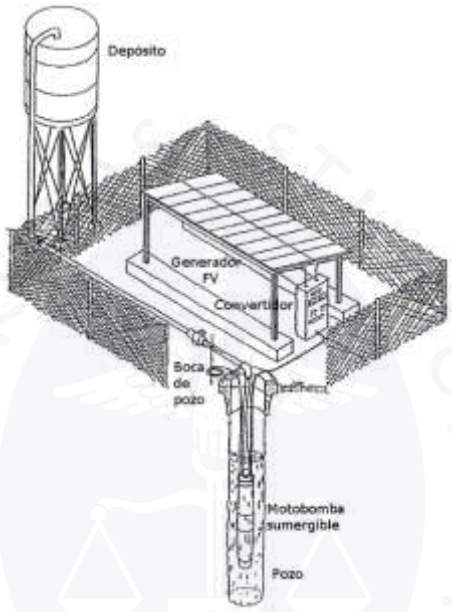


Figura 17. Sistema fotovoltaico de bombeo de agua y sus componentes.
Fuente: Bibliografía [4]. Página 114.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Capítulo 2
Iluminación del edificio IME

En este capítulo se realiza el estudio del estado actual del nivel de iluminación de los ambientes del edificio IME de la Universidad de Piura, así como también, se plantea una propuesta de iluminación del tipo LED. Antes de detallar el procedimiento realizado, se indican las siguientes consideraciones:

- Se ha puesto énfasis en la iluminancia o nivel de iluminación de cada uno de sus ambientes, tanto del primer como del segundo piso, para después compararlos con los valores recomendados en la Norma Técnica EM.010. El estado actual de las luminarias que posee el edificio no fue evaluado por no ser objetivo de este trabajo.

- El resultado final de la propuesta de iluminación abarca, únicamente, la cantidad de las luminarias LED y su correspondiente potencia para alcanzar los niveles de iluminación recomendados. En consecuencia, por el alcance de esta propuesta, no se ha realizado la simulación de iluminación en un software, por lo que no se determinó la ubicación y distribución de luminarias.

- Las potencias de las luminarias LED calculadas servirán para el cálculo de la demanda de potencia y energía consumida del capítulo 3, en el que se trata el diseño del sistema fotovoltaico.

2.1. Medición del nivel de iluminación en los ambientes del edificio IME de la UDEP.

Para conocer la iluminancia o nivel de iluminación de los ambientes del edificio, se utilizó el instrumento llamado luxómetro, que se muestra en la Figura 18, y sus especificaciones

indicadas en la Figura 19. Este es un instrumento que permite la medida de la luz realmente recibida en un punto determinado por medio de un sensor fotoeléctrico.

Figura 18. Luxómetro empleado para la medición de iluminación de ambientes del edificio.
Fuente: (AEMC, 2019).

MODELO	CA811	CA813*
MEDICIONES		
Escales pc = pié-candela = lm/pie = 10.76 lux	20pc, 200pc, 2000pc, 20kpc 20lux, 200lux, 2000lux, 20klux,	20pc, 200pc, 2000pc, 20kpc 20lux, 200lux, 2000lux, 20klux, 200klux
Resolución	0,01pc ó 0,01lux	0,01pc ó 0,01lux
Sensor	Fotodiodo de silicio	Fotodiodo de silicio
Respuesta espectral	Curva fotóptica CIE	Curva fotóptica CIE
Precisión para una fuente de luz de 2856K	±3% de Lectura ± 10cts	±3% de Lectura ± 10cts
Frecuencia muestreo de display	2,5 veces por segundo, nominal	
GENERALES		
Pantalla	Pantalla LCD de 3½ digitos	
Temperatura de Operación	32° a 122°F (0° a 50°C), <80% RH	
Temperatura de Almacanaje	-4° a 140°F (-20° a 60°C), 0 a 80% RH sin batería	
Polaridad	Automática	
Alimentación	9V Alkaline battery	
Indicación de Batería Baja	[- +] aparece cuando la tensión de la batería está baja	
Dimensiones	6,81 x 2,38 x 1,5" (173 x 60,5 x 38mm)	
Peso	Approx. 7,55 oz (214g) incluye batería	Approx. 7,9 oz (224g) incluye batería

Figura 19. Especificaciones técnicas del luxómetro.
Fuente: (AEMC, 2019).

El procedimiento que se llevó a cabo para la medición de iluminancia en los ambientes del edificio consistió en colocar el luxómetro en las superficies de trabajo situadas entre 0.80 m, 0.90 m y 1 m de distancia del suelo (para efectos de cálculo, se uniformizó a 1 m). Para tener valores representativos del nivel de iluminación, se consideraron varias zonas de medición en cada uno de los ambientes del edificio IME, principalmente en aquellos de mayor área. Tal

como se aprecia desde la Tabla l hasta la Tabla 23, el valor promedio de cada medición se determinó a partir de la media aritmética de los valores correspondientes a tres puntos cercanos al luxómetro y ubicados a una distancia de 30 cm (Figura 20). Debido al gran número de mediciones realizadas en cada ambiente y con la finalidad de reducir la extensión del tamaño de las tablas, ya que son muchas, solo se han consignado algunas lecturas representativas en cada una de ellas; así, por ejemplo, en las Tablas 5 y 6, del total de mediciones solo se citan 8 mediciones representativas, las cuales fueron evaluadas en las posiciones representadas en el plano de referencia incluido en el Anexo A.

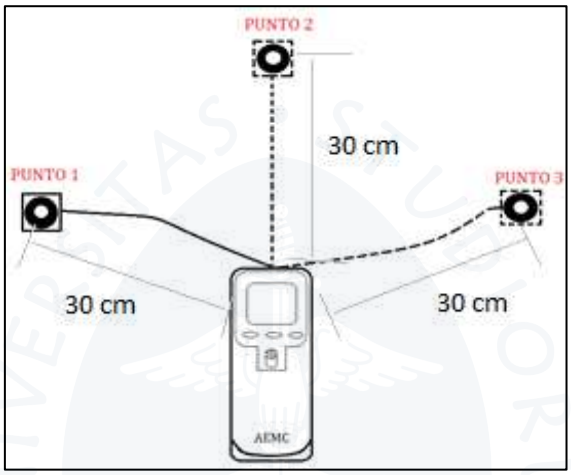


Figura 20. Disposición en tres puntos del sensor fotoeléctrico.
Fuente: Elaboración propia.

2.1.1. Medición de nivel de iluminación de ambientes del primer piso

- Laboratorio de ensayo de materiales

Tabla 1. Resumen de resultados de las mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	130.0	124.0	129.0	127.7
Lectura 2	156.0	138.0	143.0	145.7
Lectura 3	172.0	167.0	159.0	166.0
Lectura 4	139.0	147.0	127.0	137.7
Lectura 5	151.0	137.0	160.0	149.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Resumen de resultados de las mediciones en la zona de pruebas de probetas. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	329.0	317.0	350.0	332.0
Lectura 2	279.0	276.0	297.0	284.0
Lectura 3	317.0	310.0	325.0	317.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Resumen de resultados de las mediciones en la sala de técnicos. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	245.0	225.0	250.0	240.0
Lectura 2	247.0	257.0	256.0	253.3
Lectura 3	271.0	261.0	250.0	260.7
Lectura 4	280.0	279.0	283.0	280.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resumen de resultados de las mediciones en una oficina. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	226.0	221.0	244.0	230.3
Lectura 2	127.0	140.0	186.0	151.0

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de electrotecnia (L-41)

Tabla 5. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	199.0	218.0	223.0	213.3
Lectura 2	186.0	204.0	211.0	200.3
Lectura 3	122.0	130.0	136.0	129.3
Lectura 4	157.0	177.0	209.0	181.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resumen de resultados de mediciones en el área de modelos. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	347.0	370.0	353.0	356.7
Lectura 2	376.0	383.0	371.0	376.7
Lectura 3	361.0	365.0	379.0	368.3
Lectura 4	354.0	365.0	376.0	365.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	256.0	243.0	247.0	248.7

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de diseño y tecnología mecánica

Tabla 8. Resumen de resultados de mediciones en la sala de reuniones. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	241.0	239.0	256.0	245.3
Lectura 2	227.0	248.0	234.0	236.3
Lectura 3	218.0	192.0	216.0	208.7
Lectura 4	255.0	272.0	270.0	265.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Resumen de resultados de mediciones en sala de máquinas. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	111.0	119.0	115.0	115.0
Lectura 2	130.0	132.0	154.0	138.7
Lectura 3	171.0	155.0	147.0	157.7
Lectura 4	171.0	191.0	178.0	180.0
Lectura 5	180.0	162.0	165.0	169.0
Lectura 6	183.0	182.0	162.0	175.7
Lectura 7	146.0	125.0	148.0	139.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Resumen de resultados de mediciones en zona de recepción de proyectos. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	96.0	92.0	101.0	96.3
Lectura 2	68.0	62.0	66.0	65.3
Lectura 3	48.0	44.0	63.0	51.7
Lectura 4	87.0	85.0	85.0	85.7

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de física

Tabla 11. Resumen de resultados de mediciones en zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	186.0	192.0	198.0	192.0
Lectura 2	197.0	211.0	199.0	202.3
Lectura 3	224.0	244.0	241.0	236.3
Lectura 4	183.0	180.0	170.0	177.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux).

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura 1	340.0	302.0	329.0	323.7
Lectura 2	212.0	255.0	232.0	233.0

Fuente: Elaboración propia.

- Centro de idiomas

Tabla 13. Resumen de resultados de mediciones en la sala de oficinas. Unidades (Lux).

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura 1	181.0	194.0	187.0	187.3
Lectura 2	195.0	189.0	184.0	189.3
Lectura 3	204.0	211.0	207.0	207.3
Lectura 4	181.0	180.0	184.0	181.7
Lectura 5	111.0	118.0	113.0	114.0
Lectura 6	185.0	194.0	196.0	191.7
Lectura 7	215.0	207.0	211.0	211.0

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Medición de nivel de iluminación de ambientes del segundo piso

- Laboratorio de energía

Tabla 14. Resumen de resultados de mediciones en sala de reuniones. Unidades (Lux).

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura 1	172.0	172.0	177.0	173.7
Lectura 2	169.0	164.0	173.0	168.7
Lectura 3	170.0	161.0	162.0	164.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Resumen de resultados de mediciones en sala de tesistas L-52F. Unidades (Lux).

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura 1	97.0	81.0	95.0	91.0
Lectura 2	139.0	143.0	124.0	135.3
Lectura 3	192.0	220.0	212.0	208.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resumen de resultados de mediciones en sala principal. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	112.0	118.0	124.0	118.0
Lectura 2	95.0	101.0	98.0	98.0
Lectura 3	122.0	126.0	124.0	124.0

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de Metalotecnia

Tabla 17. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio y pulido de piezas. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	121.0	124.0	122.0	122.3
Lectura 2	129.0	137.0	127.0	131.0
Lectura 3	128.0	124.0	114.0	122.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resumen de resultados de mediciones en una oficina. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	83.0	92.0	98.0	91.0
Lectura 2	94.0	97.0	108.0	99.7

Fuente: Elaboración propia.

- Centro de diseño (L-12)

Tabla 19. Resumen de resultados de mediciones en la sala principal. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	283.0	288.0	286.0	285.7
Lectura 2	283.0	269.0	263.0	271.7
Lectura 3	253.0	235.0	221.0	236.3
Lectura 4	129.0	145.0	144.0	139.3

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de SAC

Tabla 20. Resumen de resultados de mediciones en la sala de estudio. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	194.0	207.0	195.0	198.7
Lectura 2	188.0	196.0	177.0	187.0
Lectura 3	155.0	141.0	139.0	145.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resumen de resultados de mediciones en la sala de oficinas. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	156.0	138.0	138.0	144.0
Lectura 2	160.0	159.0	157.0	158.7
Lectura 3	169.0	161.0	173.0	167.7
Lectura 4	130.0	127.0	135.0	130.7
Lectura 5	146.0	146.0	149.0	147.0

Fuente: Elaboración propia.

- Laboratorio de electrónica

Tabla 22. Resumen de resultados de mediciones en la zona de mesas de laboratorio. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	201.0	186.0	196.0	194.3
Lectura 2	182.0	225.0	222.0	209.7
Lectura 3	202.0	207.0	206.0	205.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Resumen de resultados de mediciones en la sala de tesistas. Unidades (Lux).

	Punto 1	**Punto 2**	**Punto 3**	**Promedio**
Lectura 1	236.0	247.0	241.0	241.3
Lectura 2	183.0	163.0	167.0	171.0
Lectura 3	193.0	182.0	190.0	188.3
Lectura 4	166.0	174.0	147.0	162.3

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Niveles de iluminación recomendados y resumen de resultados

Los resultados de la medición de niveles de iluminación son clasificados según el tipo de ambiente al que corresponden, para posteriormente ser comparados con los niveles de iluminación recomendados según la Norma Técnica EM.010 “Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones”.

En la Tabla 24, se muestran los niveles requeridos de iluminancia en los distintos tipos de interiores que posee el edificio.

Tabla 24. Niveles requeridos de nivel de iluminación o iluminancia según la Norma Técnica EM.010.

Tipo de interior, tarea o actividad	Nivel de iluminación mínimo requerido (lux)
Locales de prácticas y laboratorios	500
Salas de conferencias y reuniones	500
Oficinas (escritura, mecanografía y procesamiento de datos)	500
Archivo, copia y circulación	300
Trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles	300
Trabajo mecánico que exige discriminación en detalles finos	500

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Peruano (2019).

2.2.1. Resumen de resultados

- En cuanto a oficinas, los niveles más bajos de iluminación se dan en el laboratorio de Metalotecnia y algunas oficinas del centro de diseño, 91 lux y 38 lux respectivamente. Mientras que los niveles de iluminación más altos alcanzan los 300 lux. De acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica EM.010, ninguno de estos ambientes de tipo oficina cumple los 500 lux de nivel de iluminación.

- En cuanto a locales de práctica y laboratorios, los niveles de iluminación son en promedio de 200 lux y en algunos puntos un máximo de 300 lux. Mientras que los niveles de iluminación más bajos son de 120 lux, en el laboratorio de Metalotecnia. El nivel de iluminación medio requerido para este tipo de ambientes según la Norma Técnica EM.010, es de 500 lux; tampoco se llega a cumplir.

- En salas de conferencias y reuniones, los niveles de iluminación rodean los 200 lux. Lo exigido por la Norma Técnica EM.010, es de 500 lux, por ende, tampoco se cumple.

- En el laboratorio de diseño y tecnología mecánica, donde para trabajos mecánicos con discriminación en detalles finos se exige 500 lux y para trabajos mecánicos con escasa discriminación de detalles se exige 300 lux, el nivel de iluminación máximo en todo el laboratorio es de 180 lux. Por tanto, tampoco se cumple lo establecido en la Norma Técnica EM.010.

En conclusión, los ambientes del edificio IME no cumplen los niveles de iluminación establecidos por la Norma. Es por ello que una propuesta de iluminación, de tipo LED en este caso, es necesaria.

2.3. Propuesta de iluminación LED para los distintos ambientes del edificio

Si bien el diseño también se pudo haber hecho con lámparas fluorescentes, la principal ventaja que ofrecen las luminarias o lámparas LED es el ahorro energético, debido a un consumo relativamente bajo y, también, poseen un tiempo de vida promedio de 50 000 horas en condiciones reales de operación. Así, se necesitarían menos luminarias de este tipo para alcanzar los niveles de iluminación recomendados, respecto a si se usaran luminarias fluorescentes.

Se han elegido, luminarias LED de la marca PHILIPS, debido a su amplia variedad en cuanto a diseño para distintos tipos de ambientes, así como también, se encuentran disponibles en una gran gama de potencias y luminancias. Ver Figura 21.

Figura 21. Productos de la marca Philips que utilizan tecnología LED.
Fuente: Philips Lighting Holding, 2017.

Estas luminarias cuentan, además, con un controlador integrado que convierte la corriente alterna en continua y a su vez adaptan el voltaje de salida a las necesidades de los LED.

Para la propuesta de iluminación LED. se han seleccionado dos tipos de luminarias; de tipo panel, diseñada principalmente para oficinas, y de tipo regleta para los demás ambientes.

2.3.1. Luminarias LED tipo panel

- Luminaria Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC

A continuación, se señalan algunos de los datos más importantes de esta luminaria, y en la Figura 22 se presenta un esquema de la misma.

- Flujo luminoso inicial de 3600 lm.
- Eficacia luminosa inicial 100 lm/W.
- Índice inicial de reproducción de color ≥ 80.
- Índice inicial de temperatura de color: 4000 K.
- Potencia de entrada inicial: 36 W.
- Driver/unidad de potencia/transformador: PSU [Fuente de alimentación].
- Tensión de entrada: 220-240 V.
- Geometría: Ancho 0.60 m, longitud 0.60 m.
- Material de la carcasa: Aluminio.
- Peso neto (pieza): 4,100 kg.

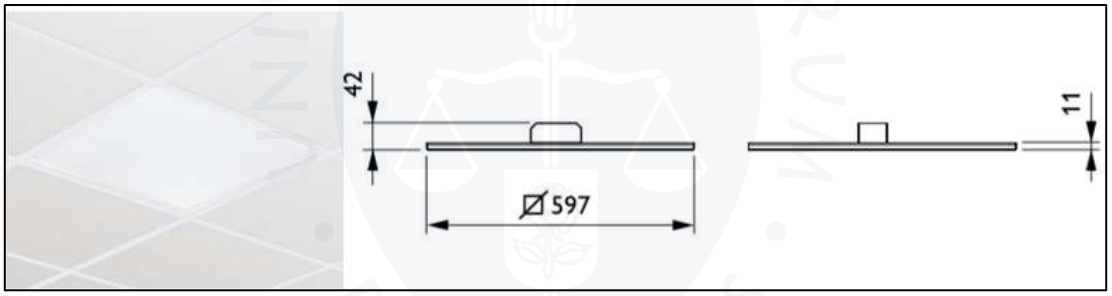


Figura 22. Luminaria Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC junto a un esquema de sus dimensiones en mm.
Fuente: (Hoja de datos de Philips, 2019).

2.3.2. Luminarias LED tipo regleta

- Luminaria Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200

A continuación, se señalan algunos de los datos más importantes de esta luminaria, y en la Figura 23 se presenta un esquema de la misma.

- Flujo luminoso inicial de 4100 lm.
- Eficacia luminosa inicial 108 lm/W.
- Índice inicial de reproducción de color > 80.
- Índice inicial de temperatura de color: 4000 K.

- Potencia de entrada inicial: 38 W.
- Driver/unidad de potencia/transformador: PSU [Fuente de alimentación].
- Tensión de entrada: 220-240 V.
- Material de la carcasa: Metal.
- Peso neto (pieza): 1,450 kg.

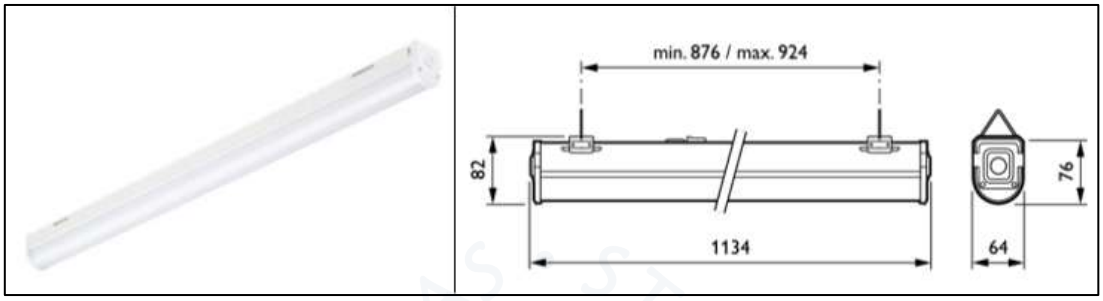


Figura 23. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 junto a un esquema con sus dimensiones en mm.
Fuente: (Hoja de datos de Philips, 2019).

- **Luminaria Coreline Regleta BN124C LED53S/840 IA1 TW1 L1500**

A continuación, se señalan algunos de los datos más importantes de esta luminaria, y en la Figura 24 se presenta un esquema de la misma.

- Flujo luminoso inicial de 5300 lm.
- Eficacia luminosa inicial 120 lm/W.
- Índice inicial de reproducción de color > 80.
- Índice inicial de temperatura de color: 4000 K.
- Potencia de entrada inicial: 44 W.
- Driver/unidad de potencia/transformador: PSR.
- Tensión de entrada: 220-240 V.
- Material de la cubierta: Policarbonato.
- Peso neto (pieza): 1,700 kg.

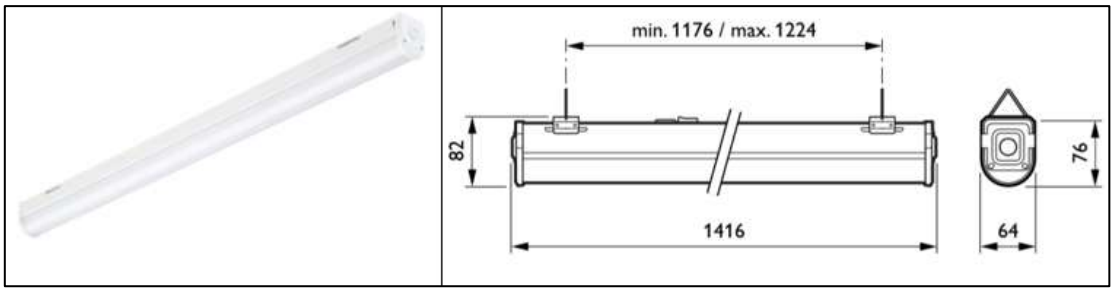


Figura 24. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED53S/840 IA1 TW1 L1500 junto a un esquema con sus dimensiones en mm.
Fuente: (Hoja de datos de Philips, 2019).

- **Luminaria Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600**

A continuación, se señalan algunos de los datos más importantes de esta luminaria, y en la Figura 25 se presenta un esquema de la misma.

- Flujo luminoso inicial de 2100 lm.
- Eficacia luminosa inicial 110 lm/W.
- Índice inicial de reproducción de color > 80.
- Índice inicial de temperatura de color: 4000 K.
- Potencia de entrada inicial: 19 W.
- Driver/unidad de potencia/transformador: PSU [Fuente de alimentación].
- Tensión de entrada: 220-240 V.
- Material de la cubierta: Policarbonato.
- Peso neto (pieza): 0,700 kg.

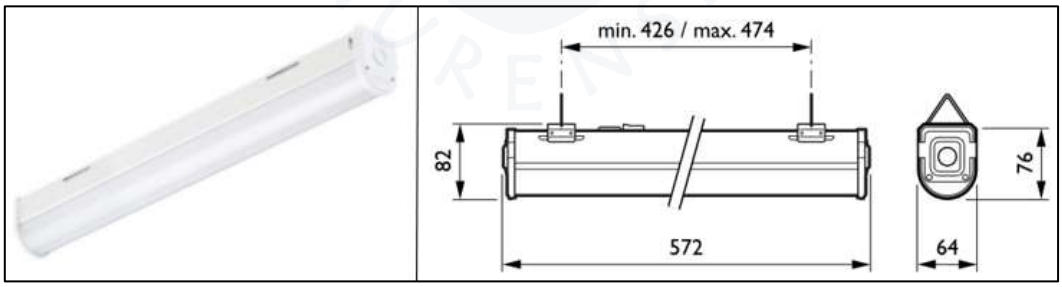


Figura 25. Luminaria Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 junto a un esquema con sus dimensiones en mm.
Fuente: (Hoja de datos de Philips, 2019).

2.4. Método de lúmenes para determinar el número de luminarias

El método de los lúmenes, denominado también, método del factor de utilización. Es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado en general.

2.4.1 Flujo luminoso total necesario (ϕ_T)

Para determinar el número de luminarias, es preciso calcular, primero, el flujo luminoso total necesario (ϕ_T). Para ello se necesita establecer los siguientes valores de entrada.

a) Dimensiones del local (a, b y h)

Las dimensiones planas de cada uno de los ambientes; largo y ancho, fueron extraídas de los planos del edificio IME. Mientras que las alturas fueron medidas manualmente haciendo uso de cinta métrica flexible.

Primer piso:

De las tablas 25 a 32 se muestran las dimensiones de los diferentes ambientes del primer piso del edificio.

Tabla 25. Dimensiones de los ambientes del laboratorio de Electrotecnia.

Laboratorio de Electrotecnia			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Oficina 1	2.30	3.00	3.00
Oficina 2	2.40	3.00	2.66
Sala de reuniones	3.00	5.00	3.00
Zona de mesas de laboratorio	10.60	12.34	3.00
Área de máquinas y modelos	6.30	12.34	4.40
Oficina de tesistas	6.04	6.15	3.00
Almacén de equipos	2.25	4.71	3.00
Vestidores servicio de limpieza	3.00	6.05	3.00
Entrada a vestidores	2.00	4.10	3.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 26. Medidas de los ambientes del Centro de Idiomas.

Centro de Idiomas			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Secretaría	2.75	3.50	3.00
Administración	2.62	4.35	3.00
Aula L-11	6.30	7.75	3.00
Oficinas 1, 2, 3 y pasillo	6.05	8.93	3.50
Oficina 4	2.31	3.60	2.70
Baño	2.30	2.31	3.00
Sala de profesores	5.55	6.30	2.75
Sala de lectura	3.88	7.75	3.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27. Dimensiones de ambientes del laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica.

Laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Taller de maestranza	12.38	13.30	3.00
Fondo	6.30	12.38	2.70
Oficina 1	3.10	3.48	3.00
Sala de reuniones	2.53	6.30	3.00
Oficina 2	2.20	2.53	3.00
Vestidor de técnicos	2.30	6.05	3.00
Depósito 1	1.85	4.80	3.50
Soldadura	2.95	8.40	3.50
Depósito 2	4.05	12.35	4.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Medidas de los ambientes del taller de Mecánica de Suelos.

Taller de Mecánica de Suelos			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Patio de ensayo de materiales	3.20	14.44	3.00
Almacén	2.25	4.71	3.00
Vestidor	3.00	3.53	3.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29. Medidas de los ambientes de Dirección IME.

Dirección IME			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
S.H. Varones de personal de servicio	1.40	2.65	3.00
S.H. Damas de personal de servicio	1.40	2.65	3.00
Oficina 1	2.65	3.05	3.00
Pasillo de sala	1.20	9.30	3.00
Depósito	1.10	2.75	3.00
Sala	2.80	3.60	3.00
Armario	1.40	2.65	3.00
Sala de reuniones	3.05	6.75	3.00
Oficina 2	2.95	3.95	3.00
Oficina 3	2.60	3.05	3.00
Oficina 4	2.60	2.95	3.00
Oficina 5	2.63	3.00	3.00
S.H. Damas	2.95	3.33	3.60
S.H. Varones	2.95	3.27	3.60
Pasillo de circulación	4.25	31.83	2.90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Medidas de los ambientes del laboratorio de Ensayo y Materiales.

Laboratorio de Ensayo de Materiales			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Oficina 1	2.40	2.98	3.00
Oficina 2	2.50	3.00	3.00
Oficina de técnicos	3.00	3.00	4.90
Zona de mesas de laboratorio	10.65	12.46	3.00
Zona de ensayos	6.30	12.35	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Medidas de los ambientes del laboratorio de Física.

Laboratorio de Física			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Zona de mesas de laboratorio	9.36	12.35	3.00
Oficina 1	2.15	4.61	3.00
Depósito 1	2.02	2.75	3.00
Oficina 2	2.02	3.64	3.00
Oficina 3	2.82	3.70	3.00
Oficina 4	2.82	3.90	3.00
Depósito F1	1.23	1.90	3.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Medidas de los ambientes del auditorio IME.

Auditorio IME			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Cabina de proyección	2.28	3.80	2.80
Depósito	3.38	4.15	2.80
Zona de butacas	11.32	13.75	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Segundo piso:

De las Tabla 33 a 39 se muestran las dimensiones de los diferentes ambientes del segundo piso del edificio.

Tabla 33. Medidas de los ambientes del laboratorio de SAC.

Laboratorio de SAC			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Oficina 1	2.60	3.00	3.50
Oficina 2	2.85	3.00	3.50
Oficina 3	2.50	3.00	3.50
Sala de reuniones	3.00	5.10	3.50
Sala de oficinas	6.90	12.35	4.50
Sala principal	3.54	12.35	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Medidas de los ambientes del laboratorio de Energía.

Laboratorio de Energía			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Oficina 1	2.40	3.20	2.80
Sala de tesistas 1	2.40	3.55	2.80
Sala de tesistas 2	3.11	4.35	2.80
Sala de reuniones	3.15	5.20	3.64
Oficina 2	2.50	4.20	2.80
Oficina 3	2.50	2.60	2.80
Oficina 4	2.50	3.20	2.80
Sala principal	6.95	7.21	3.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Medidas de los ambientes del laboratorio de Electrónica.

Laboratorio de Electrónica			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Oficina de tesistas	5.17	6.14	4.71
Oficina 1	3.96	6.15	5.70
Depósito	2.25	4.82	3.20
Zona de mesas de laboratorio	6.90	10.45	5.70
Sala de investigación	5.30	8.85	5.70
Oficina 2	2.98	3.00	2.75
Oficina 3	2.50	3.00	2.75
Oficina 4	2.50	3.00	2.75
Sala de proyectos	3.00	5.10	2.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Medidas de los ambientes de Soluciones de Software.

Soluciones de Software			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Sala de soluciones de software	4.28	4.50	3.00
Oficina 1	2.95	3.38	3.00
Oficina 2	2.32	2.33	3.00
Oficina 3	2.03	2.33	3.00
Oficina 4	3.15	3.30	3.00
Sala de infraestructura	3.45	4.50	3.00
Oficina 5	2.95	3.28	3.00
Data Center I y II	2.85	7.80	3.30
S.H. Varones de personal de servicio	2.95	3.30	3.00
S.H. Damas de personal de servicio	2.95	3.23	3.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Medidas de los ambientes del Centro de Diseño.

Centro de Diseño			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Sala principal	6.70	8.60	2.83
Oficina 1	2.50	2.99	2.54
Oficina 2	2.50	2.84	2.54
Oficina 3	2.60	3.60	2.54
Oficina 4	1.90	3.60	2.83
Oficina 5	3.60	4.64	2.83
Oficina 6	3.20	4.70	3.40
Oficina 7	2.63	4.70	3.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Medidas de los ambientes del pasillo del segundo piso.

Pasillo del segundo piso			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
S.H. Varones de personal administrativo	2.05	4.03	3.00
Oficina de servicios técnicos	2.05	6.05	2.75
S.H. Damas de personal administrativo	2.05	4.00	3.00
Pasillo	2.11	24.95	3.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Medidas de los ambientes del laboratorio de Metalotecnia.

Laboratorio de Metalotecnia			
Ambientes	Ancho (a) [m]	Largo (b) [m]	Altura (h) [m]
Zona de mesas de laboratorio	8.75	12.38	2.85
Sala de seminarios	3.30	6.15	2.85
Zona de pulido de piezas	5.20	6.05	2.85
Cuarto oscuro	2.30	2.94	3.00
Almacén	2.30	2.86	3.00
Oficina 1	1.90	2.60	3.60
Oficina 2	2.60	4.10	3.60
Oficina 3	2.60	3.03	3.60
Oficina 4	2.60	2.90	3.60

Fuente: Elaboración Propia.

b) Altura del plano de trabajo (h')

La altura del plano de trabajo depende del tipo de actividad que se realiza en un determinado ambiente. Generalmente, se considera la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo, que se ha establecido en 1 m para todos los ambientes. Además, cabe señalar, que la altura de plano de las luminarias (d') es de 0 m, pues las luminarias son empotradas. Ver Figura 26.

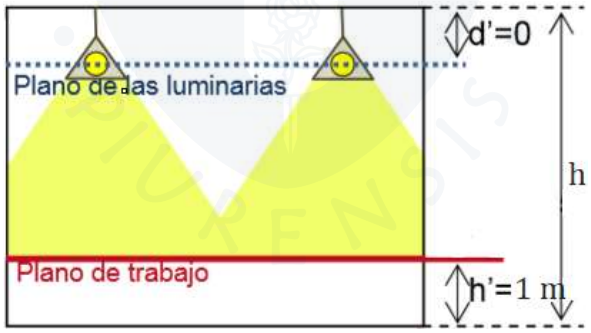


Figura 26. Esquema de alturas en un ambiente.
Fuente: Elaboración propia.

c) Nivel de iluminancia media. (E_m)

Este valor depende del tipo de actividad que se realiza en el ambiente. Ver tabla de niveles requeridos de nivel de iluminación o iluminancia según la Norma Técnica EM.010.

d) Tipo de luminaria que se va a utilizar y su flujo lumínico.

Como ya se especificó, se utilizarán en total 4 luminarias de tipo LED:

- Luminaria Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC, con un flujo luminoso de 3600 lm.

- Luminaria Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200, con un flujo luminoso de 4100 lm.

- Luminaria Coreline Regleta BN124C LED53S/840 IA1 TW1 L1500, con un flujo luminoso de 5300 lm.

- Luminaria Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600, con un flujo luminoso de 2100 lm.

2.4.2. Coeficiente de utilización $(\mathbf{C_u})$

El coeficiente de utilización indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo. Los fabricantes de luminarias proporcionan para cada modelo unas tablas, denominadas tablas de factor de utilización.

En las tablas, para cada tipo de luminaria, los factores de utilización están en función de los **coeficientes de reflexión** y el **índice del local**. En algunos casos es necesario hacer interpolaciones.

En la Figura 27, se muestra la tabla de factor de utilización de la luminaria Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC.

Room Index k	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.55	0.52	0.54	0.53	0.52	0.45	0.45	0.40	0.44	0.40	0.39
0.80	0.66	0.62	0.65	0.63	0.61	0.54	0.54	0.49	0.53	0.49	0.47
1.00	0.75	0.69	0.73	0.71	0.68	0.62	0.61	0.57	0.61	0.57	0.55
1.25	0.83	0.76	0.81	0.78	0.75	0.69	0.68	0.64	0.67	0.64	0.62
1.50	0.89	0.81	0.87	0.83	0.80	0.74	0.73	0.69	0.72	0.69	0.67
2.00	0.98	0.88	0.96	0.91	0.87	0.82	0.81	0.78	0.80	0.77	0.75
2.50	1.04	0.92	1.02	0.96	0.91	0.87	0.86	0.83	0.85	0.82	0.80
3.00	1.09	0.95	1.06	0.99	0.94	0.91	0.89	0.87	0.88	0.86	0.83
4.00	1.14	0.98	1.10	1.03	0.97	0.95	0.93	0.91	0.92	0.90	0.87
5.00	1.17	1.00	1.13	1.06	0.99	0.97	0.95	0.94	0.94	0.92	0.90

Figura 27. Tabla de factor de utilización de la luminaria LED Coreline Panel.
Fuente: Hoja de datos de Philips, 2019.

En la Figura 28, se muestra la tabla de factor de utilización de las luminarias Coreline Regleta.

Room Index k	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.44	0.42	0.43	0.42	0.41	0.34	0.33	0.28	0.32	0.27	0.25
0.80	0.55	0.51	0.53	0.51	0.50	0.42	0.41	0.36	0.39	0.35	0.32
1.00	0.63	0.58	0.61	0.59	0.57	0.49	0.48	0.42	0.46	0.41	0.38
1.25	0.71	0.65	0.69	0.66	0.63	0.56	0.54	0.49	0.52	0.48	0.44
1.50	0.77	0.70	0.75	0.71	0.68	0.61	0.59	0.54	0.57	0.53	0.49
2.00	0.87	0.78	0.84	0.79	0.76	0.70	0.67	0.62	0.64	0.61	0.56
2.50	0.93	0.82	0.90	0.85	0.81	0.75	0.72	0.68	0.69	0.66	0.62
3.00	0.98	0.86	0.94	0.89	0.84	0.79	0.76	0.72	0.73	0.70	0.65
4.00	1.04	0.90	1.00	0.94	0.88	0.84	0.81	0.78	0.78	0.75	0.70
5.00	1.08	0.93	1.04	0.97	0.91	0.87	0.84	0.81	0.81	0.78	0.73

Figura 28. Tabla de factor de utilización de la luminaria LED Coreline Regleta.
Fuente: Hoja de datos de Philips, 2019.

Cálculo del índice del local (k)

Para un sistema de iluminación directa, el índice del local (k) se calcula a partir de los datos de las dimensiones de los ambientes.

$$k = \frac{a \cdot b}{(h - h') \cdot (a + b)} \tag{2.1}$$

Donde:

a : ancho del ambiente [m].
b : largo del ambiente [m].
h : altura del ambiente [m].
h' : altura de plano de trabajo [m].

Cálculos de los coeficientes de reflexión

La reflexión de la luz depende del tipo de material o superficie en el que incide. (Ver Anexo B).

Dado que los techos, paredes y suelos de los ambientes poseen colores similares, se tomará para todos los siguientes coeficientes de reflexión:

- 0.5 para el techo (crema, techo acústico blanco).
- 0.3 para las paredes.
- 0.1 para el suelo (gris oscuro).

En la Figura 29, por defecto se indican estos tres coeficientes de reflexión presentes en las tablas de factores de utilización de las luminarias.

Room Index k	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00

Figura 29. Coeficientes de reflexión en las tablas de factor de utilización.
Fuente: (Hoja de datos de Philips, 2019).

Así, a partir de los coeficientes de reflexión ya establecidos y los índices de local calculados para los distintos ambientes, se obtienen los coeficientes de utilización (C_u) en las tablas de factores de utilización de las luminarias correspondientes.

Considerando estos parámetros, la expresión para el flujo luminoso total necesario es:

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} \tag{2.2}$$

Donde:

ϕ_T : flujo luminoso total necesario [lm].
E_m : nivel de iluminancia mínimo requerido [lux].
S : superficie plana $(a \cdot b)$ [m²].
C_u : coeficiente de utilización.
C_m : coeficiente de mantenimiento (0.8 para ambientes limpios).

Finalmente, el número de luminarias es definido como el cociente del flujo luminoso total necesario y el flujo luminoso por luminaria.

$$NL = \frac{\phi_T}{n \cdot \phi_L} \tag{2.3}$$

Donde:

ϕ_T : flujo luminoso total necesario [lm].
n : número de lámparas por luminaria (igual a 1 para las luminarias LED Coreline).
ϕ_L : flujo luminoso de cada luminaria LED [lm].

2.4.3. Resumen de resultados de números de luminarias

Después de realizado el procedimiento que abarca el cálculo de los coeficientes de utilización, flujos luminosos y número de luminarias de todos los ambientes, se obtuvo lo siguiente:

Primer piso:

- Laboratorio de Electrotecnia

- 53 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 28 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Taller de Mecánica de Suelos

- 13 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.

- Laboratorio de Ensayo de Materiales

- 49 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 10 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica

- 59 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 12 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Laboratorio de Física

- 24 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 14 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.

- Centro de idiomas

- 26 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 27 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 1 luminaria Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.

- Dirección IME

- 27 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 4 luminarias Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED53S/840 IA1 TW1 L1500 -44W.
- 7 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.

- Auditorio IME

- 46 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.

Segundo piso:

- Laboratorio de Energía
- 32 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Laboratorio de Electrónica
- 74 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 3 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.

- Laboratorio de Metalotecnia
- 30 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 21 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Laboratorio de SAC
- 46 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

- Pasillo del Segundo Piso
- 4 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 4 luminarias Coreline Regleta BN124C LED41S/840 PSU TW1 L1200 -38W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.

- Soluciones de Software
- 30 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.
- 2 luminarias Coreline Regleta BN124C LED21S/840 PSU TW1 L600 -19W.

- Centro de Diseño
- 36 luminarias Coreline Panel RC127V LED36S/840 PSU W60L60 OC -36W.

Capítulo 3
Diseño de la instalación fotovoltaica autónoma para el edificio IME

En este capítulo se detalla el diseño de la instalación fotovoltaica autónoma que suministrará energía eléctrica al edificio IME de la Universidad de Piura, a las luminarias LED ya seleccionadas en el capítulo anterior y a los tomacorrientes para la conexión de equipos eléctricos o electrónicos de uso diario.

Para el diseño de la instalación fotovoltaica es necesario determinar la demanda energética del edificio (debido a cargas de alumbrado y tomacorrientes) y la disponibilidad del recurso energético, que depende de las condiciones de irradiación solar propias de la ciudad de Piura. Además, se provee el alcance para el dimensionado de los componentes que constituyen el sistema.

3.1. Conceptos previos

3.1.1. Potencia de utilización

Todos los receptores o cargas no son utilizados en el mismo tiempo y a máxima potencia, los factores de utilización y de simultaneidad permiten definir la potencia realmente utilizada o contratada.

- Factor de utilización (*fu*)
- El régimen de trabajo normal de un receptor puede ser tal que su potencia utilizada sea menor que su potencia nominal, lo que da noción al factor de utilización, el cual se aplica individualmente a cada receptor. Factor de simultaneidad (*fs*)

Todos los receptores instalados no funcionan al mismo tiempo. Es por esta constatación que tiene objeto el factor de simultaneidad, este se aplica a un conjunto de receptores en el punto de unión de los mismos (cuadro de distribución). La determinación de los factores de simultaneidad obliga a conocer la función de las cargas y sus programas de trabajo de forma muy concisa.

3.2. Análisis de la demanda energética del edificio IME

Específicamente, se busca obtener la máxima demanda (W), y la energía promedio diaria consumida (Wh).

Para el cálculo de la demanda máxima, se parte de la potencia nominal de cada receptor del edificio, ya sea una luminaria o un equipo conectado a un tomacorriente, luego a esa potencia se le multiplica un factor de utilización (*fu*), que tiene un valor máximo de 1 si la potencia que utiliza, en situaciones exigentes de uso, es igual a su potencia nominal. Posteriormente, a la potencia ya multiplicada por el factor de utilización, de cada conjunto de receptores del mismo tipo (computadores, ventiladores, entre otros) se le multiplica un factor de simultaneidad (*fs*), que igualmente tiene un valor máximo de 1 si el conjunto de cargas siempre está funcionando al mismo tiempo, lo cual implica que el inicio y fin de su funcionamiento están sincronizados.

Cabe aclarar que el factor de simultaneidad de la gran mayoría de conjunto de receptores del mismo tipo no es igual a 1, pues, aunque exista un horario de trabajo en el que se demanda el uso de dichas cargas, no es cumplido a cabalidad por los usuarios, lo cual dificulta su sincronía. Entonces se opta por asignar, en base a la observación y cierto criterio, un factor de simultaneidad promedio, que será más cercano a 1 si el conjunto de receptores del mismo tipo pasa la mayor parte del horario de trabajo funcionando al mismo tiempo.

Finalmente, para el cálculo de la energía diaria consumida, se toma como referencia la demanda máxima de potencia calculada de cada carga, la cual fue multiplicada por el número de horas que se utiliza al día, y ya que un receptor no se utiliza el mismo número de horas al día todos los días, se prefirió establecer un promedio teniendo en cuenta un horizonte de tiempo de un mes.

3.2.1. Demanda energética de iluminación

En el Anexo C, se muestra con detalle los factores de utilización y simultaneidad empleados para el cálculo de la demanda máxima y la energía diaria consumida en promedio para la iluminación.

En resumen, se tiene lo siguiente:

- Primer piso del edificio

Se muestra en la Tabla 40, la máxima demanda y la energía consumida en promedio, referido a iluminación, de los ambientes del primer piso del edificio.

Tabla 40. Demanda energética de iluminación en el primer piso del edificio IME.

Demanda energética / Ambientes	Máxima demanda [W]	Energía promedio diaria consumida [Wh]
Laboratorio de Electrotecnia	2417.60	8854.40
Taller de Mecánica de Suelos	296.40	843.60
Laboratorio de Ensayo de Materiales	1777.60	6961.60
Laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica	2035.28	7791.52
Laboratorio de Física	1017.80	4268.60
Centro de Idiomas	1683.85	7332.95
Dirección IME	965.60	4082.55
Zona de Pasillo	266.00	1064.00
Auditorio IME	1681.50	4867.80
TOTAL	**12 141.63**	**46 067.02**

Fuente: Elaboración propia.

- Segundo piso del edificio

Se muestra en la Tabla 41, la máxima demanda y la energía consumida en promedio, referido a iluminación, de los ambientes del segundo piso del edificio.

Tabla 41. Demanda energética de iluminación en el segundo piso del edificio IME.

Demanda energética / Ambientes	Máxima demanda [W]	Energía promedio diaria consumida [Wh]
Laboratorio de Energía	921.60	3312.00
Laboratorio de Electrónica	2361.30	9001.50
Laboratorio de Metalotecnia	1332.80	3995.60
Laboratorio de SAC	1407.60	6426.00
Zona de Pasillo	315.00	1779.00
Soluciones de Software	1062.10	5986.90
Centro de Diseño	907.20	3855.60
TOTAL	**8307.60**	**34 356.60**

Fuente: Elaboración propia.

Solo en iluminación, la demanda máxima es de 20 449.23 W, y la energía promedio diaria consumida es 80 423.62 Wh.

3.2.2. Demanda energética de tomacorrientes

Las cargas seleccionadas para el análisis de demanda energética de tomacorrientes tienen un factor de potencia relativamente bajo de tal manera que la energía reactiva que se genera no tendría un impacto significativo en la instalación fotovoltaica. De igual manera, no se han considerado equipos de fuerza de los laboratorios: motores en electrotecnia, máquinas de herramientas en mecánica, equipos de ensayo en suelos, etc. Esto debido a que los altos picos de corriente de arranque que dichos equipos generan dañarían las baterías estacionarias de la instalación fotovoltaica.

En el Anexo D, se muestra con detalle los factores de utilización y simultaneidad empleados para el cálculo de la demanda máxima y la energía promedio diaria consumida para tomacorrientes. Así como también, los aparatos eléctricos y electrónicos considerados para cada ambiente.

En resumen, se tiene lo siguiente:

- Primer piso del edificio

Se muestra en la Tabla 42, la máxima demanda y la energía consumida en promedio, referido a tomacorrientes, de los ambientes del primer piso del edificio.

Tabla 42. Demanda energética de tomacorrientes en el primer piso del edificio IME.

Demanda energética / Ambientes	Máxima demanda [W]	Energía promedio diaria consumida [Wh]
Laboratorio de Electrotecnia	1490.35	8230.96
Taller de Mecánica de Suelos	200.00	400.00
Laboratorio de Ensayo de Materiales	2389.22	8874.20
Laboratorio de Física	1437.05	6929.56
Dirección IME	1504.70	7646.10
Laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica	1841.38	3116.18
Centro de Idiomas	4390.21	17 172.26
Auditorio IME	1010.00	1965.00
	14 262.91	**54 334.26**

Fuente: Elaboración propia.

- Segundo piso del edificio

Se muestra en la Tabla 43, la máxima demanda y la energía consumida en promedio, referido a tomacorrientes, de los ambientes del segundo piso del edificio.

Tabla 43. Demanda energética de tomacorrientes en el segundo piso del edificio IME.

Demanda energética / Ambientes	Máxima demanda [W]	Energía promedio diaria consumida [Wh]
Laboratorio de Energía	2171.840	16 833.780
Laboratorio de Electrónica	3006.940	16 755.983
Soluciones de Software	3375.500	42 321.500
Pasillo del Segundo Piso	649.100	5538.000
Laboratorio de SAC	3105.545	20 286.110
Centro de Diseño	1675.470	8553.720
Laboratorio de Metalotecnia	2316.025	9311.368
	16 300.42	**119 600.46**

Fuente: Elaboración propia.

La demanda máxima de tomacorrientes, es de 30 563.34 W, y la energía promedio diaria consumida es 173 934.72 Wh.

3.3. Determinación de la disponibilidad energética[4]

La oferta energética viene determinada principalmente por las características de radiación solar en la ciudad de Piura, más específicamente, en el edificio IME. Para ello se empleó un software de diseño fotovoltaico, *PVsyst*, en el cual se recurrió a su base de datos, y se introdujeron las coordenadas del edificio (latitud y longitud), obteniéndose así una tabla de valores medios mensuales de irradiación global solar diaria [$G_{dm}(0)$] sobre una superficie horizontal. Ver Figura 30.

Coordenadas del edificio IME:

- Latitud (ϕ): -5.1762° S
- Longitud: -80.6341° E

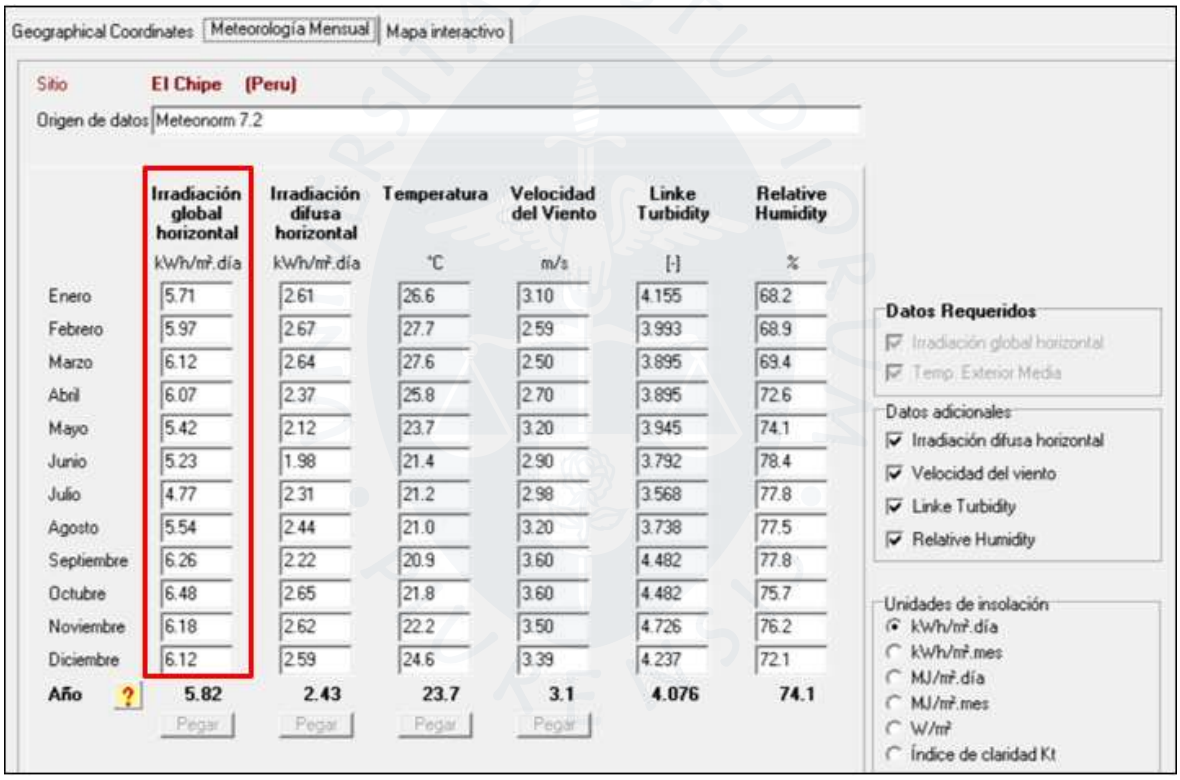


Figura 30. Valores medios mensuales de irradiación global diaria sobre una superficie horizontal.
Fuente: Base de datos de software PVsyst.

Para el dimensionado de un generador fotovoltaico es imprescindible establecer un periodo de diseño, en el cual se realiza una distribución de los consumos de energía eléctrica a lo largo del año y optar por el intervalo de tiempo donde la relación generación/consumo sea la más desfavorable.

[4] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [3] como guía.

El periodo de diseño se estableció en el ‹‹mes crítico››, que es julio, por el menor valor de irradiación solar. Además, el consumo se considera constante a lo largo del año, es decir, la energía promedio diaria consumida para cada ambiente es la misma todos los días del año.

La irradiación global solar horizontal diaria del peor mes, es entonces:

$$\left[G_{d,m(0)}\right]_{julio} = 4770\ Wh/m^2$$

Sin embargo, la superficie del generador fotovoltaico no se instala horizontalmente; sino con una inclinación, la cual depende de la latitud. Así pues, la irradiación global solar a calcular es sobre un plano inclinado, que en este caso coincidiría con el techo del edificio IME.

3.3.1. Irradiación global solar sobre un plano inclinado ($G_{(\beta,\alpha)}$)

Se busca obtener la irradiación global sobre un plano inclinado, $G_{(\beta,\alpha)}$ (subíndice β, *ángulo de inclinación*, y subíndice α, *ángulo de acimut*). Es necesario, primero, estimar la contribución de la irradiación global solar directa sobre un plano inclinado, $B_{(\beta,\alpha)}$ (B, por *beam irradiation*), la irradiación difusa sobre un plano inclinado, $D_{(\beta,\alpha)}$ (D, por *diffuse irradiance*) y la irradiación reflejada (o de albedo) sobre un plano inclinado, $R_{(\beta,\alpha)}$ (R, por *reflected irradiance*).

$$G_{(\beta,\alpha)} = B_{(\beta,\alpha)} + D_{(\beta,\alpha)} + R_{(\beta,\alpha)} \tag{3.1}$$

Cabe, además, mencionar que la estimación de las irradiaciones sobre planos inclinados es independiente de la orientación en la que se encuentre la superficie del generador fotovoltaico.

Los parámetros geométricos solares a emplear para la estimación de las irradiaciones son:

a) Declinación solar (δ):

El ángulo que forma el plano del ecuador de la tierra con la línea situada en el plano de la elíptica, que une los centros del sol y la tierra, varía constantemente en el transcurso del año. A este ángulo se le conoce como *declinación solar, δ.* Para este propósito, la declinación solar se puede considerar constante en el transcurso del día. La variación máxima de δ en 24 horas

es menos de 0.5 °. Si los ángulos al norte del ecuador son considerados positivos y al sur del ecuador son considerados negativos, la declinación solar se encuentra de la siguiente forma.

$$\delta = 23.45° \cdot sen\left(360 \cdot \frac{(284 + d_n)}{365}\right) \quad (3.2)$$

Donde:

d_n :día del año, entre 1 y 365 (número de día medio del mes de julio, 196).

b) Ángulo de salida del sol (ω_s):

El ángulo de salida del sol, es formado entre los primeros rayos del sol al amanecer y una línea horizontal trazada en un determinado lugar. Está en función de la declinación solar y, también, de la latitud del lugar.

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)) \quad (3.3)$$

Donde:

δ :declinación solar en el día medio del mes de julio [°].

ϕ :latitud del Edificio IME = -5.1762° S

c) Ángulo de salida del sol sobre un plano inclinado (ω_{ss}):

Es el ángulo formado entre los primeros rayos del sol al amanecer y un plano inclinado, que es en ese caso, el ángulo de inclinación del techo del edificio IME, *β.*

$$\omega_{ss} = máx\{\omega_s, -arccos(-[sign(\phi)]tan(\delta) \cdot tan(abs(\phi) - \beta))\} \quad (3.4)$$

d) Factor de excentricidad (ε):

La tierra describe anualmente alrededor del sol un camino elíptico llamado órbita. El factor de excentricidad se define entonces como el cuadrado de la razón de la distancia promedio entre la tierra y el sol durante todo el año, y la distancia entre la tierra y el sol en cualquier época del año.

$$\varepsilon = (r_o/r)^2 = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(360 \cdot \frac{d_n}{365}\right) \quad (3.5)$$

La cantidad de radiación global que alcanza una superficie es extremadamente variable. Por una parte, incluso la radiación extraterrestre experimenta variaciones diarias regulares y anuales debido al movimiento aparente del sol. Estas variaciones son predecibles y pueden ser

teóricamente determinadas, simplemente, por consideraciones geométricas. Por consiguiente, las magnitudes solares descritas a continuación tienen su base en los parámetros geométricos solares ya mencionados.

3.3.2. Irradiación solar directa sobre un plano horizontal ($B_{d,m(o)}$)

Se parte de la obtención de esta magnitud de radiación solar directa extraterrestre sobre un plano horizontal para el cálculo del componente de radiación global solar directa sobre un plano inclinado.

$$B_{d,m(o)} = \left(\frac{T}{\pi}\right) \cdot I_o \cdot \varepsilon \cdot \left[-\left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \left(\omega_s \cdot sen(\phi) \cdot sen(\delta)\right) - cos(\phi) \cdot cos(\delta) \cdot sen(\omega_s)\right] \quad (3.6)$$

Donde:

T :período de tiempo [h].
I_o :constante solar = 1361 W/m²
ε :factor de excentricidad
ω_s :ángulo de salida del sol [°].
δ :declinación solar en el día medio del mes de julio [°].
ϕ :latitud del edificio IME = -5.1762° S

3.3.3. Índice de claridad (K_{Tm})

La relación entre la radiación solar en la superficie de la tierra y la radiación extraterrestre da una medida de la transparencia atmosférica. De este modo, el *índice de claridad*, K_{Tm}, se calcula para cada mes.

$$K_{Tm} = \frac{G_{dm(0)}}{B_{d,m(o)}} \quad (3.7)$$

Este parámetro puede caracterizar apropiadamente el clima solar en una ubicación determinada. Así como también, provee las bases para la estimación de radiación solar en superficies inclinadas.

3.3.4. Fracción difusa de la radiación horizontal (F_{Dm})

La *fracción difusa de la radiación horizontal*, $F_{Dm} = D_{dm(0)}/G_{dm(0)}$, (radiación difusa horizontal/radiación global horizontal) mantiene una correlación con el *índice de claridad* (radiación global/radiación extraterrestre). Nótese que mientras más clara la atmósfera, más alta será la radiación y más baja la componente difusa. Por tanto, F_{Dm} y K_{Tm} se correlacionan

independientemente de los efectos de latitud y, en principio, tiende a ser una validación universal.

$$F_{Dm} = 1 - 1.13K_{Tm} \tag{3.8}$$

La *radiación difusa horizontal,* $D_{d,m(o)}$, viene a ser una parte de la radiación global horizontal y se define como.

$$D_{d,m(o)} = G_{dm(0)} \cdot F_{Dm} \tag{3.9}$$

3.3.5. Irradiación solar directa sobre un plano inclinado ($B_{(\beta,\alpha)}$)

La irradiación solar directa que llega al plano inclinado se define de la siguiente manera.

$$B_{(\beta,\alpha)} = k \times \left(G_{dm(0)} - D_{dm(o)}\right) \tag{3.10}$$

Donde:

k :factor de corrección
$G_{dm(0)}$:radiación solar global sobre un plano horizontal
$D_{dm(o)}$:radiación solar difusa sobre un plano horizontal

El factor de corrección representa la tasa entre las irradiaciones diarias directas en una superficie inclinada y en una superficie horizontal, y puede ser aproximado ajustándolo a ser igual a la tasa correspondiente entre la irradiación diaria extraterrestre en superficies similares. Así, el factor de corrección es:

$$k = \left(\frac{\omega_{ss} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot [sign(\phi)] sen(\delta) \cdot sen(|\phi| - \beta) + \cos(\delta) \cdot \cos(|\phi| - \beta) \cdot sen(\omega_{ss})}{\omega_s \cdot \frac{\pi}{180} \cdot sen(\delta) \cdot sen(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot sen(\omega_s)} \right) \tag{3.11}$$

3.3.6. Irradiación solar difusa sobre un plano inclinado ($D_{(\beta,\alpha)}$)

La fórmula que define la irradiación solar difusa sobre un plano inclinado tiene sus bases en el modelo que hace uso de la suposición que el resplandor del cielo es isotrópico, que significa, que cada punto en la esfera celeste emite luz con igual radiación. La solución de dicho modelo lleva a la siguiente ecuación.

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_{dm(o)} \cdot \left(\frac{1 + cos(\beta)}{2} \right) \tag{3.12}$$

3.3.7. Irradiación de albedo sobre un plano inclinado ($R_{(\beta,\alpha)}$)

La reflectividad de la mayoría de tipos de tierra es bastante baja. En consecuencia, la contribución de la radiación de albedo que cae en un receptor es generalmente baja. El modelo que se asume es que el suelo es horizontal y de extensión infinita y que refleja isotrópicamente. Sobre esta base, la radiación de albedo en una superficie inclinada es.

$$R_{(\beta,\alpha)} = \frac{\rho \cdot G_{dm(0)} \cdot \left(1 - cos(\beta)\right)}{2} \tag{3.13}$$

Donde:

ρ :reflecividad del suelo (se asume un valor de $\rho = 0.2$)

3.4. Consideraciones iniciales para el dimensionamiento

Los datos de partida que se usaron para el dimensionamiento son la demanda máxima de tomacorrientes, la energía diaria consumida (hallados en el apartado 3.2) y la irradiación global solar sobre un plano inclinado (planteada en el apartado 3.3.1).

La demanda máxima y energía diaria consumida de todos los receptores (luminarias y tomacorrientes) se han dividido en 5 subconjuntos para poder calcular así, para cada uno de ellos, su respectivo generador fotovoltaico y demás componentes necesarios para su funcionamiento.

- Subconjunto I (iluminación del primer piso).

Máxima demanda (W): 12 141.63

Energía diaria consumida (Wh): 46 067.02

- Subconjunto II (tomacorrientes del primer piso).

Máxima demanda (W): 14 300.96

Energía diaria consumida (Wh): 55 246.2625

- Subconjunto III (iluminación del segundo piso).

Máxima demanda (W): 8307.6

Energía diaria consumida (Wh): 34 356.6

- Subconjunto IV (tomacorrientes del segundo piso).

En la Tabla 44, se muestra de manera específica a qué ambientes corresponde la máxima demanda y la energía diaria consumida del subconjunto IV.

Tabla 44. Máxima demanda y energía consumida diaria del Subconjunto IV.

Ambiente	Máxima demanda	Energía diaria consumida
Laboratorio de Energía	2171.84 W	16 833.78 Wh
Soluciones de Software	3375.5 W	42 321.5 Wh
TOTAL	5547.34 W	59 155.28 Wh

Fuente: Elaboración propia.

- Subconjunto V (tomacorrientes del segundo piso).

En la Tabla 45, se muestra de manera específica a qué ambientes corresponde la máxima demanda y la energía diaria consumida del subconjunto V.

Tabla 45. Máxima demanda y energía consumida diaria del Subconjunto V.

Ambiente	Máxima demanda	Energía diaria consumida
Laboratorio de Electrónica	3006.94 W	16 755.9825 Wh
Pasillo del segundo piso	649.1 W	5538 Wh
Laboratorio de SAC	3105.5 W	20 286.11 Wh
Centro de Diseño	2552.97 W	11 186.22 Wh
Laboratorio de Metalotecnia	1438.525 W	6678.8675 Wh
TOTAL	10 753.035 W	60 445.18 Wh

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Dimensionado de la instalación fotovoltaica[5]

3.5.1. Generador fotovoltaico

Está compuesto por módulos fotovoltaicos, dispositivos de estado sólido que convierten los rayos solares, la fuente de energía más abundante del planeta, directamente a electricidad.

Se optó por el panel fotovoltaico *Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72*, pues tiene una elevada eficiencia y gracias a las 72 células policristalinas de gran tamaño, el panel solar tiene una amplia superficie para captar radiación solar que entrega una alta corriente. Este panel posee las siguientes características en *Standard Test Conditions* (STC):

Potencia máxima ($P_{máx}$): 330 Wp
Tensión de potencia máxima (V_{mp}): 37.8 V
Corriente de potencia máxima (I_{mp}): 8.74 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc}): 46.9 V
Corriente de corto circuito (I_{sc}): 9.14 A
Eficiencia del módulo en STC (η): 17.01 %

Este módulo solar de 72 células (Figura 31) está diseñado para trabajar con baterías de acumuladores de 24 V y reguladores de tipo *Pulse-Width Modulation* (PWM) como *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) a dicha tensión. Para baterías de acumuladores de 48 V simplemente se conectan dos de estos módulos en serie, independientemente del regulador utilizado.

[5] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía.

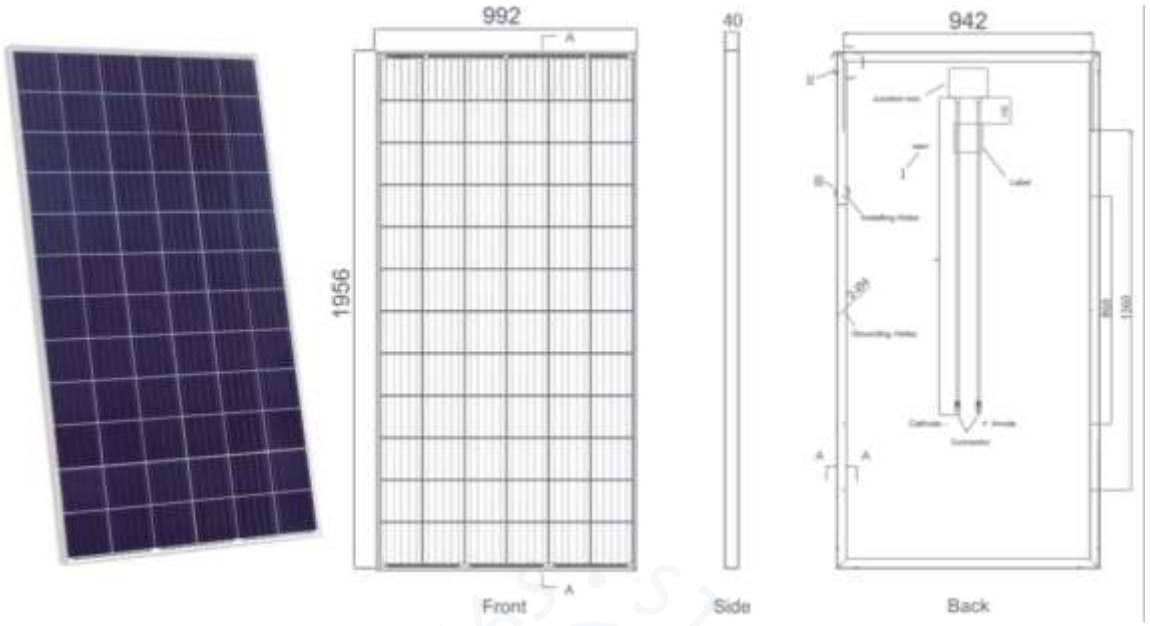


Figura 31. Módulo fotovoltaico policristalino Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72, de 72 células y sus dimensiones (medidas en mm).
Fuente: Ficha técnica del fabricante Jinko Solar.

Para más detalles de sus características mecánicas y técnicas (ver Anexo E).

Cálculo del valor mínimo de potencia del generador fotovoltaico ($P_{G\,mín}$)

$$P_{G\,mín} = \frac{W_d \cdot G_{CEM}}{G_{(\beta,\alpha)} \cdot PR} \tag{3.14}$$

Donde:

W_d :consumo medio diario de energía [Wh]
G_{CEM} :irradiancia en condiciones STC (constante de valor 1000 W/m²)
$G_{(\beta,\alpha)}$:irradiación global solar sobre un plano inclinado [Wh/m²]
Performance Ratio (PR) :rendimiento energético de la instalación (PR=0.6 para sistemas con inversor, batería y regulador de carga)

Una vez calculada la potencia mínima, es preciso seleccionar, adecuadamente, su disposición; es decir, la cantidad de módulos que irán en serie y en paralelo.

El número de módulos a conectar para conseguir la potencia mínima prevista se calcula de la siguiente desigualdad.

$$N_P \cdot N_S \geq \frac{P_{G\,mín}}{P_{máx}} \tag{3.15}$$

Donde:

N_P :número de módulos fotovoltaicos conectados en paralelo
N_S :número de módulos fotovoltaicos conectados en serie
$P_{G\,mín}$:potencia mínima del generador fotovoltaico [W]

$P_{máx}$:potencia máxima del módulo fotovoltaico [Wp]

Con el fin de no sobredimensionar el generador al momento de elegir el número de módulos en serie o paralelo, se fijan unos intervalos entre los cuales la potencia máxima del generador se sitúa.

$$\boldsymbol{P_{G\,mín}} \leq P_{G\,máx} \leq \mathbf{1.2} \cdot \boldsymbol{P_{G\,mín}} \tag{3.16}$$

La potencia resultante del generador, que posteriormente se comprueba si se sitúa entre los intervalos mencionados, es.

$$P_{G\,máx} = N_S \cdot N_P \cdot P_{máx} \tag{3.17}$$

Los parámetros eléctricos de un generador fotovoltaico dependen directamente de los parámetros de sus módulos. Si todos los módulos son iguales y trabajan en las mismas condiciones de irradiancia y temperatura, la tensión, intensidad y potencia que puede proporcionar un generador fotovoltaico cumple las siguientes relaciones:

Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\,oc}$):

$$V_{G\,oc} = N_S \cdot V_{oc} \tag{3.18}$$

Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\,sc}$):

$$I_{G\,sc} = N_P \cdot I_{sc} \tag{3.19}$$

Tensión máxima del generador $(V_{G\,mp})$:

$$V_{G\,mp} = N_S \cdot V_{mp} \tag{3.20}$$

Intensidad máxima del generador $(I_{G\,mp})$:

$$I_{G\,mp} = N_P \cdot I_{mp} \tag{3.21}$$

3.5.2. Sistema de acumulación

La función de las baterías de acumulación en un sistema autónomo fotovoltaico es proporcionar energía eléctrica durante la noche y durante los días de nula o baja insolación. Por tanto, el criterio básico para calcular la capacidad del sistema de acumulación es el garantizar el suministro de energía eléctrica durante un determinado número de días, conocido también como *número de días de autonomía* (N).

Las baterías elegidas son de tipo GEL y estacionarias del fabricante *BAE* (Figura 32), modelo *Secura PVV Solar*, diseñadas para instalaciones de uso habitual y consumos medios o altos. Estas baterías están compuestas por vasos estacionarios de 2V con distintas capacidades (a mayor capacidad, mayor el tamaño de cada vaso estacionario), permitiendo ser agrupados en serie para incrementar el voltaje o en paralelo para incrementar la capacidad del conjunto

Figura 32. Vasos estacionarios BAE tipo gel de 2V y distintas capacidades.
Fuente: Ficha técnica del fabricante BAE.

Para más detalles de sus características técnicas (ver Anexo F).

Cálculo de capacidad total del sistema de acumulación

Para alargar la vida útil de la batería de acumuladores, se fija una *profundidad de descarga máxima* ($PD_{máx}$). Se recomienda que sea máximo de un 70% en instalaciones domésticas, valor que está en el rango de profundidades de descarga de las baterías estacionarias escogidas.

Fijados los días de autonomía y la profundidad de descarga, se calcula la capacidad del sistema a partir del consumo medio diario.

El consumo medio diario se calcula como.

$$Q_d = \frac{W_d}{V_n} \tag{3.22}$$

Donde:

Q_d :consumo medio diario [Ah]
W_d :consumo medio de energía diario [Wh]
V_n :tensión nominal del sistema de acumulación [V]

La tensión nominal del sistema de acumulación se establece en 48 V ($V_n = 48\,V$), pues los módulos solares de 72 células pueden trabajar con baterías de acumuladores a dicha tensión.

Finalmente, la capacidad total del sistema de acumulación se halla a partir de lo fijado anteriormente.

$$C_n = \frac{Q_d \cdot N}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} \tag{3.23}$$

Donde:

C_n :capacidad total del sistema de acumulación en C_{20}[6]
Q_d :consumo medio diario [Ah]
N :número de días de autonomía ($N = 3$)
$PD_{máx}$:profundidad de descarga máxima ($PD_{máx} = 70\%$)
η_{inv} :rendimiento del inversor ($\eta_{inv} = 95\%$)
η_{rb} :rendimiento del conjunto de batería y regulador de carga ($\eta_{rb} = 0.9$)

La capacidad total C_n es la capacidad referida a un tiempo de descarga en 20 horas, C_{20}, es más apropiada dado el periodo de descarga de las baterías de acumulación. Esto sobredimensiona el acumulador, pero compensa la pérdida de capacidad que se produce en el sistema de acumulación a lo largo del tiempo.[7]

Con el fin de no sobredimensionar el sistema de acumulación, el valor de la capacidad del sistema de acumulación no excederá 25 veces la corriente de cortocircuito en condiciones

[6] La capacidad en Ah de una batería expresada en C_{20} significa que esos amperios/hora se pueden extraer de la batería siempre y cuando la descarga de batería en su totalidad se dé en un tiempo de 20 horas bajo un régimen constante.
[7] Fuente bibliográfica [1]. Página 139.

estándar (STC) del generador fotovoltaico, de otro modo el generador fotovoltaico nunca podrá cargar las baterías completamente y estas tenderán a sulfatarse.[8]

$$C_n \leq 25 \cdot I_{G\,sc} \tag{3.24}$$

Cálculo del número de baterías

Dependiendo de la capacidad del sistema de acumulación, se realizarán arreglos de una o dos ramas en paralelo de vasos estacionarios BAE para alcanzar la tensión nominal (48 V).

De acuerdo con los datos técnicos de las baterías estacionarias BAE, la capacidad de vaso estacionario más grande es de 4060 Ah. En torno a ello, se establecen dos condiciones para el cálculo del número de baterías.

- Para una capacidad total del sistema de acumulación en C_{20}: $C_{20} \leq 4060\ Ah$[9]

  Se realizará un único agrupamiento en serie de 24 vasos estacionarios de 2 V y la capacidad total del sistema de acumulación calculada.

- Para una capacidad total del sistema de acumulación en C_{20}: $C_{20} \geq 4060\ Ah$

  Se realizarán agrupamientos de dos tipos, en serie para poder alcanzar la tensión nominal del sistema de acumulación de 48 V, y en paralelo para alcanzar la capacidad del sistema de acumulación, que es mayor que la capacidad máxima de los vasos estacionarios.

3.5.3. Regulador de carga solar

Los reguladores o controladores de carga regulan la potencia de los módulos fotovoltaicos para prevenir la sobrecarga, sobre descarga y descarga nocturna de las baterías. Existen dos tipos:

- **Reguladores PWM**

  Un regulador PWM puede variar de forma gradual la corriente de carga de la batería modificando la anchura de los pulsos de la tensión aplicada a la batería. El uso de la técnica de modulación de ancho de pulsos (PWM – Pulse-Width Modulation) permite introducir más corriente en las baterías sin aumentar la tensión, consiguiendo estados de

[8] Fuente bibliográfica [1]. Página 139.
[9] 4060 Ah es la máxima capacidad en C_{20} que poseen los vasos estacionarias BAE de tipo gel de 2V. Ver Anexo E.

carga de la batería con promedios cercanos al 95%, además de mejorar el aprovechamiento de la energía procedente del generador fotovoltaico.

- **Reguladores MPPT**

Un regulador MPPT dispone de un seguidor del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. Con este componente, el generador fotovoltaico funciona en el máximo de potencia y reduce las pérdidas de potencia en porcentajes superiores a un 10%. Estos reguladores son imprescindibles cuando se utilizan módulos fotovoltaicos cuya tensión en el punto de trabajo óptimo es muy diferente de la tensión de carga de la batería. Esto ocurre cuando se utilizan módulos que están diseñados para sistemas conectados a la red o en sistemas aislados con temperaturas ambiente muy bajas.

Para seleccionar el regulador de carga más apropiado para un sistema fotovoltaico autónomo, es preciso determinar su tensión nominal, intensidad nominal y tensión máxima de entrada que debe soportar.

La tensión nominal (V_R): Esta tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, V_n.

$$V_R = V_n = 48\ V$$

La intensidad nominal (I_R): Es el valor de la intensidad de cortocircuito, $I_{G\,sc}$, del generador fotovoltaico en condiciones CEM con un factor de seguridad de 1.25.

$$I_R = 1.25 \cdot I_{G\,sc}$$

La tensión máxima en la entrada no debe ser sobrepasada por la tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico, $V_{G\,oc}$.

El regulador escogido es de tipo PWM, de la marca *Steca Power Tarom*, concebido especialmente para aplicaciones industriales y al aire libre. Se muestra el regulador y un esquema de sus dimensiones en la Figura 33.

Figura 33. Regulador de tipo PWM Steca Power Tarom y sus dimensiones (medidas en mm).
Fuente: Ficha técnica del fabricante Steca.

Existen 3 modelos de esta marca de regulador para un nivel de tensión del sistema de 48 V: Steca Power Tarom 4055, Power Tarom 4110, y Power Tarom 4140. En la Tabla 46, se muestran algunas de sus características eléctricas.

Tabla 46. Características eléctricas de regulador solar Steca Power Tarom.

	4055	**4110**	**4140**
Funcionamiento			
Tensión del sistema	48 V		
Consumo propio	14 mA		
Datos de entrada CC			
Tensión de circuito abierto del generador solar	< 100 V		
Corriente del generador solar	55 A	110 A	140 A
Datos de salida CC			
Corriente de consumo	55 A	55 A	70 A

Fuente: (Ficha técnica del fabricante Steca). Elaboración propia.

Para más detalles de sus características técnicas (ver Anexo G).

Con este regulador de carga solar se pueden controlar sistemas de hasta 8400 Wp en tres niveles de tensión de sistema de acumulación (12 V, 24 V y 48 V). De acuerdo con la ficha de datos del fabricante, es posible conectar en paralelo varios reguladores de esta serie y así poder alcanzar una potencia superior a los 20 kWp. Esto implica que la capacidad de corriente de entrada (que es fija para cada regulador) aumenta, pues la tensión de circuito abierto del

generador solar es constante e inalterable. De esta manera, se logra aumentar la capacidad de potencia al conectar en paralelo varios reguladores.

El número de reguladores se calcula del cociente de la intensidad de corriente nominal, I_R, y la intensidad de corriente de entrada de un regulador.

$$N_R = \frac{I_R}{I_{cc,R}} \tag{3.25}$$

Donde:

I_R :intensidad de corriente nominal del regulador [A]
$I_{cc,R}$:intensidad de corriente de entrada de un regulador [A]

Finalmente, la potencia del conjunto de reguladores se calcula como.

$$P_{CR} = N_{R*} \cdot V_{G\ oc} \cdot I_{cc,R} \tag{3.26}$$

Donde:

N_{R*} :número exacto de reguladores conectados en paralelo.
$V_{G\ oc}$:tensión de circuito abierto del generador [V]
$I_{cc,R}$:intensidad de corriente de entrada de un regulador [A]

3.5.4. Inversor solar

El inversor solar es un dispositivo capaz de convertir la corriente continua, producida por el generador fotovoltaico, en corriente alterna con los parámetros adecuados de tensión y frecuencia. Para esta aplicación, de un sistema fotovoltaico autónomo, el inversor va conectado a la salida del regulador de carga.

Para seleccionar el inversor solar más apropiado para un sistema fotovoltaico autónomo, es necesario determinar su tensión nominal de entrada y su potencia nominal.

- **La tensión nominal (V_{inv}):** Esta tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, V_n.

$$V_R = V_n = 48\ V$$

- **La potencia nominal del inversor (P_{inv}):** Se calcula con la suma de todas las potencias de los receptores que puedan funcionar de forma simultánea, esta vendría a

ser representada por la máxima demanda de potencia de cada subconjunto del Edificio IME.

Además, a esta se le aplica un factor de seguridad de 1.2.

El inversor escogido es el *Phoenix 48/5000* de la marca *Victron Energy* ideal para innumerables aplicaciones y de alto rendimiento. Ver Figura 34.

Figura 34. Inversor Victron Phoenix 48/5000.
Fuente: Ficha técnica del fabricante Victron Energy.

Este inversor solar de onda senoidal posee las siguientes características eléctricas:

Rango de tensión de entrada (V DC): 38 – 66V
Salida: 230 V ± 2% / 50/60 Hz ± 0,1%
Potencia de salida a 25°C (VA): 5000
Potencia de salida a 40°C (W): 3700
Pico de potencia (W): 10 000
Eficacia máxima (%): 95
Consumo en vacío (W): 35

Para más detalles de sus características técnicas (ver Anexo H).

De acuerdo con la ficha del fabricante de estos inversores, hasta 6 unidades de inversor de una misma gama pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida.

El número de inversores se calcula del cociente de la potencia nominal del inversor, P_{inv}, y la potencia de salida a 40°C de un inversor.

$$N_{inv} = \frac{P_{inv}}{P_{out@40°C}} \tag{3.27}$$

Donde:

N_{inv} :número de inversores.
$P_{out@40°C}$:potencia de salida a 40°C de un inversor.

Una vez calculado el número exacto de inversores que deben ir conectados en paralelo, la potencia del conjunto de inversores a 40° C se calcula como.

$$P_{c,inv@40°C} = N_{inv*} \cdot P_{out@40°C}$$

Donde:

$P_{c,inv@40°C}$:potencia del conjunto de inversores a 40°C.
N_{inv*} :número exacto de inversores conectados en paralelo.

Se calculan además las corrientes que circulan en el inversor tanto a la entrada como a la salida.

Asumiendo un factor de potencia de la unidad, la potencia del conjunto de inversores se traduce con unidades de VA.

Entonces, la corriente que circula entre el regulador y el inversor es.

$$I_{inv\ cc} = \frac{P_{c,inv@40°C}}{\eta_{inv} \cdot V_n} \tag{3.28}$$

Donde:

$P_{c,inv@40°C}$:potencia del conjunto de inversores a 40°C. [VA]
η_{inv} :rendimiento del inversor
V_n :tensión nominal del sistema de acumulación ($V_n = 48\ V$)

Por último, la corriente que circula a la salida del inversor es.

$$I_{inv\ ca} = \frac{P_{c,inv@40°C}}{V_{n\ ca}} \tag{3.29}$$

Donde:

$P_{c,inv@40°C}$:potencia del conjunto de inversores a 40°C. [VA]
$V_{n\ ca}$:tensión del sistema de utilización ($V_{n\ ca} = 220\ V$)

3.5.5. Conductores del sistema fotovoltaico

El cableado ha de dimensionarse adecuadamente con el objeto de minimizar las caídas de tensión en la instalación. Para ello es necesario seleccionar el tipo de conductor (propiedades: aislamiento, resistencia a la intemperie, su longitud y su sección).

El calibre del conductor se calcula considerando únicamente la máxima caída de tensión, que se ocasiona por la circulación de corriente por los conductores y que debe ser mantenida en límites tolerables.

La caída de tensión entre el generador fotovoltaico y la instalación interior, no debe ser superior a 1.5%, para la intensidad nominal. Puesto que entre el generador fotovoltaico y la caja de mando y protección se encuentran los diversos componentes que conforman la instalación fotovoltaica, este trayecto se subdividirá en tramos en los cuales la caída de tensión de 1.5% se repartirá, teniendo en cuenta las trayectorias de la corriente.[10]

A continuación, se detalla el procedimiento para el cálculo de la sección del conductor para cada tramo.

Tramos de línea característicos de una instalación fotovoltaica autónoma[11]

1. Para cada tramo de la instalación, se recopilan los datos de intensidades, tensiones y longitudes, estas últimas supuestas en base a la dimensión del generador y distribución aproximada de sus componentes.

    - **Tramo 1: Conexionado de los módulos solares conectados en serie y en paralelo que componen el generador fotovoltaico.**

      La corriente a considerar es la de cortocircuito de un módulo fotovoltaico en condiciones estándar (STC), a la cual se aplica un coeficiente de 1.25. Es un circuito de corriente continua ($I = 1.25 \cdot I_{sc}$). La longitud del tramo es: $l_1 = 2\,m$.

    - **Tramo 2: Conexión entre la caja de conexiones del generador fotovoltaico al regulador de carga.**

[10] Fuente bibliográfica [1]. Página 144.
[11] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía. Página 143.

La corriente a considerar es la de cortocircuito del generador fotovoltaico en condiciones estándar (STC), a la cual se le aplica un coeficiente de 1.25. Es un circuito de corriente continua ($I = 1.25 \cdot I_{G\,sc}$). La longitud del tramo es: $l_2 = 4\ m$.

- **Tramo 3: Conexión del regulador de carga con la batería de acumuladores.**

La corriente a considerar es la de cortocircuito del generador fotovoltaico en condiciones estándar (STC), a la cual se le aplica un coeficiente de 1.25. Es un circuito de corriente continua ($I = 1.25 \cdot I_{G\,sc}$). La longitud del tramo es: $l_3 = 1\ m$.

- **Tramo 4: Conexión del regulador de carga con el inversor.**

La corriente a considerar es la de entrada del inversor para su potencia nominal y la tensión nominal del sistema de acumulación, al cual se le aplica un coeficiente de 1.25. Es un circuito de corriente continua ($I_4 = 1.25 \cdot I_{inv\,cc}$). La longitud del tramo es: $l_4 = 0.5\ m$.

- **Tramo 5: Conexión del inversor con la caja general del mando y protección de la instalación de utilización.**

La corriente a considerar es la de salida del inversor para su potencia nominal y la tensión nominal de utilización, al cual se le aplica un coeficiente de 1.25. Es un circuito de corriente alterna ($I = 1.25 \cdot I_{inv\,ca}$). La longitud del tramo es: y $l_5 = 0.5\ m$.

2. Máxima caída de tensión permitida. Se hace el reparto del 1.5 % de caída de tensión máxima entre los tramos de línea 1, 2, 4 y 5. Al tramo 3 se le asigna la misma caída de tensión que la suma de caídas de los tramos 1 y 2, quedando así:

Longitud de la trayectoria de corriente más desfavorable (tramos 1, 2, 4 y 5):

$$l_t = l_1 + l_2 + l_4 + l_5$$

Caída de tensión por unidad de longitud: $\Delta V_u = \frac{\Delta V_{\%}}{l_t}$

Reparto de caídas de tensión proporcionales a la longitud de cada tramo de línea:

Tramo de línea 1: $\Delta V_{tramo1} = \Delta V_u \cdot l_1$

Tramo de línea 2: $\Delta V_{tramo2} = \Delta V_u \cdot l_2$

Tramo de línea 3: $\Delta V_{tramo3} = \Delta V_{\%1} + \Delta V_{\%2}$

Tramo de línea 4: $\Delta V_{tramo4} = \Delta V_u \cdot l_4$

Tramo de línea 5: $\Delta V_{tramo5} = \Delta V_u \cdot l_5$

3. Cálculo por caída de tensión:

   Se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la sección de los conductores, si la línea es de corriente continua o corriente alterna:

$$S = \frac{200 \cdot l \cdot I \cdot cos\varphi}{\Delta V_{tramo} \cdot U \cdot \gamma_\theta} \tag{3.30}$$

Donde:

S :sección del conductor [mm²]
γ_θ :conductividad del conductor a la temperatura de servicio "θ" [$\frac{s \cdot m}{mm^2}$]
l :longitud de la línea [m]
ΔV_{tramo} :caída de tensión máxima permitida en la línea, en tanto por uno
U :tensión de la línea [V]
I :intensidad de corriente prevista en la línea [A]
$cos\varphi$:factor de potencia de la carga al final de la línea

(*) En los circuitos de corriente continua se utilizan las fórmulas de monofásica sin el término $cos\varphi$.

(*) La conductividad del conductor se debe a tomar la temperatura de servicio del cable que, para el caso habitual de aislamiento termoestable, a 90°C.

3.5.6. Aparatos de maniobra y protección

Un sistema fotovoltaico autónomo tiene un comportamiento eléctrico muy diferente al de las instalaciones eléctricas convencionales.

- El generador fotovoltaico se comporta como generador siempre que hay luz solar, aunque esté desconectado.
- La corriente producida por el generador fotovoltaico está autolimitada. Debido a los días de baja o nula irradiación solar.
- Existen dos fuentes de tensión, el generador fotovoltaico y la batería de acumuladores.

Esto sumado a que la corriente generada es de tipo continua, impide el uso de dispositivos de protección habituales en instalaciones de corriente alterna.

3.5.6.1. Protección de los módulos fotovoltaicos[12]

Dentro del generador fotovoltaico, se pueden producir corrientes inversas en las ramas o módulos en paralelo en los cuales disminuya su tensión de circuito abierto con respecto a la del generador. Por lo cual, es preciso disponer de un dispositivo de protección contra sobreintensidades.

Como la caja de conexiones del generador fotovoltaico tiene fácil acceso para mantenimiento, se seleccionaron fusibles en bases portafusibles seleccionables. En la Figura 35, se representa el acoplamiento de los fusibles en la caja de conexiones del generador fotovoltaico (en color amarillo).

- **Fusibles.** Se dimensionan para actuar entre 1.5 y 2 veces la corriente de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) en condiciones estándar (STC). Deben ser específicos para la protección de semiconductores. Asimismo, si la tensión del generador fotovoltaico es elevada, se ha de comprobar que la tensión asignada al fusible soporta por lo menos 1.2 veces la tensión del circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$) en condiciones estándar (STC).

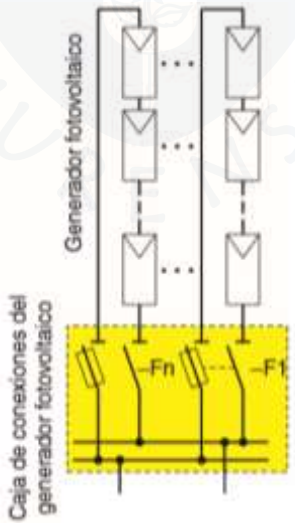


Figura 35. Elementos de protección de las ramas en paralelo del generador fotovoltaico.
Fuente: Bibliografía [1].

[12] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía. Página 153.

3.5.6.2. Protección del generador fotovoltaico[13]

Además de las protecciones mencionadas, las ramas en paralelo del generador y este mismo requiere de un dispositivo de maniobra que permita su desconexión del resto de la instalación. En este caso, se optó por un interruptor general para desconectar el generador fotovoltaico del resto de componentes.

- **Interruptor general del generador.** Se dimensiona para soportar la corriente de cortocircuito del generador ($I_{G\,sc}$) y la tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\,oc}$), ambas en condiciones estándar (STC). Este se sitúa junto al regulador de carga para permitir la desconexión del generador. En la Figura 36, se esquematiza este interruptor (en color naranja), ubicado entre el generador y el regulador de carga.

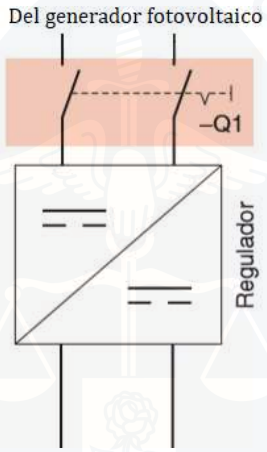


Figura 36. Elemento de protección del generador fotovoltaico.
Fuente: Bibliografía [1].

3.5.6.3. Protección de las baterías de acumuladores[14]

En el circuito de la batería de acumuladores al regulador, sí pueden aparecer corrientes muy elevadas en caso de cortocircuito debido a que los conductores de conexión son muy cortos y de mucha sección, sumado a que la batería de acumuladores tiene una resistencia interna baja. De manera que, la corriente de cortocircuito solo está limitada por la suma de estas resistencias de valor muy bajo.

Se han escogido interruptores automáticos específicos para corriente continua para la protección contra cortocircuitos.

[13] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía. Página 153.
[14] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía. Página 154.

• **Interruptor automático.** Se dimensionan para actuar entre 1.5 y 2 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico ($I_{G\,sc}$) en condiciones estándar (STC). Asimismo, su tensión nominal debe ser como mínimo 1.2 veces la tensión del circuito abierto del generador ($V_{G\,oc}$) en condiciones estándar (STC). En la Figura 37, se esquematiza este interruptor (en color verde), ubicado entre el regulador y las baterías de acumuladores.

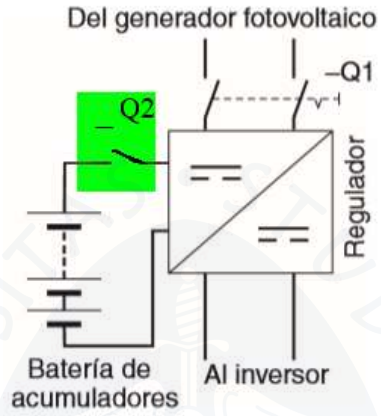


Figura 37. Elemento de protección de las baterías de acumuladores.
Fuente: Bibliografía [1] - Elaboración propia.

3.5.6.4. Protección del inversor solar y los circuitos de utilización[15]

Los circuitos de corriente alternan precisan protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos mediante interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares, y contra contactos directos e indirectos mediante interruptores diferenciales bipolares (de la mayor sensibilidad posible). La corriente y la tensión de servicio de estos dispositivos se determinan en función de la potencia y tensiones nominales del inversor.

• **Interruptor automático bipolar e interruptor diferencial bipolar.** Ambos interruptores se dimensionan para cumplir las características de salida del inversor solar. Su intensidad nominal debe ser como mínimo la corriente de salida del inversor ($I_{inv\,ca}$) y su tensión nominal es la tensión del circuito de utilización ($V_{n\,ca} = 220\ V$). En la Figura 38, se esquematizan estos interruptores (en color lila), ubicado entre el inversor y el circuito de utilización.

[15] Este apartado ha sido realizado con la referencia bibliográfica [1] como guía. Página 155.

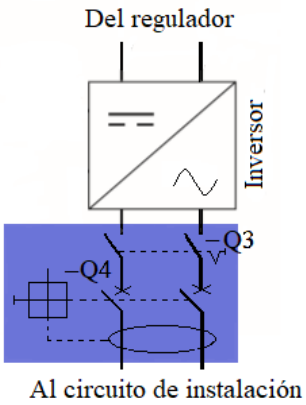


Figura 38. Elementos de protección del inversor solar y del circuito de utilización.
Fuente: Bibliografía [1] - Elaboración propia.

3.5.7. Estructuras de soporte

La estructura de soporte sobre la cual se monta el conjunto de módulos fotovoltaicos que conforman el generador cumple la función de proporcionarle la consistencia mecánica adecuada además de un buen sistema de anclaje.

Puesto que el generador fotovoltaico se instala en el techo del edificio IME, el tipo de estructura de soporte es sobre tejado o cubierta.

Se han seleccionado las estructuras de soporte coplanarias *Saclima Solar Fotovoltaica*, en la cual la inclinación de los módulos será igual a la inclinación sobre la cual que se instale la estructura, lo cual permite que su impacto visual sea mínimo; y, además, el montaje de este tipo de estructura es relativamente más sencillo. En la Figura 39, se muestra un esquema de la instalación en un techo similar, que consta de los módulos fotovoltaicos montados sobre dos perfiles de aluminio.

Figura 39. Estructura de soporte coplanaria.
Fuente: Guía de montaje de estructuras (catálogo monsolar).

Capítulo 4
Resultados

Dados los fundamentos básicos de la radiación solar y de los distintos sistemas fotovoltaicos que aprovechan dicha radiación para la generación de energía eléctrica, es preciso ayudarse de los resultados del diseño teórico de esta instalación fotovoltaica autónoma con el fin de conocer su efectividad y factibilidad para posteriormente dar paso a una aplicación práctica.

En el presente capítulo se presentan los resultados teóricos obtenidos del diseño de la instalación fotovoltaica del capítulo anterior, además de algunas consideraciones importantes a tomar en cuenta para comprender más a fondo el diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos.

4.1. Descripción del sistema

La instalación fotovoltaica autónoma diseñada para suministrar energía eléctrica al edificio IME está conformada por 5 subconjuntos que alimentan a distintos grupos de luminarias y/o tomacorrientes. Cada uno de estos subconjuntos consta de sus respectivos generadores fotovoltaicos (conformado por un número específico de módulos solares), sistemas de acumulación, reguladores solares de carga, inversores solares y aparatos de maniobra y protección para dichos elementos.

Los módulos solares de los generadores fotovoltaicos van colocados en el techo del edificio IME que posee una inclinación de 20°, y está orientado hacia el oeste. Estos módulos son fijados al techo por medio de estructuras de soporte coplanares. El siguiente subsistema es el de acumulación, compuesto por un conjunto de vasos estacionarios de 2V que llegan a pesar hasta 250 kg dependiendo de su capacidad. Por consiguiente, es preciso que sean ubicados en tierra.

El regulador solar de carga es el nexo entre el generador solar y las baterías de acumuladores, que dependiendo de la intensidad nominal de diseño pueden ir conectados dos o más en paralelo. Este conjunto de reguladores va ubicado en tierra junto con las baterías y los demás componentes del sistema.

Finalmente, el inversor solar encargado de convertir la corriente continua del generador en corriente alterna, va situado entre el regulador de carga y el circuito de utilización. Dependiendo de la potencia nominal de diseño del inversor, pueden ir conectados dos o más inversores en paralelo.

4.2. Datos de partida de oferta energética

Conocida la demanda energética la cual ha sido dividida en los 5 subconjuntos ya mencionados, se debe conocer además la cantidad de radiación solar que cae sobre el techo inclinado del edificio.

Para la determinación de la radiación solar que cae sobre el techo inclinado, que está compuesta de radiación solar directa, difusa y reflejada (o de albedo) se parte de la radiación global horizontal diaria del peor mes que es julio, $4770\,Wh/m^2$. Por lo que los cálculos realizados tienen sus bases en dicho periodo de diseño. Ver Tabla 47.

Tabla 47. Datos de partida de oferta energética.

Latitud (ϕ)	-5.1762 °S
Longitud	-80.6341 °E
Inclinación (β)	20 °
Irradiación global horizontal diaria ($G_{d,m\,(0)}$)	4770 Wh/m^2
Declinación solar (δ)	21.52 °
Ángulo de salida del sol (ω_s)	-87.95 °
Ángulo de salida del sol sobre un plano inclinado (ω_{ss})	-87.95 °
Factor de excentricidad (ε)	0.97
Radiación solar directa sobre un plano horizontal ($B_{d,m\,(0)}$)	8825.72 Wh/m^2
Índice de claridad (k_{TM})	0.54
Fracción difusa de la radiación horizontal (F_{DM})	0.39
Radiación difusa horizontal ($D_{d,m\,(0)}$)	1860 Wh/m^2
Factor de corrección (k)	1.19
Radiación solar directa sobre un plano inclinado ($B_{(\beta,\alpha)}$)	3462.54 Wh/m^2
Radiación solar difusa sobre un plano inclinado ($D_{(\beta,\alpha)}$)	1804.21 Wh/m^2
Radiación de albedo sobre un plano inclinado ($R_{(\beta,\alpha)}$)	28.77 Wh/m^2
Irradiación global solar sobre un plano inclinado ($G_{(\beta,\alpha)}$)	$\mathbf{5295.52}$ **Wh/m^2**

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Consideraciones para el diseño

Existen consideraciones adicionales que no son mencionadas en el diseño de la instalación fotovoltaica y algunas otras que sí son incluidas, pero es necesario ahondar en ellas para comprender mejor el criterio usado en el dimensionamiento.

4.3.1. Orientación de los módulos solares

El rendimiento de un módulo fotovoltaico es proporcional a la cantidad de radiación que recibe, la cual puede verse incrementada usando varios modos de orientación y/o de seguimiento.

La orientación de un módulo o generador fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, que son:

- Ángulo de acimut (α): ángulo que forma la proyección, sobre el plano horizontal, de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección sur. Este vale 0° si coincide con la orientación sur; es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este.

• Ángulo de inclinación (β): ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal. Su valor es 0° si el módulo se coloca horizontal y 90° si se coloca vertical.

Puesto que la posición del sol varía a lo largo del día, la posición óptima de la superficie del generador también tendrá que ser variable. No obstante, lo habitual es que la superficie del generador sea de orientación fija. La orientación óptima será un valor constante, con una inclinación (β) que va a depender de la latitud (ϕ) del lugar, y un acimut (α) que depende del hemisferio en el que está situado el generador.

La Figura 40, muestra una superficie situada en el hemisferio sur (al que pertenece la ciudad de Piura); que independientemente de la trayectoria del sol, si pretendemos maximizar la captación de energía solar, la superficie tendrá que estar orientada hacia el norte y un acimut (α) nulo.

En aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar a lo largo del año, el ángulo de inclinación óptimo se determina de la siguiente forma.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \cdot |\phi| \qquad (4.1)$$

Dada la latitud (ϕ) de -5.1762 ° del edificio IME, se obtiene como resultado un β_{opt} de 7.2716 ° que se puede aproximar a un valor de 10°.

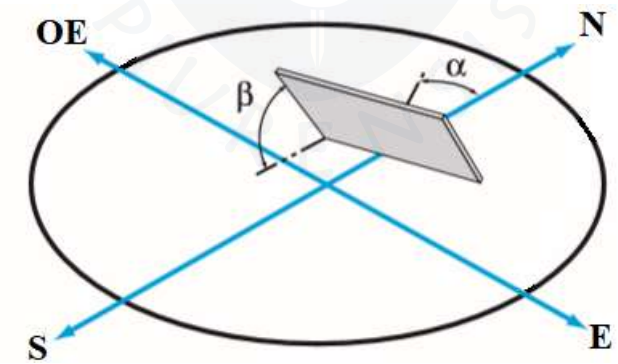


Figura 40. Orientación de una superficie en el hemisferio sur.
Fuente: Bibliografía [1] - Elaboración propia.

Para esta aplicación, las superficies de los generadores fotovoltaicos están dispuestos de manera coplanar en el techo del edificio IME, que posee una inclinación de 20° ($\beta = 20°$) y está orientado hacia el oeste, es decir, con un ángulo de acimut de 90° ($\alpha = 90°$). Las principales razones por las cuales no se ha propuesto colocarlos de manera óptima, orientados hacia el norte ($\alpha = 0°$) y con una inclinación óptima de 10°, fue para mantener un impacto visual mínimo y evitar que se hagan sombras entre ellos, lo cual precisamente se soluciona incrementando el espacio entre módulos, sin embargo, se busca aprovechar la superficie del techo al máximo, pues de por sí ya existen sombras causadas por algunos árboles y antenas que rodean al edificio, sumado a esto, también es necesario que exista un espacio adicional para que se pueda efectuar el mantenimiento a estos módulos.

4.3.2. Sombras

La circuitería de un módulo consiste en células solares que están conectadas en serie. Por tanto, si una célula es sombreada, esta opera como un diodo en polarización inversa, disminuyendo el voltaje de su circuito y potencialmente haciendo que el punto de máxima potencia del módulo sea difícil de alcanzar. Así, el sombreado puede disminuir la potencia de salida de un módulo en mucha mayor proporción que el área que es sombreada – más de 30 veces en ciertos escenarios.[16]

Por tanto, debe procurarse que las sombras de árboles, antenas u otros elementos no alcancen en lo más mínimo a los módulos fotovoltaicos, de otro modo, afectará su desempeño en el transcurso del día. Esto es muy posible de evitarse desde que el área de la superficie del techo del Edificio es muy grande, por ende, colocar los módulos solares de los distintos generadores en zonas que no sean alcanzadas por sombras es factible.

4.3.3. Tensión nominal del sistema de acumulación

La tensión nominal del circuito de utilización viene fijada por los receptores que se quiere alimentar. En aquellos casos en los que se tenga que elegir una tensión nominal para el sistema de acumulación, con el fin de conseguir valores de intensidad razonables, ver la Tabla 48.

[16] Fuente bibliográfica [2]. Página 527.

Tabla 48. Tensión nominal del sistema en función de la potencia.

Potencia	Tensión nominal
$P \leq 800\ W$	12 V
$800 < P \leq 1600\ W$	24 V
$1600 < P \leq 3200\ W$	48 V
$P > 3200\ W$	120 o 300 V

Fuente: Bibliografía [1]. Página 132.

La tensión nominal elegida para el diseño es de 48 V, que no cumple el requisito establecido de la potencia, pues en cada subconjunto la demanda máxima supera con creces los 3200 W. La razón principal por la cual no se escogió una tensión de sistema de acumulación mayor, es que esta, que es la tensión base tomada para las tensiones nominales de componentes como el regulador de carga, inversor y aparatos de maniobra y protección, está disponible como máximo en 48 V.

4.3.4. Número de días de autonomía

El número de días de autonomía depende del lugar y el tipo de instalación. En lugares con largos periodos de baja insolación, con predominio de días nublados, hay que fijar más días de autonomía que en lugares donde predominan los días soleados. Además, aquellos sistemas que requieran alta fiabilidad tendrán que estar proyectados para más días de autonomía que los sistemas encontrados en aplicaciones domésticas.

Para este caso de estudio en todos los subconjuntos, independientemente de la fiabilidad de sus receptores, se ha fijado en 3 el número de días de autonomía.

De incrementarse el número de días de autonomía, por ejemplo a 4, entonces la capacidad del sistema de acumulación no cumpliría la condición 3.24. Una alternativa de solución sería sobredimensionar ligeramente el generador para incrementar la corriente de cortocircuito, y considerando la condición 3.16. Pero aun así, el sistema de acumulación estaría dimensionado en exceso. Sin mencionar que mientras mayor sea el número de días de autonomía, mayor será la capacidad del sistema de acumulación y por ende mayor la cantidad de baterías en paralelo necesarias.

4.4. Resultados

Se muestran los resultados del dimensionamiento de los componentes para cada subconjunto de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

4.4.1. Subconjunto I

4.4.1.1. Generador fotovoltaico (I)

En la Tabla 49, se muestran los resultados del diseño del generador fotovoltaico del Subconjunto I de la instalación.

Tabla 49. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto I.

Potencia mínima del generador ($P_{G\ mín}$)	14 498.74 W
Potencia máxima del generador ($P_{G\ máx}$)	14 520 W
Número de módulos en serie (N_S)	2
Número de módulos en paralelo (N_P)	22
Número total de módulos solares (N_T)	44
Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$)	93.8 V
Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\ sc}$)	201.08 A
Tensión máxima del generador ($V_{G\ mpp}$)	75.6 V
Intensidad máxima del generador ($I_{G\ mpp}$)	192.28 A

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.2. Sistema de acumulación (I)

En la Tabla 50, se muestran los resultados del diseño del sistema de acumulación del Subconjunto I de la instalación.

Tabla 50. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto I.

Consumo medio diario (Q_d)	959.73 Ah
Capacidad total del sistema de acumulación con tiempo de descarga de 20 h ($C_n = C_{20}$)	4810.68 Ah
Batería o vaso estacionario BAE de 2V	15 PVV 2850 ($C_{20} = 2420$ Ah)
Número de agrupamientos en paralelo	2
Número de vasos estacionarios por agrupamiento	24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.3. Regulador de carga (I)

En la Tabla 51, se muestran los resultados del diseño del regulador de carga del Subconjunto I de la instalación.

Tabla 51. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto I.

Tensión nominal del regulador (V_R)	48 V
Intensidad nominal del regulador (I_R)	251.35 A
Modelo del regulador Steca	Power Tarom 4140
Número exacto de reguladores conectados en paralelo (N_{R*})	2
Corriente de entrada del conjunto de reguladores ($I_{cc,CR}$)	280 A
Potencia del conjunto de reguladores (P_{CR})	26 264 Wp

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.4. Inversor solar (I)

En la Tabla 52, se muestran los resultados del diseño del inversor solar del Subconjunto I de la instalación.

Tabla 52. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto I.

Tensión nominal de entrada (V_{inv})	48 V
Potencia nominal del inversor (P_{inv})	14 569.96 W
Modelo de inversor Victron	Phoenix 48/5000
Número exacto de inversores conectados en paralelo (N_{inv*})	4
Corriente de entrada del inversor ($I_{inv\ cc}$)	324.56 A
Corriente de salida del inversor ($I_{inv\ ca}$)	67.27 A
Potencia del conjunto de inversores a 40°C ($P_{c,inv@40°C}$)	14 800 W

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.5. Conductores del sistema fotovoltaico (I)

Se muestran los resultados parciales del cálculo de conductores que llevan al resultado final de la sección del conductor para cada tramo de línea, ver Tabla 53.

Tabla 53. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto I.

Tramo de línea 1	Corriente (I_1)	11.43 A
	Longitud (l_1)	2 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo1})	0.428 %
Tramo de línea 2	Corriente (I_2)	251.35 A
	Longitud (l_2)	4 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo2})	0.856 %
Tramo de línea 3	Corriente (I_3)	251.35 A
	Longitud (l_3)	1 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo3})	1.29 %
Tramo de línea 4	Corriente (I_4)	405.7 A
	Longitud (l_4)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo4})	0.107 %
Tramo de línea 5	Corriente (I_5)	84.09 A
	Longitud (l_5)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo5})	0.107 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 54, se muestra la sección de conductores INDECO a utilizar en cada tramo de línea en el subconjunto I de la instalación, calculada por caída de tensión.

Tabla 54. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto I.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión	Calibre comercial de conductor THW-90 (mm^2)
S_1	4.89 mm^2	5.3 mm^2
S_2	107.58 mm^2	126.7 mm^2
S_3	17.85 mm^2	21.1 mm^2
S_4	173.65 mm^2	177.5 mm^2
S_5	7.85 mm^2	8.4 mm^2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.6. Aparatos de maniobra y de protección (I)

En la Tabla 55, se muestran los resultados del diseño de los aparatos de maniobra y protección del Subconjunto I de la instalación

Tabla 55. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto I.

Protección de los módulos del generador (I)	Corriente del fusible (I_F)	$13.71\ A \leq I_F \leq 18.28\ A$
	Tensión del fusible (V_F)	$V_F \geq 112.56\ V$
	Modelo de fusible de cartucho	Cilíndrico Tipo gG de 16 A y de 10×38 mm
	Número de fusibles de cartucho	22
Protección del generador (I)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 201.08\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 93.8\ V$
	Modelo de interruptor Schneider Electric	Bloque de corte Compact NSX250F DC – 250A – 3P
Protección de las baterías de acumuladores (I)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$301.62\ A \leq I_n \leq 402.16\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 112.56\ V$
	Modelo del interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX320F DC – 320A – 3P
Protección del inversor (I)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 67.27\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n = 220\ V$
	Modelo de interruptor diferencial bipolar Schneider Electric	Acti9 ilD – 2P – 80A – 30 mA
	Modelo de interruptor automático bipolar Schneider Electric	Acti9 NG125 – 2P – 80A – Curva C

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41, se muestra el esquema unifilar del subconjunto I de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

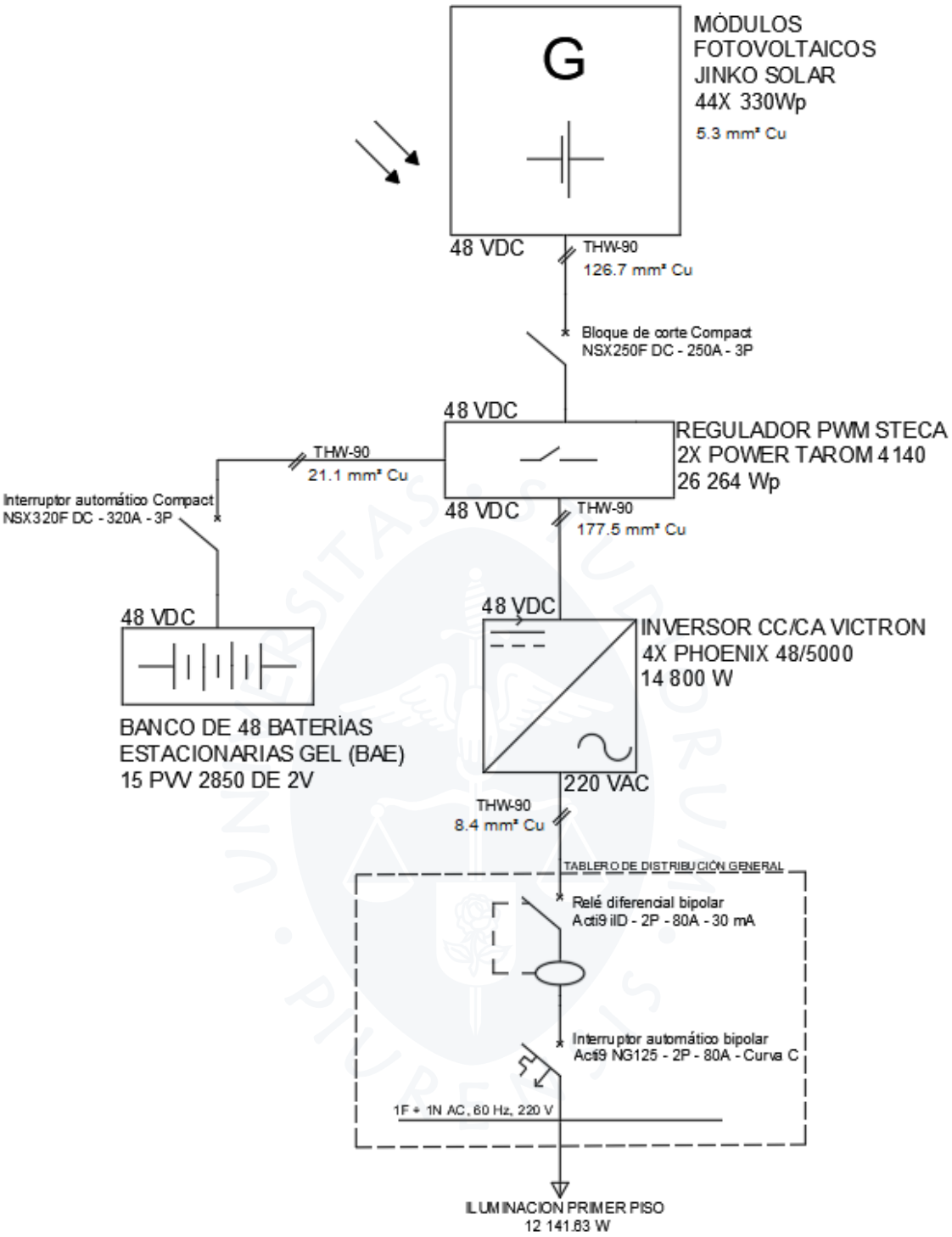


Figura 41. Esquema unifilar del subconjunto I.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Subconjunto II

4.4.2.1. Generador fotovoltaico (II)

En la Tabla 56, se muestran los resultados del diseño del generador fotovoltaico del Subconjunto II de la instalación.

Tabla 56. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto II.

Potencia mínima del generador ($P_{G\ mín}$)	17 387.74 W
Potencia máxima del generador ($P_{G\ máx}$)	17 820 W
Número de módulos en serie (N_S)	2
Número de módulos en paralelo (N_P)	27
Número total de módulos solares (N_T)	54
Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$)	93.8 V
Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\ sc}$)	246.78 A
Tensión máxima del generador ($V_{G\ mpp}$)	75.6 V
Intensidad máxima del generador ($I_{G\ mpp}$)	235.98 A

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2. Sistema de acumulación (II)

En la Tabla 57, se muestran los resultados del diseño del sistema de acumulación del Subconjunto II de la instalación.

Tabla 57. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto II.

Consumo medio diario (Q_d)	1150.96 Ah
Capacidad total del sistema de acumulación con tiempo de descarga de 20 h ($C_n = C_{20}$)	5769.22 Ah
Batería o vaso estacionario BAE de 2V	20 PVV 3800 ($C_{20} = 3220$ Ah)
Número de agrupamientos en paralelo	2
Número de vasos estacionarios por agrupamiento	24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3. Regulador de carga (II)

En la Tabla 58, se muestran los resultados del diseño del regulador de carga del Subconjunto II de la instalación.

Tabla 58. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto II.

Tensión nominal del regulador (V_R)	48 V
Intensidad nominal del regulador (I_R)	308.48 A
Modelo del regulador Steca	Power Tarom 4110
Número exacto de reguladores conectados en paralelo (N_{R*})	3
Corriente de entrada del conjunto de reguladores ($I_{cc,CR}$)	330 A
Potencia del conjunto de reguladores (P_{CR})	30 954 Wp

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.4. Inversor solar (II)

En la Tabla 59, se muestran los resultados del diseño del inversor solar del Subconjunto II de la instalación.

Tabla 59. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto II.

Tensión nominal de entrada (V_{inv})	48 V
Potencia nominal del inversor (P_{inv})	17 161.15 W
Modelo de inversor Victron	Phoenix 48/5000
Número exacto de inversores conectados en paralelo (N_{inv*})	5
Corriente de entrada del inversor ($I_{inv\ cc}$)	405.7 A
Corriente de salida del inversor ($I_{inv\ ca}$)	84.09 A
Potencia del conjunto de inversores a 40°C ($P_{c,inv@40°C}$)	18 500 W

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.5. Conductores del sistema fotovoltaico (II)

Se muestran los resultados parciales del cálculo de conductores que llevan al resultado final de la sección del conductor para cada tramo de línea, ver Tabla 60.

Tabla 60. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto II.

Tramo de línea 1	Corriente (I_1)	11.43 A
	Longitud (l_1)	2 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo1})	0.428 %
Tramo de línea 2	Corriente (I_2)	308.48 A
	Longitud (l_2)	4 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo2})	0.856 %
Tramo de línea 3	Corriente (I_3)	308.48 A
	Longitud (l_3)	1 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo3})	1.29 %
Tramo de línea 4	Corriente (I_4)	507.13 A
	Longitud (l_4)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo4})	0.107 %
Tramo de línea 5	Corriente (I_5)	105.11 A
	Longitud (l_5)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo5})	0.107 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 61, se muestra la sección de conductores INDECO a utilizar en cada tramo de línea en el subconjunto II de la instalación, calculada por caída de tensión.

Tabla 61. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto II.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión	Calibre comercial de conductor THW-90 (mm^2)
S_1	4.89 mm^2	5.3 mm^2
S_2	132.03 mm^2	151.9 mm^2
S_3	21.9 mm^2	33.6 mm^2
S_4	217.06 mm^2	253.1 mm^2
S_5	9.82 mm^2	13.3 mm^2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.6. Aparatos de maniobra y de protección (II)

En la Tabla 62, se muestran los resultados del diseño de los aparatos de maniobra y protección del Subconjunto II de la instalación.

Tabla 62. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto II.

Protección de los módulos del generador (II)	Corriente del fusible (I_F)	$13.71\ A \leq I_F \leq 18.28\ A$
	Tensión del fusible (V_F)	$V_F \geq 112.56\ V$
	Modelo de fusible de cartucho	Cilíndrico Tipo gG de 16 A y de 10×38 mm
	Número de fusibles de cartucho	27
Protección del generador (II)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 246.78\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 93.8\ V$
	Modelo de interruptor Schneider Electric	Bloque de corte Compact NSX250F DC – 250A – 3P
Protección de las baterías de acumuladores (II)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$370.17\ A \leq I_n \leq 493.56\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 112.56\ V$
	Modelo del interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX400F DC – 400A – 3P
Protección del inversor (II)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 84.09\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n = 220\ V$
	Modelo de interruptor diferencial bipolar General Electric	FP2100/030 – 2P – 100A – 30 mA
	Modelo de interruptor automático bipolar Schneider Electric	Acti9 C120 – 2P – 100A – Curva D

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42, se muestra el esquema unifilar del subconjunto II de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

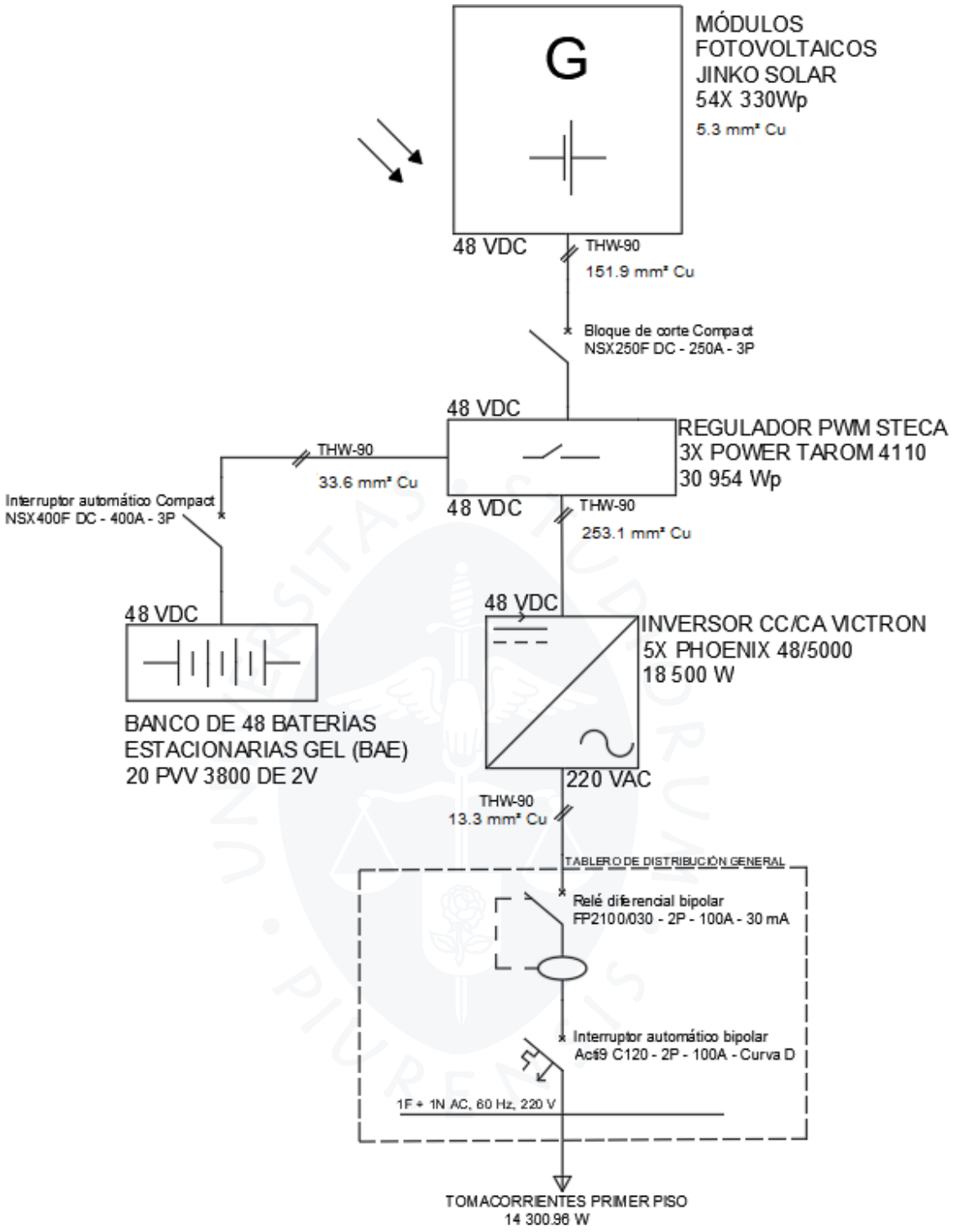


Figura 42. Esquema unifilar del subconjunto II.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Subconjunto III

4.4.3.1. Generador fotovoltaico (III)

En la Tabla 63, se muestran los resultados del diseño del generador fotovoltaico del Subconjunto III de la instalación.

Tabla 63. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto III.

Potencia mínima del generador ($P_{G\ mín}$)	10 813.1 W
Potencia máxima del generador ($P_{G\ máx}$)	11 220 W
Número de módulos en serie (N_S)	2
Número de módulos en paralelo (N_P)	17
Número total de módulos solares (N_T)	34
Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$)	93.8 V
Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\ sc}$)	155.38 A
Tensión máxima del generador ($V_{G\ mpp}$)	75.6 V
Intensidad máxima del generador ($I_{G\ mpp}$)	148.58 A

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.2. Sistema de acumulación (III)

En la Tabla 64, se muestran los resultados del diseño del sistema de acumulación del Subconjunto III de la instalación.

Tabla 64. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto III.

Consumo medio diario (Q_d)	715.76 Ah
Capacidad total del sistema de acumulación con tiempo de descarga de 20 h ($C_n = C_{20}$)	3587.77 Ah
Batería o vaso estacionario BAE de 2V	22 PVV 4180 ($C_{20} = 3600$ Ah)
Número de agrupamientos en paralelo	1
Número de vasos estacionarios por agrupamiento	24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.3. Regulador de carga (III)

En la Tabla 65, se muestran los resultados del diseño del regulador de carga del Subconjunto III de la instalación.

Tabla 65. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto III.

Tensión nominal del regulador (V_R)	48 V
Intensidad nominal del regulador (I_R)	194.23 A
Modelo del regulador Steca	Power Tarom 4110
Número exacto de reguladores conectados en paralelo (N_{R*})	2
Corriente de entrada del conjunto de reguladores ($I_{cc,CR}$)	220 A
Potencia del conjunto de reguladores (P_{CR})	20 636 Wp

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.4. Inversor solar (III)

En la Tabla 66, se muestran los resultados del diseño del inversor solar del Subconjunto III de la instalación.

Tabla 66. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto III.

Tensión nominal de entrada (V_{inv})	48 V
Potencia nominal del inversor (P_{inv})	9969.12 W
Modelo de inversor Victron	Phoenix 48/5000
Número exacto de inversores conectados en paralelo (N_{inv*})	3
Corriente de entrada del inversor ($I_{inv\ cc}$)	243.42 A
Corriente de salida del inversor ($I_{inv\ ca}$)	50.45 A
Potencia del conjunto de inversores a 40°C ($P_{c,inv@40°C}$)	11 100 W

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.5. Conductores del sistema fotovoltaico (III)

Se muestran los resultados parciales del cálculo de conductores que llevan al resultado final de la sección del conductor para cada tramo de línea, ver Tabla 67.

Tabla 67. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto III.

Tramo de línea 1	Corriente (I_1)	11.43 A
	Longitud (l_1)	2 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo1})	0.428 %
Tramo de línea 2	Corriente (I_2)	194.23 A
	Longitud (l_2)	4 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo2})	0.856 %
Tramo de línea 3	Corriente (I_3)	194.23 A
	Longitud (l_3)	1 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo3})	1.29 %
Tramo de línea 4	Corriente (I_4)	304.28 A
	Longitud (l_4)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo4})	0.107 %
Tramo de línea 5	Corriente (I_5)	63.06 A
	Longitud (l_5)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo5})	0.107 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 68, se muestra la sección de conductores INDECO a utilizar en cada tramo de línea en el subconjunto III de la instalación, calculada por caída de tensión.

Tabla 68. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto III.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión	Calibre comercial de conductor THW-90 (mm^2)
S_1	4.89 mm^2	5.3 mm^2
S_2	83.13 mm^2	85.1 mm^2
S_3	13.79 mm^2	21.1 mm^2
S_4	130.24 mm^2	151.9 mm^2
S_5	5.89 mm^2	8.4 mm^2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.6. Aparatos de maniobra y de protección (III)

En la Tabla 69, se muestran los resultados del diseño de los aparatos de maniobra y protección del Subconjunto III de la instalación.

Tabla 69. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto III.

Protección de los módulos del generador (III)	Corriente del fusible (I_F)	$13.71\ A \leq I_F \leq 18.28\ A$
	Tensión del fusible (V_F)	$V_F \geq 112.56\ V$
	Modelo de fusible de cartucho	Cilíndrico Tipo gG de 16 A y de 10×38 mm
	Número de fusibles de cartucho	17
Protección del generador (III)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 155.38\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 93.8\ V$
	Modelo de interruptor Schneider Electric	Bloque de corte Compact NSX160F DC – 160A – 3P
Protección de las baterías de acumuladores (III)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$233.07\ A \leq I_n \leq 310.76\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 112.56\ V$
	Modelo del interruptor Schneider Electric	Bloque de corte Compact NSX250F DC – 250 A – 3P
Protección del inversor (III)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 50.45\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n = 220\ V$
	Modelo de interruptor diferencial bipolar Schneider Electric	Acti 9 ilD – 2P – 63A – 30 mA
	Modelo de interruptor automático bipolar Schneider Electric	Acti9 NG125 – 2P – 63A – Curva C

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43, se muestra el esquema unifilar del subconjunto III de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

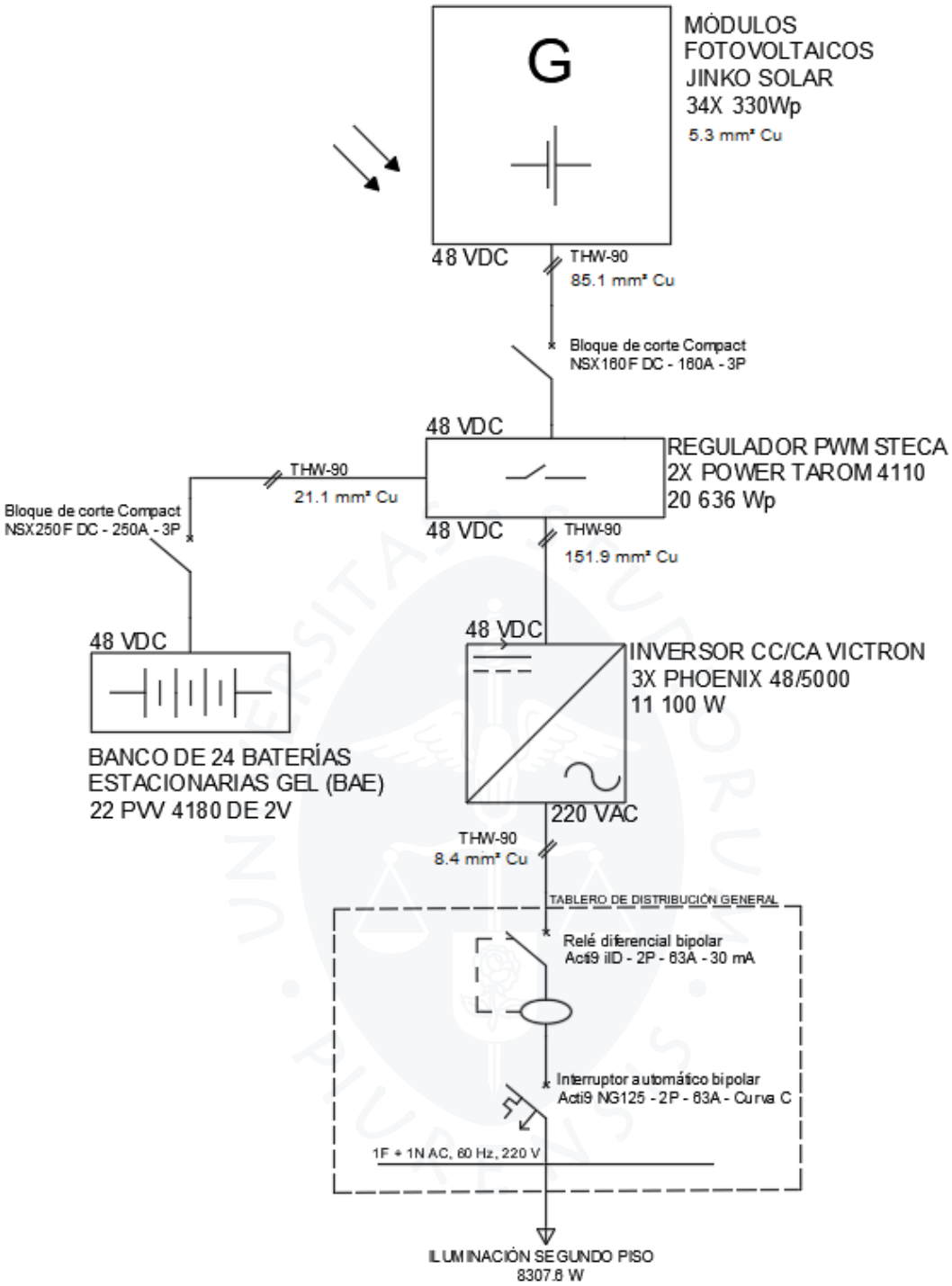


Figura 43. Esquema unifilar del subconjunto III.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Subconjunto IV

4.4.4.1. Generador fotovoltaico (IV)

En la Tabla 70, se muestran los resultados del diseño del generador fotovoltaico del Subconjunto IV de la instalación.

Tabla 70. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto IV.

Potencia mínima del generador ($P_{G\ mín}$)	18 618.03 W
Potencia máxima del generador ($P_{G\ máx}$)	19 140 W
Número de módulos en serie (N_S)	2
Número de módulos en paralelo (N_P)	29
Número total de módulos solares (N_T)	58
Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$)	93.8 V
Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\ sc}$)	265.06 A
Tensión máxima del generador ($V_{G\ mpp}$)	75.6 V
Intensidad máxima del generador ($I_{G\ mpp}$)	253.46 A

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.2. Sistema de acumulación (IV)

En la Tabla 71, se muestran los resultados del diseño del sistema de acumulación del Subconjunto IV de la instalación.

Tabla 71. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto IV.

Consumo medio diario (Q_d)	1232.4 Ah
Capacidad total del sistema de acumulación con tiempo de descarga de 20 h ($C_n = C_{20}$)	6177.44 Ah
Batería o vaso estacionario BAE de 2V	20 PVV 3800 ($C_{20} = 3220$ Ah)
Número de agrupamientos en paralelo	2
Número de vasos estacionarios por agrupamiento	24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.3. Regulador de carga (IV)

En la Tabla 72, se muestran los resultados del diseño del regulador de carga del Subconjunto IV de la instalación.

Tabla 72. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto IV.

Tensión nominal del regulador (V_R)	48 V
Intensidad nominal del regulador (I_R)	331.23 A
Modelo del regulador Steca	Power Tarom 4140
Número exacto de reguladores conectados en paralelo (N_{R*})	3
Corriente de entrada del conjunto de reguladores ($I_{cc,CR}$)	420 A
Potencia del conjunto de reguladores (P_{CR})	39 396 Wp

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.4. Inversor solar (IV)

En la Tabla 73, se muestran los resultados del diseño del inversor solar del Subconjunto IV de la instalación.

Tabla 73. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto IV.

Tensión nominal de entrada (V_{inv})	48 V
Potencia nominal del inversor (P_{inv})	6656.81 W
Modelo de inversor Victron	Phoenix 48/5000
Número exacto de inversores conectados en paralelo (N_{inv*})	2
Corriente de entrada del inversor ($I_{inv\ cc}$)	162.28 A
Corriente de salida del inversor ($I_{inv\ ca}$)	33.64 A
Potencia del conjunto de inversores a 40°C ($P_{c,inv@40°C}$)	7400 W

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.5. Conductores del sistema fotovoltaico (IV)

Se muestran los resultados parciales del cálculo de conductores que llevan al resultado final de la sección del conductor para cada tramo de línea, ver Tabla 74.

Tabla 74. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto IV.

Tramo de línea 1	Corriente (I_1)	11.43 A
	Longitud (l_1)	2 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo1})	0.428 %
Tramo de línea 2	Corriente (I_2)	331.33 A
	Longitud (l_2)	4 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo2})	0.856 %
Tramo de línea 3	Corriente (I_3)	331.33 A
	Longitud (l_3)	1 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo3})	1.29 %
Tramo de línea 4	Corriente (I_4)	202.85 A
	Longitud (l_4)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo4})	0.107 %
Tramo de línea 5	Corriente (I_5)	42.05 A
	Longitud (l_5)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo5})	0.107 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 75, se muestra la sección de conductores INDECO a utilizar en cada tramo de línea en el subconjunto IV de la instalación, calculada por caída de tensión.

Tabla 75. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto IV.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión	Calibre comercial de conductor THW-90 (mm^2)
S_1	4.89 mm^2	5.3 mm^2
S_2	141.81 mm^2	151.9 mm^2
S_3	23.53 mm^2	33.6 mm^2
S_4	86.82 mm^2	107.2 mm^2
S_5	3.93 mm^2	5.3 mm^2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.6. Aparatos de maniobra y de protección (IV)

En la Tabla 76, se muestran los resultados del diseño de los aparatos de maniobra y protección del Subconjunto IV de la instalación.

Tabla 76. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto IV.

Protección de los módulos del generador (IV)	Corriente del fusible (I_F)	$13.71\ A \leq I_F \leq 18.28\ A$
	Tensión del fusible (V_F)	$V_F \geq 112.56\ V$
	Modelo de fusible de cartucho	Cilíndrico Tipo gG de 16 A y de 10×38 mm
	Número de fusibles de cartucho	29
Protección del generador (IV)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 265.06\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 93.8\ V$
	Modelo de interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX320F DC – 320A – 3P
Protección de las baterías de acumuladores (IV)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$397.59\ A \leq I_n \leq 530.12\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 112.56\ V$
	Modelo del interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX400F DC – 400A – 3P
Protección del inversor (IV)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 33.64\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n = 220\ V$
	Modelo de interruptor diferencial bipolar Schneider Electric	Acti9 ilD – 2P – 40A – 30 mA
	Modelo de interruptor automático bipolar Schneider Electric	Acti9 NG125 – 2P – 40A – Curva C

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44, se muestra el esquema unifilar del subconjunto IV de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

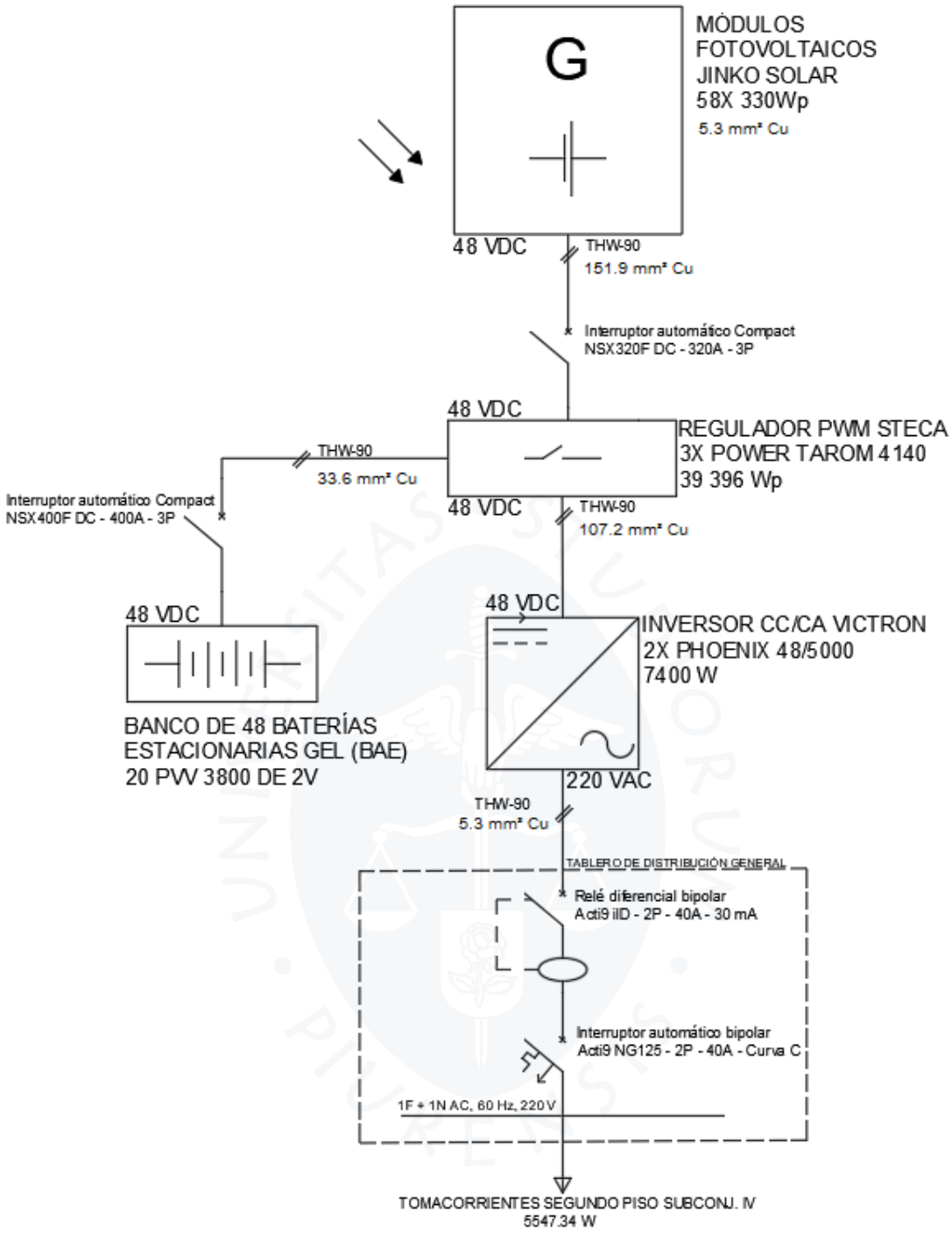


Figura 44. Esquema unifilar del subconjunto IV.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.5. Subconjunto V

4.4.5.1. Generador fotovoltaico (V)

En la Tabla 77, se muestran los resultados del diseño del generador fotovoltaico del Subconjunto V de la instalación.

Tabla 77. Resultados del diseño del generador fotovoltaico del subconjunto V.

Potencia mínima del generador ($P_{G\ mín}$)	19 024 W
Potencia máxima del generador ($P_{G\ máx}$)	19 140 W
Número de módulos en serie (N_S)	2
Número de módulos en paralelo (N_P)	29
Número total de módulos solares (N_T)	58
Tensión de circuito abierto del generador ($V_{G\ oc}$)	93.8 V
Intensidad de cortocircuito del generador ($I_{G\ sc}$)	265.06 A
Tensión máxima del generador ($V_{G\ mpp}$)	75.6 V
Intensidad máxima del generador ($I_{G\ mpp}$)	253.46 A

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.2. Sistema de acumulación (V)

En la Tabla 78, se muestran los resultados del diseño del sistema de acumulación del Subconjunto V de la instalación.

Tabla 78. Resultados del diseño del sistema de acumulación del subconjunto V.

Consumo medio diario (Q_d)	1259.27 Ah
Capacidad total del sistema de acumulación con tiempo de descarga de 20 h ($C_n = C_{20}$)	6312.13 Ah
Batería o vaso estacionario BAE de 2V	20 PVV 3800 ($C_{20} = 3220$ Ah)
Número de agrupamientos en paralelo	2
Número de vasos estacionarios por agrupamiento	24

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.3. Regulador de carga (V)

En la Tabla 79, se muestran los resultados del diseño del regulador de carga del Subconjunto V de la instalación.

Tabla 79. Resultados del diseño del regulador de carga del subconjunto V.

Tensión nominal del regulador (V_R)	48 V
Intensidad nominal del regulador (I_R)	331.23 A
Modelo del regulador Steca	Power Tarom 4140
Número exacto de reguladores conectados en paralelo (N_{R*})	3
Corriente de entrada del conjunto de reguladores ($I_{cc,CR}$)	420 A
Potencia del conjunto de reguladores (P_{CR})	39 396 Wp

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.4. Inversor solar (V)

En la Tabla 80, se muestran los resultados del diseño del inversor solar del Subconjunto V de la instalación.

Tabla 80. Resultados del diseño del inversor solar del subconjunto V.

Tensión nominal de entrada (V_{inv})	48 V
Potencia nominal del inversor (P_{inv})	12 903.7 W
Modelo de inversor Victron	Phoenix 48/5000
Número exacto de inversores conectados en paralelo (N_{inv*})	4
Corriente de entrada del inversor ($I_{inv\ cc}$)	324.56 A
Corriente de salida del inversor ($I_{inv\ ca}$)	67.27 A
Potencia del conjunto de inversores a 40°C ($P_{c,inv@40°C}$)	14 800 W

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.5. Conductores del sistema fotovoltaico (V)

Se muestran los resultados parciales del cálculo de conductores que llevan al resultado final de la sección del conductor para cada tramo de línea, ver Tabla 81.

Tabla 81. Parámetros de cada tramo de línea del subconjunto V.

Tramo de línea 1	Corriente (I_1)	11.43 A
	Longitud (l_1)	2 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo1})	0.428 %
Tramo de línea 2	Corriente (I_2)	331.33 A
	Longitud (l_2)	4 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo2})	0.856 %
Tramo de línea 3	Corriente (I_3)	331.33 A
	Longitud (l_3)	1 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo3})	1.29 %
Tramo de línea 4	Corriente (I_4)	405.7 A
	Longitud (l_4)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo4})	0.107 %
Tramo de línea 5	Corriente (I_5)	84.09 A
	Longitud (l_5)	0.5 m
	Reparto de caída de tensión (ΔV_{tramo5})	0.107 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 82, se muestra la sección de conductores INDECO a utilizar en cada tramo de línea en el subconjunto V de la instalación, calculada por caída de tensión.

Tabla 82. Resultados del dimensionamiento de conductores del subconjunto V.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión	Calibre comercial de conductor THW-90 (mm^2)
S_1	4.89 mm^2	5.3 mm^2
S_2	141.81 mm^2	151.9 mm^2
S_3	23.53 mm^2	33.6 mm^2
S_4	173.65 mm^2	177.5 mm^2
S_5	7.85 mm^2	8.4 mm^2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.6. Aparatos de maniobra y de protección (V)

En la Tabla 83, se muestran los resultados del diseño de los aparatos de maniobra y protección del Subconjunto V de la instalación.

Tabla 83. Resultados del dimensionamiento de aparatos de maniobra y protección del subconjunto V.

Protección de los módulos del generador (V)	Corriente del fusible (I_F)	$13.71\ A \leq I_F \leq 18.28\ A$
	Tensión del fusible (V_F)	$V_F \geq 112.56\ V$
	Modelo de fusible de cartucho	Cilíndrico Tipo gG de 16 A y de 10×38 mm
	Número de fusibles de cartucho	29
Protección del generador (V)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 265.06\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 93.8\ V$
	Modelo de interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX320F DC – 320A – 3P
Protección de las baterías de acumuladores (V)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$397.59\ A \leq I_n \leq 530.12\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n \geq 112.56\ V$
	Modelo del interruptor automático Schneider Electric	Compact NSX400F DC – 400A – 3P
Protección del inversor (V)	Intensidad nominal del interruptor (I_n)	$I_n \geq 67.27\ A$
	Tensión nominal del interruptor (V_n)	$V_n = 220\ V$
	Modelo de interruptor diferencial bipolar Schneider Electric	Acti 9 ilD – 2P – 80A – 30 mA
	Modelo de interruptor automático bipolar Schneider Electric	Acti9 NG125 – 2P – 80A – Curva C

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45, se muestra el esquema unifilar del subconjunto V de la instalación fotovoltaica autónoma del Edificio IME.

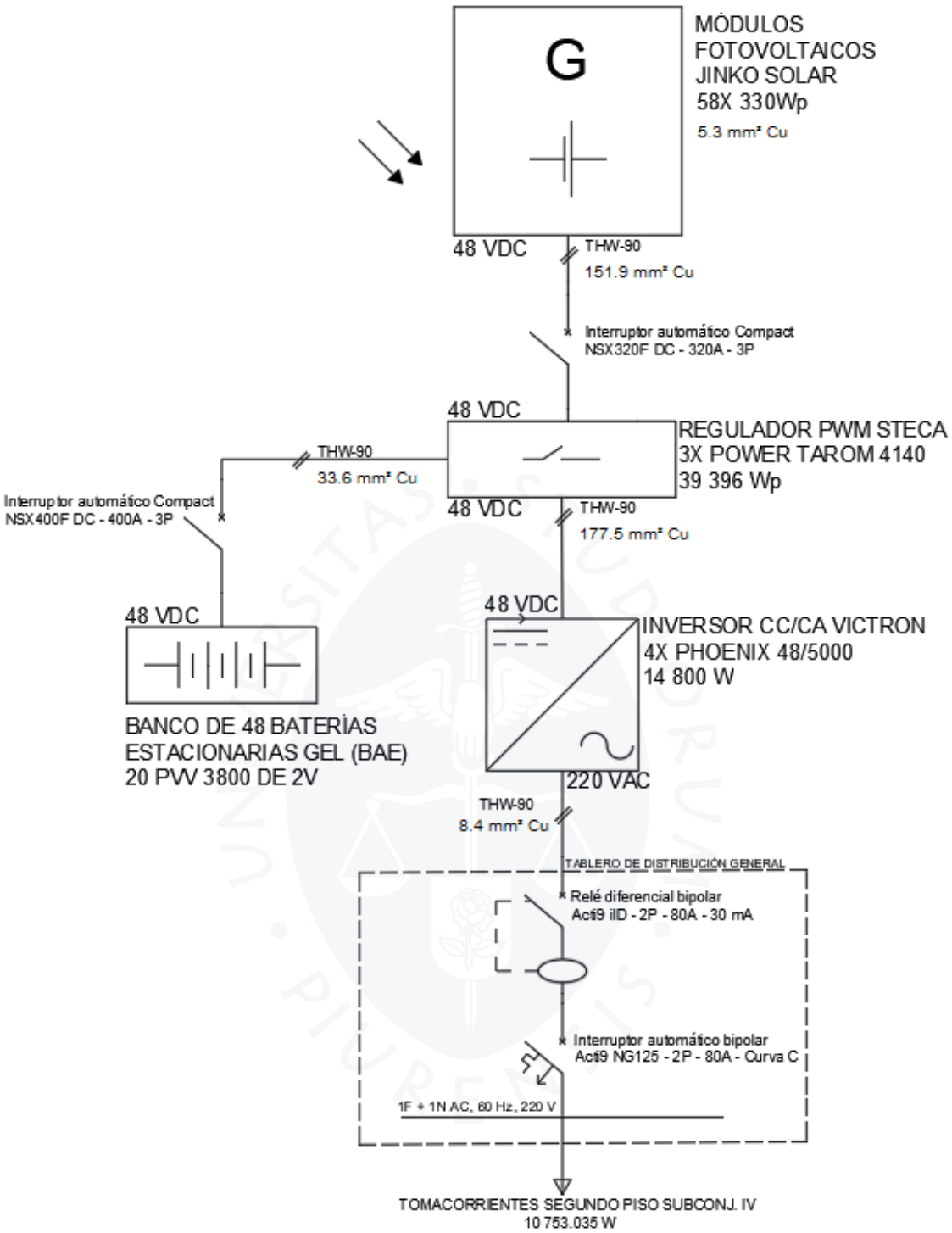


Figura 45. Esquema unifilar del subconjunto V.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.6. Estructura de soporte

Las estructuras que se usarán son del fabricante Saclima Solar Fotovoltaica, y son de tipo coplanares diseñadas para alojar módulos solares de 2000 mm de altura. Puesto que los generadores fotovoltaicos de la instalación constan de dos módulos en serie para cada rama en paralelo, se usará el kit disponible para dos paneles, véase Tabla 84.

Tabla 84. Composición del kit de la estructura de soporte para dos paneles fotovoltaicos en serie.

2 × perfiles de aluminio	
6 × garras salvatejas	
4 × pinzas intermedias para fijación de paneles	
4 × pinzas finales para fijación de paneles	

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de kits de estructuras de soporte depende del número de módulos que componen cada generador. Ver Tabla 85.

Tabla 85. Número de módulos solares y kits de estructuras de soporte de la instalación fotovoltaica.

Subconjuntos de la instalación fotovoltaica	Cantidad de módulos solares	Número de kits de estructuras de soporte
Subconjunto I	44	22
Subconjunto II	54	27
Subconjunto III	34	17
Subconjunto IV	58	29
Subconjunto V	58	29
TOTAL	**248**	**124**

Fuente: Elaboración propia.

4.4.7. Superficie del generador fotovoltaico de la instalación

La superficie techada e inclinada del edificio IME debe ser superior a la de los generadores fotovoltaicos de cada subconjunto, esto con el fin de dar espacio suficiente para la realización del mantenimiento, así como también para evitar las sombras causadas por elementos circundantes al Edificio.

De acuerdo con los planos del Anexo A, la superficie plana bajo techo de todo el edificio es de.

$$A_{sup,plana} = 2108.32\ m^2$$

El área techada e inclinada del Edificio se calcula dividiendo el área plana bajo techo por el $\cos(20°)$. En la figura 46, se muestra la vista de planta del edificio con la extensión de esta zona.

$$\boldsymbol{A_{sup,techada} = 2243.63\ m^2}$$

Las dimensiones de cada módulo fotovoltaico son de $0.1956\ m \times 0.992\ m$, entonces el área por módulo es aproximadamente.

$$A_{módulo} = 1.95\ m^2$$

Siendo el área total del generador de la instalación igual al producto del área de cada módulo y la cantidad total de módulos solares, 248.

$$\boldsymbol{A_{total,generador} = 483.6\ m^2}$$

Comprobándose que el área de la superficie techada es superior al área total del generador de la instalación fotovoltaica.

$$A_{sup,techada} \gg A_{total,generador}$$

En la Figura 46, se muestra una vista de planta del edificio IME, donde se han señalado los límites que conforman la superficie techada e inclinada.

Figura 46. Límites de la superficie techada e inclinada en vista de planta del edificio IME.
Fuente: Google Maps - Elaboración propia.

Capítulo 5
Análisis económico

Un estudio económico financiero del presente trabajo da a conocer la viabilidad de la materialización de un proyecto de esta magnitud con las características propias ya detalladas anteriormente.

Los elementos necesarios para la construcción de la instalación fotovoltaica autónoma pueden ser cotizados fácilmente pues existen muchos mercados online orientados a las aplicaciones de energías renovables no convencionales, asimismo, ofrecen las respectivas fichas técnicas, recomendaciones de selección y diseño, opiniones de usuarios, entre otras.

Para el presente análisis se evalúa, primero, el costo inicial total de la instalación fotovoltaica, así como también la vida útil de algunos de sus componentes, para considerar los costos de futuras reposiciones. Posteriormente, se aplica una metodología para determinar los indicadores del análisis económico que sugieren si es factible la inversión o no y, finalmente, si la inversión resulta factible, se estima el tiempo de recuperación de la misma.

5.1. Análisis de costes[17]

En este apartado, se analizan los costos de los materiales o componentes de cada subconjunto de la instalación fotovoltaica. Para ello, los precios se han obtenido visitando las páginas web de tiendas online de energía solar.

[17] Los costos de los componentes se han obtenido de las siguientes tiendas online: *Monsolar, Rainbow Power Company* y *Schneider Electric.*

5.1.1. Costos de los componentes del subconjunto I

En la Tabla 86, se muestran los costos de los componentes del subconjunto I de la instalación fotovoltaica.

Tabla 86. Costos de los componentes del subconjunto I de la instalación fotovoltaica.

Componente	Cantidad	Precio unitario con IGV (S/)	Total con IGV (S/)
Panel fotovoltaico Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72	44	549.08	24 159.52
Baterías estacionarias tipo GEL BAE de 12 V 15 PVV 2850	8	20 013.08	160 104.64
Regulador de carga PWM Steca Power Tarom 4140	2	9282.50	18 565.00
Inversor solar VICTRON Phoenix 48/5000	4	6682.96	26 731.84
Conductor del tramo de línea 1 INDECO THW-90 10 AWG	2 m	2.46	4.92
Conductor del tramo de línea 2 INDECO THW-90 250 MCM	4 m	28.94	115.76
Conductor del tramo de línea 3 INDECO THW-90 4 AWG	1 m	7.95	7.95
Conductor del tramo de línea 4 INDECO THW-90 350 MCM	0.5 m	42.56	21.28
Conductor del tramo de línea 5 INDECO THW-90 8 AWG	0.5 m	3.88	1.94
Fusibles cilíndricos (gG) de 16 A ($10 \times 38\ mm$)	22	12.36	271.92
Portafusibles para fusibles de cartucho cilíndricos	22	11.73	258.06
Bloque de corte Schneider Electric Compact NSX250F DC – 250A – 3P	1	5399.19	5399.19
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX320F DC – 320A – 3P	1	14 336.94	14 336.94
Interruptor diferencial bipolar Schneider Electric Acti9 ilD – 2P – 80A – 30 mA	1	2329.65	2329.65
Interruptor automático bipolar Schneider Electric Acti9 NG125N – 2P – 80A – Curva C	1	1062.33	1062.33
Kits de estructura de soporte de tipo coplanar para dos módulos	22	556.95	12 252.90
TOTAL			**265 623.84**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Costos de los componentes del subconjunto II

En la Tabla 87, se muestran los costos de los componentes del subconjunto II de la instalación fotovoltaica.

Tabla 87. Costos de los componentes del subconjunto II de la instalación fotovoltaica.

Componente	Cantidad	Precio unitario con IGV (S/)	Total con IGV (S/)
Panel fotovoltaico Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72	54	549.08	29 650.32
Baterías estacionarias tipo GEL BAE de 12 V 20 PVV 3800	8	69 719.33	557 754.64
Regulador de carga PWM Steca Power Tarom 4110	3	7426.00	22 278.00
Inversor solar VICTRON Phoenix 48/5000	5	6682.96	33 414.80
Conductor del tramo de línea 1 INDECO THW-90 10 AWG	2 m	2.46	4.92
Conductor del tramo de línea 2 INDECO THW-90 300 MCM	4 m	34.42	137.68
Conductor del tramo de línea 3 INDECO THW-90 2 AWG	1 m	10.73	10.73
Conductor del tramo de línea 4 INDECO THW-90 500 MCM	0.5 m	53.64	26.82
Conductor del tramo de línea 5 INDECO THW-90 6 AWG	0.5 m	5.65	2.83
Fusibles cilíndricos (gG) de 16 A ($10 \times 38\ mm$)	27	12.36	333.72
Portafusibles para fusibles de cartucho cilíndricos	27	11.73	316.71
Bloque de corte Schneider Electric Compact NSX250F DC – 250A – 3P	1	5399.19	5399.19
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX400F DC – 400A – 3P	1	15 235.52	15 235.52
Interruptor diferencial bipolar General Electric FP2100/030 – 2P – 100A – 30 mA	1	549.93	549.93
Interruptor automático bipolar Schneider Electric Acti9 C120 – 2P – 100A – Curva D	1	1162.47	1162.47
Kits de estructura de soporte de tipo coplanar para dos módulos	27	556.95	15 037.65
TOTAL			**681 315.93**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Costos de los componentes del subconjunto III

En la Tabla 88, se muestran los costos de los componentes del subconjunto III de la instalación fotovoltaica.

Tabla 88. Costos de los componentes del subconjunto III de la instalación fotovoltaica.

Componente	Cantidad	Precio unitario con IGV (S/)	Total con IGV (S/)
Panel fotovoltaico Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72	34	549.08	18 668.72
Baterías estacionarias tipo GEL BAE de 12 V 22 PVV 4180	4	76 071.57	304 286.28
Regulador de carga PWM Steca Power Tarom 4110	2	7426.00	14 852.00
Inversor solar VICTRON Phoenix 48/5000	3	6682.96	20 048.88
Conductor del tramo de línea 1 INDECO THW-90 10 AWG	2 m	2.46	4.92
Conductor del tramo de línea 2 INDECO THW-90 3/0 AWG	4 m	19.15	76.60
Conductor del tramo de línea 3 INDECO THW-90 4 AWG	1 m	7.95	7.95
Conductor del tramo de línea 4 INDECO THW-90 300 MCM	0.5 m	34.42	17.21
Conductor del tramo de línea 5 INDECO THW-90 8 AWG	0.5 m	3.88	1.94
Fusibles cilíndricos (gG) de 16 A ($10 \times 38\ mm$)	17	12.36	210.12
Portafusibles para fusibles de cartucho cilíndricos	17	11.73	199.41
Bloque de corte Schneider Electric Compact NSX160F DC – 160A – 3P	1	3314.71	3314.71
Bloque de corte **S**chneider Electric Compact NSX250F DC – 250A – 3P	1	5399.19	5399.19
Interruptor diferencial bipolar Schneider Electric Acti9 ilD – 2P – 63A – 30 mA	1	2054.78	2054.78
Interruptor automático bipolar Schneider Electric Acti9 NG125 – 2P – 63A – Curva C	1	990.96	990.96
Kits de estructura de soporte de tipo coplanar para dos módulos	17	556.95	9468.15
TOTAL			**379 601.82**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Costos de los componentes del subconjunto IV

En la Tabla 89, se muestran los costos de los componentes del subconjunto IV de la instalación fotovoltaica.

Tabla 89. Costos de los componentes del subconjunto IV de la instalación fotovoltaica.

Componente	Cantidad	Precio unitario con IGV (S/)	Total con IGV (S/)
Panel fotovoltaico Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72	58	549.08	31 846.64
Baterías estacionarias tipo GEL BAE de 12 V 20 PVV 3800	8	69 719.33	557 754.64
Regulador de carga PWM Steca Power Tarom 4140	3	9282.50	27 847.50
Inversor solar VICTRON Phoenix 48/5000	2	6682.96	13 365.92
Conductor del tramo de línea 1 INDECO THW-90 10 AWG	2 m	2.46	4.92
Conductor del tramo de línea 2 INDECO THW-90 300 MCM	4 m	34.42	137.68
Conductor del tramo de línea 3 INDECO THW-90 2 AWG	1 m	10.73	10.73
Conductor del tramo de línea 4 INDECO THW-90 4/0 AWG	0.5 m	24.22	12.11
Conductor del tramo de línea 5 INDECO THW-90 10 AWG	0.5 m	2.46	1.23
Fusibles cilíndricos (gG) de 16 A ($10 \times 38\ mm$)	29	12.36	358.44
Portafusibles para fusibles de cartucho cilíndricos	29	11.73	340.17
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX320F DC – 320A – 3P	1	14 336.94	14 336.94
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX400F DC – 400A – 3P	1	15 235.52	15 235.52
Interruptor diferencial bipolar Schneider Electric Acti9 ilD – 2P – 40A – 30 mA	1	834.01	834.01
Interruptor automático bipolar Schneider Electric Acti9 NG125 – 2P – 40A – Curva C	1	954.39	954.39
Kits de estructura de soporte de tipo coplanar para dos módulos	29	556.95	16 151.55
TOTAL			**679 192.39**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5. Costos de los componentes del subconjunto V

En la Tabla 90, se muestran los costos de los componentes del subconjunto V de la instalación fotovoltaica.

Tabla 90. Costos de los componentes del subconjunto V de la instalación fotovoltaica.

Componente	Cantidad	Precio unitario con IGV (S/)	Total con IGV (S/)
Panel fotovoltaico Jinko Solar Eagle 72P JKM330PP-72	58	549.08	31 846.64
Baterías estacionarias tipo GEL BAE de 12 V 20 PVV 3800	8	69 719.33	557 754.64
Regulador de carga PWM Steca Power Tarom 4140	3	9282.50	27 847.50
Inversor solar VICTRON Phoenix 48/5000	4	6682.96	26 731.84
Conductor del tramo de línea 1 INDECO THW-90 10 AWG	2 m	2.46	4.92
Conductor del tramo de línea 2 INDECO THW-90 300 MCM	4 m	34.42	137.68
Conductor del tramo de línea 3 INDECO THW-90 2 AWG	1 m	10.73	10.73
Conductor del tramo de línea 4 INDECO THW-90 350 MCM	0.5 m	42.56	21.28
Conductor del tramo de línea 5 INDECO THW-90 8 AWG	0.5 m	3.88	1.94
Fusibles cilíndricos (gG) de 16 A ($10 \times 38\ mm$)	29	12.36	358.44
Portafusibles para fusibles de cartucho cilíndricos	29	11.73	340.17
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX320F DC – 320A – 3P	1	14 336.94	14 336.94
Interruptor automático Schneider Electric Compact NSX400F DC – 400A – 3P	1	15 235.52	15 235.52
Interruptor diferencial bipolar Schneider Electric Acti9 ilD – 2P – 80A – 30 mA	1	2329.65	2329.65
Interruptor automático bipolar Schneider Electric Acti9 NG125 – 2P – 80A – Curva C	1	1062.33	1062.33
Kits de estructura de soporte de tipo coplanar para dos módulos	29	556.95	16 151.55
TOTAL			**694 171.77**

Fuente: Elaboración propia.

El costo de la inversión total inicial de toda la instalación fotovoltaica es entonces de.

$$I_o = S/\ 2\ 699\ 905.75$$

5.2. Factibilidad financiera

El estudio financiero determina con respecto al costo de cada elemento de cada subconjunto de la instalación fotovoltaica, la viabilidad de inversión en un proyecto de esta magnitud.

Una vez conocidos los costos de financiamiento de la instalación, se procede a calcular los indicadores que permitan tomar la decisión de si el proyecto es rentable. Los indicadores más utilizados en la evaluación de un proyecto son.

5.2.1. Valor Presente Neto (VPN)[18]

Es una medida de los excesos o pérdidas en los flujos de efectivo, todo llevado al valor actual. La metodología consiste en descontar al momento actual, actualizando mediante una tasa (de descuento), todos los flujos efectivos futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor presente neto del proyecto y se puede calcular por la ecuación 5.1.

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_n}{(1+r)^n} \tag{5.1}$$

Donde:

Q_n :flujos de caja en cada año
n :número de períodos considerados
I :valor inicial de la inversión
r :tasa de descuento a la cual se va a descontar los flujos efectivos

El segundo término de la expresión del valor presente neto viene a ser el Beneficio Neto Actual (BNA), que se refiere al resultante del flujo de caja total estimado para el proyecto, pero convertido a un valor actual a través de una tasa de descuento. Esta tasa de descuento es la tasa de rentabilidad mínima que se espera por toda la inversión.

[18] Fuente bibliográfica [10]. Página 6.

5.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)[19]

Es la tasa de descuento que hace el VPN de una inversión sea igual a cero (VPN=0). El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo. Esta puede calcularse por la ecuación 5.2.

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0 \tag{5.2}$$

Donde k es igual a la TIR. Entonces se puede afirmar que la TIR representa la rentabilidad con respecto a una tasa mínima.

5.3. Cálculo de los indicadores económicos de la inversión

El tiempo proyectado para este proyecto de instalación fotovoltaica se determina respecto a la vida útil del componente que más perdure. La vida útil de cada elemento de la instalación es:

- **Paneles fotovoltaicos JINKO Solar**, con una garantía de potencia lineal de **25 años,** considerando el mantenimiento.
- **Baterías estacionarias BAE**, con una vida útil de **5 años** a 70% de profundidad de descarga, incluyendo mantenimiento.
- **Reguladores solares de carga STECA**, que poseen un tiempo de vida de **25 años**, mantenimiento incluido.
- **Inversores solares VICTRON**, que tienen una vida útil de **10 años**, con mantenimiento.
- **Aparatos de maniobra y protección**, poseen un tiempo de vida de **25 años**.
- **Kits de estructuras de soporte**, con una longevidad de **25 años**, resistentes a la corrosión y adversas condiciones atmosféricas.

La vida útil que más perdura es de 25 años, por lo tanto, el número de periodos (n) a considerar para el cálculo del retorno de la inversión, es de 25.

[19] Fuente bibliográfica [10]. Página 6.

Respecto a los costos de mantenimiento, es necesario plantear que el mantenimiento para los componentes de la instalación consiste en simples inspecciones de las conexiones y limpieza, por lo que no se le asignará un costo.

Para el caso de las baterías estacionarias, una vez superado el tiempo de vida útil, se debe optar por un reemplazo total. En el periodo de 25 años, 5 reemplazos de todo el conjunto de baterías es necesario para cada subconjunto.

Los inversores solares VICTRON, por otro lado, no necesitan ser reemplazados completamente, una vez terminada su vida útil de 10 años los componentes que estén fallando en su interior pueden ser reemplazados a un costo del 25% del precio de cada inversor.

El valor de la energía entregada por el sistema fotovoltaico autónomo es tomado como igual a la practicada por la empresa eléctrica, opción tarifaria MT4, que no hace distinción entre bloques horarios, con un costo de 0.22 S/. /kWh.[20]

El costo de la energía que la instalación fotovoltaica produce cada año es entonces:

$$0.22 S/./\text{kWh} \times 255.7 \text{kWh/día} \times 365 \text{ días} = \mathbf{S/\ 20\,532.71}$$

Cada 5 y 10 años a este valor se le descuenta los costos por reemplazo de los conjuntos de baterías y componentes de los inversores, dando lugar así al flujo neto de caja en cada periodo.

La tasa de descuento de los flujos efectivos (k) se tomará como 5%. Teniendo estos datos, se aplica la ecuación 5.1 para calcular el Beneficio Neto Actual.

En la Tabla 91, se muestran los flujos de caja total para cada año y el Beneficio Neto Actual (BNA) de la inversión en la instalación fotovoltaica.

[20] Dato obtenido de cargo por energía activa durante todo el día en el pliegue tarifario de media tensión (MT4) en la ciudad de Piura.
https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=200000

Tabla 91. Flujo de caja total y BNA de la inversión para un periodo de tiempo de 25 años.

Periodo de Análisis (Año)	Flujo de Caja Total (S/)	BNA (S/)
1	20 532.71	19 554.96
2	20 532.71	18 623.77
3	20 532.71	17 736.93
4	20 532.71	16 892.31
5	−2 113 429.79	−1 655 927.54
6	20 532.71	15 321.82
7	20 532.71	14 592.21
8	20 532.71	13 897.35
9	20 532.71	13 235.57
10	−2 143 503.11	−1 315 924.97
11	20 532.71	12 005.05
12	20 532.71	11 433.38
13	20 532.71	10 888.93
14	20 532.71	10 370.41
15	−2 113 429.79	−1 016 595.87
16	20 532.71	9 406.27
17	20 532.71	8 958.35
18	20 532.71	8 531.77
19	20 532.71	8 125.49
20	−2 143 503.11	−807 863.78
21	20 532.71	7 370.06
22	20 532.71	7 019.1
23	20 532.71	6 684.86
24	20 532.71	6 366.53
25	−2 113 429.79	−624 101.67
	Sumatoria BNA	**−5 183 398.7**
	INVERSIÓN TOTAL	**2 699 905.75**

Fuente: Elaboración propia.

$$\boldsymbol{VPN = [-S/\,2\,699\,905.75] + [-S/\,5\,183\,398.7] = -S/7\,883\,304.45}$$

Puesto que el VPN tiene un valor negativo muy elevado, la inversión para realizar una instalación fotovoltaica autónoma para el edificio IME, desde el punto de vista económico, no es viable.

Existen costos adicionales de mano de obra para el montaje de los componentes de la instalación fotovoltaica y su respectivo mantenimiento, que de considerarse harían aún más negativo el VPN.

Conclusiones

1. Nivel de iluminación del edificio IME

De acuerdo con el estudio de nivel de iluminación, basado en realización de mediciones en cada ambiente del edificio, con el fin de recopilar datos de iluminancia, se obtuvo que estos no cumplen con los niveles de iluminación mínimos establecidos por la Norma Técnica EM.010. Es por ello que se replanteó un diseño, por el método de lúmenes, para establecer el número de luminarias necesario en todos los ambientes que precisen una iluminación uniforme. A su vez, las luminarias propuestas para este nuevo diseño son de tecnología LED que poseen una larga vida útil, una alta eficiencia en iluminación (pues generan muy poco calor) y una eficiencia energética superior con respecto a las luminarias convencionales utilizadas, actualmente, para la iluminación en el edificio.

2. Potencial solar de la ciudad de Piura

Antes de efectuar el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica, es preciso conocer las características de radiación solar del lugar en donde se situará dicha instalación.

Al ingresar las coordenadas geográficas (latitud y longitud) al software de diseño fotovoltaico, *PVsyst*, se obtuvo que la ciudad de Piura, en efecto, posee un gran potencial solar. La disponibilidad del recurso solar (oferta energética) satisface el 100% de la demanda energética actual del edificio IME y, también, la futura demanda que resultaría de alguna ampliación de infraestructura de dicho edificio, esto se ve reflejado directamente en las áreas, tanto del generador fotovoltaico de la instalación, como de la superficie techada del edificio IME, siendo esta última, aproximadamente 5 veces mayor. Ello indica que existe espacio más que suficiente para la colocación de módulos fotovoltaicos para el aprovechamiento de la energía solar, con el fin de suplir, total o parcialmente, la demanda.

3. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

El correcto dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo implica un balance entre los tamaños del generador fotovoltaico y el sistema de acumulación (baterías). Mientras más potencia del generador y más capacidad de baterías se instalen para satisfacer un mismo consumo, se obtendrá un sistema con menor probabilidad de fallo, pero el coste será elevado. Para asegurar esto, se dimensiona la instalación para que la producción del generador fotovoltaico sea igual al consumo de energía (en valores promedio) de cada aparato eléctrico o electrónico, y que el conjunto de baterías pueda abastecer el consumo cuando hay ausencia total de radiación directa durante un determinado número de días consecutivos (número de días de autonomía).

4. Viabilidad técnica de la construcción de una instalación fotovoltaica autónoma

Al momento de dimensionar la instalación fotovoltaica autónoma, se encontró que, no es factible diseñar un solo generador fotovoltaico para suplir la demanda del edificio en su totalidad, pues las corrientes en ese único generador serían muy altas debido a tantos módulos conectados en paralelo, como consecuencia, los componentes que dependen de estos valores de corriente para su selección, tales como, reguladores, inversores, aparatos de protección y conductores, serían prácticamente imposibles de encontrar en el mercado. Además, el sistema de acumulación tendría un valor tan grande, que habría sido necesario conectar varias baterías de alta capacidad de acumulación en paralelo, lo cual no es nada recomendable por el rápido desgaste. Lo más adecuado fue entonces, repartir la demanda en 5 subconjuntos, y poder así, ser alimentados por 5 distintos sistemas fotovoltaicos autónomos con valores más aceptables de corrientes, y componentes que sí pueden ser encontrados en el mercado, esto garantiza la continuidad del servicio y facilita las labores de mantenimiento.

El edificio IME, de la Universidad de Piura, dispone de espacio más que suficiente para la instalación de los paneles fotovoltaicos, así como para el montaje de todos los componentes y accesorios para un adecuado funcionamiento y, también, para las acciones de mantenimiento correspondientes.

5. Rentabilidad de la construcción de una instalación fotovoltaica autónoma

Si bien desde el punto de vista técnico, la construcción de una instalación fotovoltaica autónoma es viable, desde el punto de vista financiero no lo es. Esto se debe, principalmente, al elevado consumo de energía del edificio y que, como consecuencia, hace que la capacidad

del sistema de acumulación sea muy elevada. Por otra parte, los componentes a los que se les atribuye el mayor costo, según el análisis económico, son precisamente las baterías estacionarias de gel del sistema de acumulación. Estas últimas tienen, además, la vida útil más corta de toda la instalación (5 años), con lo cual hace falta reponer este importante componente muchas veces. Es por ello, que invertir en un proyecto de esta magnitud no es rentable.

De ponerse en marcha una economía competente basada en la energía solar fotovoltaica, es preciso diseñar sistemas para almacenar energía más económicos, eficientes y duraderos.

De manera general, la viabilidad económica se puede obtener si en el sector energético del país se incluyen políticas que promocionen e incentiven el uso de energías renovables; de esta manera se podrían disminuir costos de inversión, disminución parcial o total de impuestos, incentivos por acciones que favorecen al medio ambiente, entre otros.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Referencias bibliográficas

[1] Castejón, A., y Santamaría, G. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas.* Madrid, España: Editorial Editex, S.A.

[2] Kalogirou, A., S. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems (2nd edition). Boulevard, Reino Unido: Elsevier.

[3] Luque, A., y Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.* Inglaterra, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.

[4] Perpiñán, O. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica.* Recuperado de http://oscarperpinan.github.io/esf/.

[5] Blanco-Cano, X. (2009). *El Sol, nuestra estrella.* Recuperado de https://www.revista.unam.mx/vol.10/num10/art67/int67.htm

[6] Tejeda, A., y Gómez, G. (2015). *Prontuario solar de México.* Colima, México: Universidad Veracruzana y Universidad de Colima.

[7] Sidrach de Cardona, M. (2004). *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.* España: Editorial CIEMAT.

[8] Blanca, V., et al. (s.f.). [Artículo docente] *Luminotecnia: Cálculo según el método de lúmenes.* Recuperado de http://riunet.upv.es

[9] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, El Peruano. (2019). *Norma Técnica EM.010 Instalaciones eléctricas interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).* Perú: Editora Perú.

[10] Beltran, N., Tinajeros, M., y Morante, F. (2016). *Análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red en Arequipa.* Recuperado de http://cer.uni.edu.pe

[11] Osinergmin (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética.* Perú: GRÁFICA BIBLOS S.A.

[12] Osinergmin (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú – 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático.* Perú: GRÁFICA BIBLOS S.A.

[13] Monsolar (s.f). *Fotovoltaica Aislada.* Recuperado de: https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada.html

[14] Echevarría López C. A. (2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura.

Anexos

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Anexo A. Ubicación de los puntos representativos para la medición de iluminación en el laboratorio de Electrotecnia.

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura [1]	347.0	370.0	353.0	356.7
Lectura [2]	351.0	365.0	379.0	358.3
Lectura [3]	354.0	365.0	376.0	365.0
Lectura [4]	376.0	383.0	371.0	376.7

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
Lectura [1]	122.0	130.0	136.0	129.3
Lectura [2]	159.0	218.0	223.0	213.3
Lectura [3]	157.0	177.0	209.0	181.0
Lectura [4]	186.0	204.0	211.0	200.3

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B. Tabla de coeficientes de Reflexión.

PINTURA/COLOR	COEF. REFL	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACÚSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGÓN CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMGIÓN OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRÓN CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRÓN OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MÁRMOL BLANCA	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Fuente: Bibliografía [8]. Página 6.

Anexo C. Demanda energética de iluminación del edificio IME.[21]

Anexo C-1. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Electrotecnia.

LABORATORIO DE ELECTROTECNIA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas de laboratorio	28	Regleta -38W	1064 W	1	0.8	851.2	4	3404.8
Área de máquinas y modelos	22	Regleta -38W	836 W	1	0.8	668.8	4	2675.2
Oficina 2	2	Panel -36W	72 W	1	0.8	57.6	6	345.6
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	5	432.0
Sala de reuniones	4	Panel -36W	144 W	1	0.8	115.2	3	345.6
Oficina de tesistas	16	Panel -36W	576 W	1	0.8	460.8	3	1382.4
Almacén de equipos	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	1	86.4
Vestidores servicio de limpieza	2	Regleta -38W	76 W	1	0.8	60.8	2	121.6
Ambiente colindante a vestidores	1	Regleta -38W	38 W	1	0.8	30.4	2	60.8
TOTAL	**81**		**3022 W**			**2417.6**		**8854.4**

Anexo C-2. Demanda energética de iluminación del taller de Mecánica de Suelos.

TALLER DE MECÁNICA DE SUELOS								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Patio de ensayo de materiales	8	Regleta -38W	304 W	1	0.6	182.4	4	729.6
Almacén	3	Regleta -38W	114 W	1	0.6	68.4	1	68.4
Vestidor	2	Regleta -38W	76 W	1	0.6	45.6	1	45.6
TOTAL	**13**		**494 W**			**296.4**		**843.6**

Anexo C-3. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Ensayo de Materiales.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas de laboratorio	28	Regleta -38W	1064 W	1	0.8	851.2	4	3404.8
Zona de ensayos	21	Regleta -38W	798 W	1	0.8	638.4	3	1915.2
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	6	518.4
Oficina 2	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	5	432.0
Oficina de técnicos	4	Panel -36W	144 W	1	0.8	115.2	6	691.2
TOTAL	**59**		**2222 W**			**1777.6**		**6961.6**

[21] Las tablas de datos mostradas en el presente Anexo son de elaboración propia.

Anexo C-4. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica.

LABORATORIO DE DISEÑO Y TECNOLOGÍA MECÁNICA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Taller de maestranza	37	Regleta -38W	1406 W	1	0.76	1068.56	4	4274.24
Fondo	10	Regleta -38W	380 W	1	0.76	288.80	4	1155.20
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.76	82.08	4	328.32
Oficina 2	2	Panel -36W	72 W	1	0.76	54.72	5	273.60
Sala de reuniones	5	Panel -36W	180 W	1	0.76	136.80	4	547.20
Vestidores técnicos	1	Panel -36W	38 W	1	0.76	28.88	2	57.76
Depósito 1	1	Panel -36W	38 W	1	0.76	28.88	1	28.88
Soldadura	9	Regleta -38W	342 W	1	0.76	259.92	4	1039.68
Depósito 2	3	Regleta -38W	114 W	1	0.76	86.64	1	86.64
TOTAL	**71**		**2678 W**			**2035.28**		**7791.52**

Anexo C-5. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Física.

LABORATORIO DE FÍSICA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas de laboratorio	24	Regleta -38W	912 W	1	0.7	638.4	4	2553.6
Oficina 4	4	Panel -36W	144 W	1	0.7	100.8	5	504.0
Oficina 3	4	Panel -36W	144 W	1	0.7	100.8	5	504.0
Oficina 2	3	Panel -36W	108 W	1	0.7	75.6	5	378.0
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.7	75.6	4	302.4
Depósito 1	1	Regleta -19W	19 W	1	0.7	13.3	1	13.3
Depósito F1	1	Regleta -19W	19 W	1	0.7	13.3	1	13.3
TOTAL	**40**		**1454 W**			**1017.8**		**4268.6**

Anexo C-6. Demanda energética de iluminación del Centro de Idiomas.

CENTRO DE IDIOMAS								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Secretaría	4	Panel -36W	144 W	1	0.85	122.40	5	612.00
Administración	4	Panel -36W	144 W	1	0.85	122.40	5	612.00
Aula L11	12	Regleta -38W	456 W	1	0.85	387.60	2	775.20
Sala de Lectura	7	Panel -36W	252 W	1	0.85	214.20	4	856.80
Zona de oficinas 1, 2, 3 y pasillo	14	Regleta -38W	532 W	1	0.85	452.20	6	2713.20
Oficina 4	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.80	5	459.00
Baño	1	Regleta -38W	38 W	1	0.85	32.30	2	64.60
Sala de Profesores	8	Panel -36W	288 W	1	0.85	244.80	5	1224.00
Depósito Patio 2	1	Regleta -19W	19 W	1	0.85	16.15	1	16.15
TOTAL	**54**		**1981 W**			**1683.85**		**7332.95**

Anexo C-7. Demanda energética de iluminación de Dirección IME.

DIRECCIÓN IME								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.80	5	459.00
Oficina 3	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.80	5	459.00
Oficina 4	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.80	5	459.00
Oficina 5	4	Panel -36W	144 W	1	0.85	122.40	5	612.00
Oficina 2	4	Panel -36W	144 W	1	0.85	122.40	5	612.00
S.H Varones (personal de servicio)	1	Regleta -19W	19 W	1	0.85	16.15	1	16.15
S.H Damas (personal de servicio)	1	Regleta -19W	19 W	1	0.85	16.15	2	32.30
Depósito	1	Regleta -19W	19 W	1	0.85	16.15	1	16.15
Armario	1	Regleta -19W	19 W	1	0.85	16.15	1	16.15
Sala de espera	2	Panel -36W	72 W	1	0.85	61.20	4	244.80
Pasillo	2	Panel -36W	72 W	1	0.85	61.20	5	306.00
Sala de Reuniones	6	Panel -36W	216 W	1	0.85	183.60	3	550.80
S.H Damas (alumnos)	1	Regleta -44W	44 W	1	0.85	37.40	4	149.60
S.H Varones (alumnos)	1	Regleta -44W	44 W	1	0.85	37.40	4	149.60
TOTAL	**33**		**1136 W**			**965.60**		**4082.55**

Anexo C-8. Demanda energética de iluminación de zona de pasillo del primer piso.

ZONA DE PASILLO								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Pasillo de Circulación	**7**	Regleta -38W	**266 W**	1	1	**266**	4	**1064**

Anexo C-9. Demanda energética de iluminación de auditorio IME.

AUDITORIO IME								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Depósito	2	Regleta -38W	76 W	1	0.95	72.2	2	144.4
Cabina de Proyección	2	Regleta -19W	38 W	1	0.95	36.1	2	72.2
Entrada	2	Panel -36W	72 W	1	0.95	68.4	2	136.8
Auditorio	44	Panel -36W	1584 W	1	0.95	1504.8	3	4514.4
TOTAL	**50**		**1770 W**			**1681.5**		**4867.8**

Anexo C-10. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Energía.

LABORATORIO DE ENERGÍA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	6	518.4
Sala de Tesistas 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	4	345.6
Sala de Tesistas 2	4	Panel -36W	144 W	1	0.8	115.2	4	460.8
Sala de Reuniones	6	Panel -36W	216 W	1	0.8	172.8	2	345.6
Oficina 2	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	4	345.6
Oficina 3	2	Panel -36W	72 W	1	0.8	57.6	5	288.0
Oficina 4	3	Panel -36W	108 W	1	0.8	86.4	1	86.4
Sala principal	8	Panel -36W	288 W	1	0.8	230.4	4	921.6
TOTAL	**32**		**1152 W**			**921.6**		**3312.0**

Anexo C-11. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Electrónica.

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina de Tesistas	11	Panel -36W	396 W	1	0.85	336.6	5	1683.0
Oficina 1	10	Panel -36W	360 W	1	0.85	306.0	3	918.0
Depósito	3	Regleta -38W	114 W	1	0.85	96.9	1	96.9
Zona de mesas laboratorio y sala de investigación	42	Panel -36W	1512 W	1	0.85	1285.2	4	5140.8
Oficina 2	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.8	4	367.2
Oficina 3	2	Panel -36W	72 W	1	0.85	61.2	5	306.0
Oficina 4	2	Panel -36W	72 W	1	0.85	61.2	4	244.8
Sala de Proyectos	4	Panel -36W	144 W	1	0.85	122.4	2	244.8
TOTAL	**77**		**2778 W**			**2361.3**		**9001.5**

Anexo C-12. Demanda energética de iluminación del laboratorio de Metalotecnia.

LABORATORIO DE METALOTECNIA								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas de Laboratorio	22	Regleta -38W	836 W	1	0.7	585.2	4	2340.8
Sala de Seminarios	5	Panel -36W	180 W	1	0.7	126.0	2	252.0
Zona de pulido de piezas	8	Regleta -38W	304 W	1	0.7	212.8	1	212.8
Cuarto Oscuro	2	Panel -36W	76 W	1	0.7	53.2	1	53.2
Almacén	2	Panel -36W	76 W	1	0.7	53.2	1	53.2
Oficina 1	2	Panel -36W	72 W	1	0.7	50.4	3	151.2
Oficina 2	4	Panel -36W	144 W	1	0.7	100.8	4	403.2
Oficina 3	3	Panel -36W	108 W	1	0.7	75.6	3	226.8
Oficina 4	3	Panel -36W	108 W	1	0.7	75.6	4	302.4
TOTAL	**51**		**1904 W**			**1332.8**		**3995.6**

Anexo C-13. Demanda energética de iluminación del laboratorio de SAC.

LABORATORIO DE SAC								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficinas (4, 5, 6, 7 y 8)	22	Panel -36W	792 W	1	0.85	673.2	5	3366.0
Zona de pasillos	10	Panel -36W	360 W	1	0.85	306.0	4	1224.0
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.8	6	550.8
Oficina 2	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.8	5	459.0
Oficina 3	3	Panel -36W	108 W	1	0.85	91.8	4	367.2
Sala de Reuniones	5	Panel -36W	180 W	1	0.85	153.0	3	459.0
TOTAL	**46**		**1656 W**			**1407.6**		**6426.0**

Anexo C-14. Demanda energética de iluminación de zona de pasillo del segundo piso.

ZONA DE PASILLO								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
SS HH Damas	1	Regleta -19W	19 W	1	0.5	9.5	1	9.5
SS HH Varones	1	Regleta -19W	19 W	1	0.5	9.5	1	9.5
Oficina de Servicios Técnicos	4	Panel -36W	144 W	1	1.0	144.0	8	1152.0
Pasillo	4	Regleta -38W	152 W	1	1.0	152.0	4	608.0
TOTAL	**10**		**334 W**			**315.0**		**1779.0**

Anexo C-15. Demanda energética de iluminación de Soluciones de Software.

SOLUCIONES DE SOFTWARE								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
SS HH Damas	1	Regleta -19W	19 W	1	0.95	18.05	1	18.05
SS HH Varones	1	Regleta -19W	19 W	1	0.95	18.05	1	18.05
Oficina 4	3	Panel -36W	108 W	1	0.95	102.60	7	718.20
Oficina 1	3	Panel -36W	108 W	1	0.95	102.60	6	615.60
Oficina 5	3	Panel -36W	108 W	1	0.95	102.60	7	718.20
Oficina 2	2	Panel -36W	72 W	1	0.95	68.40	6	410.40
Oficina 3	2	Panel -36W	72 W	1	0.95	68.40	7	478.80
Sala de Soluciones de Soft.	5	Panel -36W	180 W	1	0.95	171.00	6	1026.00
Sala de Infraestructura	5	Panel -36W	180 W	1	0.95	171.00	6	1026.00
Data Center I y II	7	Panel -36W	252 W	1	0.95	239.40	4	957.60
TOTAL	**32**		**1118 W**			**1062.10**		**5986.90**

Anexo C-16. Demanda energética de iluminación de centro de Diseño.

CENTRO DE DISEÑO								
Ambientes	Número de Luminarias LED	Tipo de luminaria LED (Coreline)	Potencia nominal de Luminarias LED	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda diaria (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Sala Principal	13	Panel -36W	468 W	1	0.7	327.6	4	1310.4
Oficina 1	2	Panel -36W	72 W	1	0.7	50.4	3	151.2
Oficina 2	2	Panel -36W	72 W	1	0.7	50.4	2	100.8
Oficina 3	3	Panel -36W	108 W	1	0.7	75.6	2	151.2
Oficina 4	2	Panel -36W	72 W	1	0.7	50.4	3	151.2
Oficina 5	5	Panel -36W	180 W	1	0.7	126.0	6	756.0
Oficina 6	5	Panel -36W	180 W	1	0.7	126.0	5	630.0
Oficina 7	4	Panel -36W	144 W	1	0.7	100.8	6	604.8
TOTAL	**36**		**1296 W**			**907.2**		**3855.6**

Anexo D. Demanda energética de tomacorrientes del edificio IME.[22]

Anexo D-1. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Electrotecnia.

LABORATORIO DE ELECTROTECNIA							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7	255.78
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	6	585.00
Oficina 2	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	5	487.50
SALA DE REUNIONES	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	9	328.86
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	9	328.86
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	8	780.00
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	8	780.00
Zona de mesas de laboratorio	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
Área de Máquinas y Modelos	Ventilador de pie	85	0.87	0.6	44.37	6	266.22
	Laptop	65	1.00	0.5	32.50	4	130.00
	Laptop	65	1.00	0.5	32.50	5	162.50
	Laptop	65	1.00	0.5	32.50	3	97.50
	Laptop	65	1.00	0.5	32.50	4	130.00
Oficina de Tesistas	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6	219.24
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	4	390.00
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	4	390.00
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	3	292.50
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	4	390.00
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	4	390.00
TOTAL		**3885**			**1490.35**		**8230.96**

Anexo D-2. Demanda energética de tomacorrientes de taller de Mecánica de Suelos.

TALLER DE MECÁNICA DE SUELOS							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Patio de ensayo de materiales	Otros	200	1	1	200	2	400
TOTAL		**200**			**200**		**400**

[22] Las tablas de datos mostradas en el presente Anexo son de elaboración propia.

Anexo D-3. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Ensayo de Materiales.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7.0	255.78
	Computador	300	0.65	0.7	136.50	6.0	819.00
	Teléfono fijo	15	0.85	1.0	12.75	2.0	25.50
Oficina 2	Ventilador de pie	85	0.87	0.6	44.37	8.0	354.96
	Computador	300	0.65	0.7	136.50	7.0	955.50
Oficina de Técnicos	Computador	300	0.65	0.7	136.50	6.0	819.00
	Computador	300	0.65	0.7	136.50	5.0	682.50
	Computador	300	0.65	0.7	136.50	5.0	682.50
	Computador	300	0.65	0.7	136.50	7.0	955.50
	Teléfono fijo	15	1.00	1.0	15.00	2.0	30.00
	Fotocopiadora	50	1.00	1.0	50.00	1.0	50.00
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7.0	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	7.0	255.78
Zona de mesas laboratorio	Otros	3000	0.6	0.5	900.00	0.6	540.00
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6.0	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6.0	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	4.0	146.16
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	4.0	146.16
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6.0	219.24
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	6.0	219.24
Zona de Ensayos	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	5.0	182.70
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	5.0	182.70
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	4.0	146.16
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	5.0	182.70
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	5.0	182.70
	Ventilador de techo	70	0.87	0.6	36.54	4.0	146.16
TOTAL		**6015**			**2389.22**		**8874.20**

Anexo D-4. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Física.

LABORATORIO DE FÍSICA							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas laboratorio	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	6	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	6	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	6	255.78
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	5	213.15
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	5	213.15
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	5	213.15
	Otros	350	0.90	1.00	315.00	1	315.00
Oficina 1	Computador	300	0.65	0.65	126.75	6	760.50
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	7	298.41
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.65	126.75	6	760.50
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	7	298.41
	Fotocopiadora	50	1.00	1.00	50.00	1	50.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.25	4	169.00
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.65	126.75	7	887.25
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	8	341.04
	Laptop	65	1.00	0.65	42.25	4	169.00
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.65	126.75	6	760.50
	Ventilador de techo	70	0.87	0.70	42.63	7	298.41
	Laptop	65	1.00	0.65	42.25	3	126.75
	Módem	12	1.00	1.00	12.00	24	288.00
TOTAL		**2507**			**1437.05**		**6929.56**

Anexo D-5. Demanda energética de tomacorrientes de Dirección IME.

DIRECCIÓN IME							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	Computador	300	0.65	0.70	136.5000	7	955.5000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	8	365.4000
Sala de reuniones	Proyector	250	1.00	1.00	250.0000	1	250.0000
	Laptop	65	1.00	0.70	45.5000	3	136.5000
	Laptop	65	1.00	0.70	45.5000	3	136.5000
	Laptop	65	1.00	0.70	45.5000	3	136.5000
	Laptop	65	1.00	0.70	45.5000	3	136.5000
	Ventilador de techo	65	0.87	0.75	42.4125	5	212.0625
	Ventilador de techo	65	0.87	0.75	42.4125	5	212.0625
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.70	136.5000	6	819.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7	319.7250
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.70	136.5000	7	955.5000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	8	365.4000
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.70	136.5000	6	819.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7	319.7250
Oficina 5	Computador	300	0.65	0.70	136.5000	6	819.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7	319.7250
	Teléfono fijo	15	1.00	1.00	15.0000	2	30.0000
	Fotocopiadora	50	1.00	1.00	50.0000	1	50.0000
	Módem	12	1.00	1.00	12.0000	24	288.0000
TOTAL		**2567**			**1504.7000**		**7646.1000**

Anexo D-6. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de Diseño y Tecnología Mecánica.

LABORATORIO DE DISEÑO Y TECNOLOGÍA MECÁNICA							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	Ventilador de techo	70	0.87	0.8	48.72	6.0	292.32
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	6.0	585.00
	Laptop	65	1.00	0.5	32.50	2.0	65.00
Sala de Reuniones	Ventilador de techo	70	0.87	0.8	48.72	3.0	146.16
	Ventilador de techo	70	0.87	0.8	48.72	3.0	146.16
	Otros	200	0.90	1.0	180.00	1.0	180.00
Oficina 2	Ventilador de techo	70	0.87	0.8	48.72	7.0	341.04
	Computador	300	0.65	0.5	97.50	7.0	682.50
	Laptop	65	1.00	0.6	39.00	2.0	78.00
Soldadura	Otros	2000	0.60	1.0	1200.00	0.5	600.00
TOTAL		**3210**			**1841.38**		**3116.18**

Anexo D-7. Demanda energética de tomacorrientes del Centro de Idiomas.

CENTRO DE IDIOMAS							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Secretaría	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7.0	319.7250
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	7.0	819.0000
Administración	Ventilador de pie	85	0.87	0.75	55.4625	7.0	388.2375
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	8.0	936.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	8.0	936.0000
	Impresora	30	1.00	1.00	30.0000	1.0	30.0000
Aula L11	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
	Proyector	250	1.00	1.00	250.0000	1.0	250.0000
	Otros	100	1.00	1.00	100.0000	1.0	100.0000
Pasillo	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	1.0	117.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	2.0	234.0000
	Fotocopiadora	50	1.00	1.00	50.0000	1.0	50.0000
	Módem	12	1.00	1.00	12.0000	24.0	288.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7.0	319.7250
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	8.0	365.4000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7.0	319.7250
	Cafetera	700	1.00	1.00	700.0000	0.2	140.0000
Oficina 1	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	7.0	819.0000
Sala de profesores	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	4.0	468.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	4.0	468.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	4.0	468.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	5.0	585.0000
	Computador	300	0.65	0.60	117.0000	6.0	702.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7.0	319.7250
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	7.0	319.7250
Sala de Lectura	Computador	300	0.65	0.50	97.5000	4.0	390.0000
	Computador	300	0.65	0.50	97.5000	4.0	390.0000
	Computador	300	0.65	0.50	97.5000	4.0	390.0000
	Computador	300	0.65	0.50	97.5000	3.0	292.5000
	Otros	300	0.80	1.00	240.0000	0.5	120.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	5.0	228.3750
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	5.0	228.3750
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	5.0	228.3750
	Ventilador de techo	70	0.87	0.75	45.6750	5.0	228.3750
TOTAL		**8827**			**4390.2125**		**17 172.2625**

Anexo D-8. Demanda energética de tomacorrientes del Auditorio IME.

AUDITORIO IME							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Cabina de Proyección	Proyector	280	1.00	1	280	1	280
	Otros	300	0.75	1	225	3	675
Depósito	Otros	300	0.75	1	225	2	450
Zona de butacas	Otros	350	0.80	1	280	2	560
TOTAL		**1230**			**1010**		**1965**

Anexo D-9. Demanda energética de tomacorrientes del laboratorio de Energía.

LABORATORIO DE ENERGÍA							
Ambientes	Aparatos electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina 1	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	5	195.000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	9	465.885
Sala de Tesistas 1	Computador	300	0.60	0.6	108.000	5	540.000
	Computador	300	0.65	0.6	117.000	5	585.000
	Computador	300	0.65	0.6	117.000	5	585.000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	6	255.780
Sala de Tesistas 2	Computador	300	0.90	0.6	162.000	5	810.000
	Computador	300	0.90	0.6	162.000	5	810.000
	Computador	300	0.90	0.6	162.000	5	810.000
	Computador	300	0.70	0.6	126.000	4	504.000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	8	341.040
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	7	362.355
Sala de Reuniones	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	6	255.780
	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	4	156.000
	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	5	195.000
	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	5	195.000
Oficina 2	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	5	195.000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
Oficina 3	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	7	362.355
	Computador	300	0.65	0.6	117.000	9	1053.000
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.6	117.000	5	585.000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	7	362.355
	Laptop	65	1.00	0.6	39.000	3	117.000
Sala principal	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
	Impresora	30	1.00	1.0	30.000	1	30.000
	Módem	12	1.00	1.0	12.000	24	288.000
	Nevera	350	0.70	1.0	245.000	24	5880.000
TOTAL		**4242**			**2171.840**		**16 833.78**

Anexo D-10. Demanda energética de tomacorrientes del laboratorio de Electrónica.

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina de Tesistas	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	7	887.2500
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	8	1014.0000
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	8	1014.0000
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	9	1140.7500
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	9	1140.7500
	Ventilador de pie	85	0.87	0.65	48.0675	5	240.3375
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	9	356.2650
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	8	316.6800
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	8	316.6800
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	9	356.2650
Oficina 1	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	7	277.0950
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	7	277.0950
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	7	887.2500
	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	6	760.5000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.65	48.0675	7	336.4725
Zona de mesas laboratorio	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	4	169.0000
	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	3	126.7500
	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	4	169.0000
	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	4	169.0000
	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	3	126.7500
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	6	237.5100
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	7	277.0950
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	6	237.5100
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	6	237.5100
	Demás aparatos	200	0.80	1.00	160.0000	3	480.0000
Sala de Investigación	Otros	300	0.80	1.00	240.0000	3	720.0000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	7	277.0950
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	7	277.0950
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	6	760.5000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.65	48.0675	9	432.6075
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	5	633.7500
	Ventilador de pie	85	0.87	0.65	48.0675	8	384.5400
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.65	126.7500	6	760.5000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.65	48.0675	8	384.5400
Sala de Proyectos	Proyector	250	1.00	1.00	250.0000	1	250.0000
	Pantalla	90	0.90	1.00	81.0000	1	81.0000
	Laptop	65	1.00	0.65	42.2500	2	84.5000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.65	39.5850	4	158.3400
TOTAL		**5565**			**3006.9425**		**16 755.9825**

Anexo D-11. Demanda energética de tomacorrientes de Soluciones de Software.

SOLUCIONES DE SOFTWARE							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Sala de Soluciones de Software	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	8	1326.00
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	8	1326.00
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Teléfono fijo	15	1.00	1.00	15.00	2	30.00
Oficina 1	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Impresora	30	1.00	0.50	15.00	3	45.00
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Impresora	30	1.00	0.50	15.00	3	45.00
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Impresora	30	1.00	0.50	15.00	3	45.00
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Impresora	30	1.00	0.50	15.00	3	45.00
	Teléfono fijo	15	1.00	1.00	15.00	2	30.00
Sala de Infraestructura	Computador	300	0.65	0.85	165.75	8	1326.00
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	8	1326.00
	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
	Laptop	65	1.00	1.00	65.00	4	260.00
Oficina 5	Computador	300	0.65	0.85	165.75	9	1491.75
Data Center I	Módulos de bases de datos	1000	0.90	1.00	900.00	24	21600.00
Data Center II	Módulos de bases de datos						
TOTAL		**5415**			**3375.50**		**42 321.5**

Anexo D-12. Demanda energética de tomacorrientes del pasillo del segundo piso.

PASILLO DEL SEGUNDO PISO							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina de servicios técnicos	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	8	583.2
	Teléfono fijo	15	0.9	1.0	13.5	1	13.5
Pasillo	Teléfono fijo	15	0.9	1.0	13.5	1	13.5
	Cámara de seguridad	18	1.0	1.0	18.0	24	432.0
	Medidor biométrico	20	1.0	1.0	20.0	24	480.0
TOTAL		**753**			**649.1**		**5538.0**

Anexo D-13. Demanda energética de tomacorrientes del pasillo del segundo piso.

PASILLO DEL SEGUNDO PISO							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Oficina de servicios técnicos	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Laptop	65	1.0	0.9	58.5	7	409.5
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	9	656.1
	Pantalla	90	0.9	0.9	72.9	8	583.2
	Teléfono fijo	15	0.9	1.0	13.5	1	13.5
Pasillo	Teléfono fijo	15	0.9	1.0	13.5	1	13.5
	Cámara de seguridad	18	1.0	1.0	18.0	24	432.0
	Medidor biométrico	20	1.0	1.0	20.0	24	480.0
TOTAL		**753**			**649.1**		**5538.0**

Anexo D-14. Demanda energética de tomacorrientes de laboratorio de SAC.

LABORATORIO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Sala	Televisor	120	0.90	1.00	108.000	2	216.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	6	253.50
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	6	253.50
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	6	253.50
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	6	253.50
Oficina 1	Computador	300	0.65	0.65	126.750	6	760.50
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	4	169.00
	Ventilador de pie	85	0.87	0.70	51.765	8	414.12
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.65	126.750	9	1140.75
	Ventilador de pie	85	0.87	0.70	51.765	8	414.12
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.65	126.750	6	760.50
	Ventilador de pie	85	0.87	0.70	51.765	8	414.12
Sala de Reuniones	Proyector	250	1.00	1.00	250.000	1	250.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	4	169.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	4	169.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	4	169.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	4	169.00
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	9	1140.75
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	7	887.25
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
	Laptop	65	1.00	0.65	42.250	5	211.25
Oficina 5	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
Oficina 6	Computador	300	0.65	0.65	126.750	9	1140.75
	Teléfono fijo	15	1.00	1.00	15.000	2	30.00
Oficina 7	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	7	887.25
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	9	1140.75
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	6	760.50
Oficina 8	Computador	300	0.65	0.65	126.750	5	633.75
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	8	1014.00
	Computador	300	0.65	0.65	126.750	9	1140.75
TOTAL		**6390**			**3105.545**		**20 286.11**

Anexo D-15. Demanda energética de tomacorrientes de Centro de Diseño.

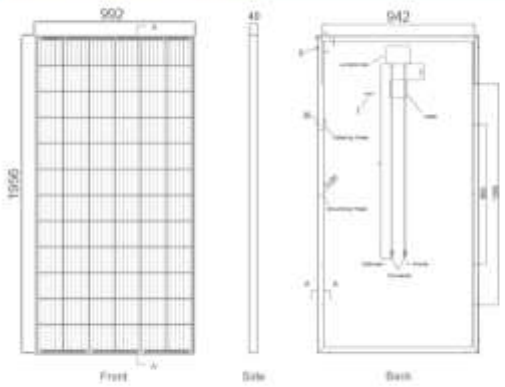
CENTRO DE DISEÑO							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Sala principal	Computador	300	0.65	0.5	97.500	3	292.500
	Computador	300	0.65	0.5	97.500	3	292.500
	Computador	300	0.65	0.5	97.500	3	292.500
	Computador	300	0.65	0.5	97.500	3	292.500
	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	5	213.150
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	5	213.150
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	5	213.150
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	5	213.150
Oficina 1 (ASME)	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Laptop	65	1.00	0.5	32.500	3	97.500
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	6	310.590
Oficina 2	Computador	300	0.65	0.5	97.500	5	487.500
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	5	258.825
Oficina 3	Computador	300	0.65	0.5	97.500	6	585.000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	7	362.355
Oficina 4	Computador	300	0.65	0.5	97.500	6	585.000
	Ventilador de pie	85	0.87	0.7	51.765	8	414.120
Oficina 5	Computador	300	0.65	0.5	97.500	8	780.000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
Oficina 6	Computador	300	0.65	0.5	97.500	6	585.000
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
Oficina 7	Computador	300	0.65	0.5	97.500	7	682.500
	Ventilador de techo	70	0.87	0.7	42.630	7	298.410
TOTAL		**4220**			**1675.470**		**8553.720**

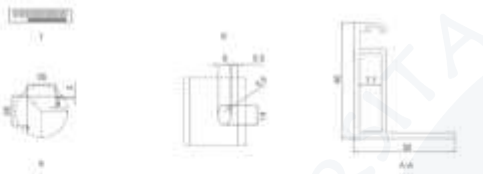
Anexo D-16. Demanda energética de tomacorrientes de Metalotecnia.

LABORATORIO DE METALOTECNIA							
Ambientes	Aparatos Electrónicos	Potencia nominal (W)	Factor de utilización (fu) máximo	Factor de simultaneidad (fs) máximo	Máxima demanda (W)	Número de horas en promedio utilizadas al día	Energía promedio diaria consumida (Wh)
Zona de mesas de Laboratorio	Computador	300	0.650	0.50	97.5000	7	682.5000
	Teléfono fijo	15	1.000	1.00	15.0000	2	30.0000
	Ventilador de techo	70	0.870	0.65	39.5850	6	237.5100
	Ventilador de techo	70	0.870	0.65	39.5850	6	237.5100
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	3	97.5000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	3	97.5000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	3	97.5000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	3	97.5000
Zona de pulido de piezas	Ventilador de techo	70	0.870	0.65	39.5850	3	118.7550
	Otros	500	0.700	1.00	350.0000	2	700.0000
	Horno eléctrico	1500	0.585	1.00	877.5000	3	2632.5000
Sala de Seminarios	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	4	130.0000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	5	162.5000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	4	130.0000
	Laptop	65	1.000	0.50	32.5000	3	97.5000
Oficina 1	Computador	300	0.650	0.50	97.5000	6	585.0000
	Ventilador de pie	85	0.870	0.65	48.0675	9	432.6075
Oficina 2	Computador	300	0.650	0.50	97.5000	6	585.0000
	Ventilador de pie	85	0.870	0.65	48.0675	9	432.6075
	Teléfono fijo	15	1.000	1.00	15.0000	2	30.0000
Oficina 3	Computador	300	0.650	0.50	97.5000	5	487.5000
	Ventilador de pie	85	0.870	0.65	48.0675	6	288.4050
Oficina 4	Computador	300	0.650	0.50	97.5000	6	585.0000
	Ventilador de pie	85	0.870	0.65	48.0675	7	336.4725
TOTAL		**4600**			**2316.0250**		**9311.3675**

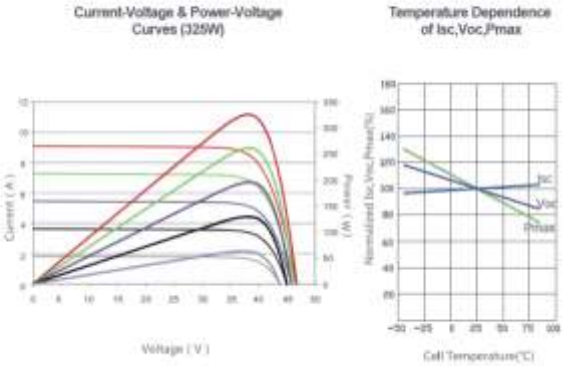
Anexo E. Características técnicas del panel solar Jinko.

Engineering Drawings





Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No.of cells	72 (6×12)
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	26.5 kg (58.4 lbs)
Front Glass	4.0mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm², Length: 1200mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

26pcs/pallet, 52pcs/stack, 624 pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM320PP-72		JKM325PP-72		JKM330PP-72		JKM335PP-72		JKM340PP-72	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	320Wp	237Wp	325Wp	241Wp	330Wp	245Wp	335Wp	249Wp	340Wp	253Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V	38.0V	35.6V	38.2V	35.9V
Maximum Power Current (Imp)	8.56A	6.83A	8.66A	6.89A	8.74A	6.94A	8.82A	6.99A	8.91A	7.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	46.4V	43.0V	46.7V	43.3V	46.9V	43.6V	47.2V	43.8V	47.5V	44.0V
Short-circuit Current (Isc)	9.05A	7.35A	9.10A	7.40A	9.14A	7.45A	9.18A	7.52A	9.22A	7.98A
Module Efficiency STC (%)	16.49%		16.75%		17.01%		17.26%		17.52%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/℃									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/℃									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/℃									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

Fuente: Ficha técnica del fabricante Jinko Solar.

Anexo F. Características técnicas de las baterías estacionarias BAE.

BAE *Secura PVV Solar*

Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA-GEL)

1. Application

BAE *Secura PVV Solar* batteries are the ideal solution for storage of regenerative energy in home systems and in the industrial sectors. Robustness and reliability are characteristic for BAE *Secura PVV Solar* batteries. In addition, they do not require any refilling of water during the whole battery life time and are maintenance-free.

The special electrode design with tubular electrodes and the fixed gel electrolyte distinguish the BAE *Secura PVV Solar* batteries and lead to high security and reliability as well as high cycle life time.

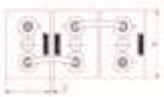
Similar to the illustration

2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

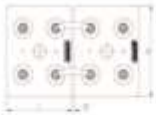
Type	$C_{1\,h}$ Ah	$C_{10\,h}$ Ah	$C_{20\,h}$ Ah	$C_{72\,h}$ Ah	$C_{100\,h}$ Ah	$C_{120\,h}$ Ah	$C_{240\,h}$ Ah	R_i 1) mΩ	I_k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight kg
U_n V/cell	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
2 PVV 140	71	121	134	153	157	158	165	1.65	1.30	105	208	420	12.4
3 PVV 210	107	182	202	229	236	238	247	1.15	1.86	105	208	420	17.1
4 PVV 280	143	243	268	306	314	318	331	0.89	2.40	105	208	420	19.4
5 PVV 350	179	304	336	383	393	397	412	0.73	2.91	126	208	420	23.3
6 PVV 420	215	364	404	460	472	477	496	0.63	3.39	147	208	420	27.4
5 PVV 550	254	447	506	570	583	589	609	0.68	3.14	126	208	535	31.4
6 PVV 660	302	529	598	671	686	693	715	0.58	3.64	147	208	535	36.9
7 PVV 770	350	610	688	770	788	795	820	0.52	4.12	168	208	535	42.4
6 PVV 900	417	729	834	943	968	978	1,012	0.46	4.63	147	208	710	49.5
7 PVV 1050	492	858	980	1,116	1,140	1,154	1,195	0.36	5.81	215	193	710	60.4
8 PVV 1200	559	970	1,106	1,252	1,280	1,296	1,344	0.32	6.54	215	193	710	67.3
9 PVV 1350	616	1,090	1,252	1,418	1,450	1,464	1,524	0.34	6.29	215	235	710	75.5
10 PVV 1500	691	1,200	1,382	1,562	1,600	1,620	1,675	0.28	7.50	215	235	710	82.5
11 PVV 1650	748	1,320	1,512	1,713	1,750	1,764	1,836	0.28	7.56	215	277	710	90.8
12 PVV 1800	822	1,440	1,644	1,857	1,900	1,920	1,989	0.24	8.63	215	277	710	97.7
11 PVV 2090	839	1,570	1,772	2,023	2,070	2,088	2,169	0.27	7.86	215	277	855	108.2
12 PVV 2280	927	1,710	1,918	2,181	2,230	2,256	2,337	0.23	9.18	215	277	855	116.5
13 PVV 2470	1,040	1,890	2,120	2,426	2,490	2,508	2,592	0.18	11.91	215	400	815	131.4
14 PVV 2660	1,125	2,070	2,320	2,678	2,740	2,772	2,880	0.17	12.63	215	400	815	141.2
15 PVV 2850	1,191	2,170	2,420	2,772	2,840	2,868	2,976	0.16	13.25	215	400	815	147.9
16 PVV 3040	1,265	2,300	2,580	2,937	3,000	3,036	3,144	0.15	13.94	215	400	815	156.2
17 PVV 3230	1,358	2,480	2,780	3,182	3,260	3,300	3,408	0.14	15.32	215	490	815	173.6
18 PVV 3420	1,433	2,610	2,920	3,348	3,420	3,468	3,576	0.13	16.03	215	490	815	181.4
19 PVV 3610	1,507	2,740	3,080	3,506	3,590	3,624	3,744	0.12	16.70	215	490	815	189.6
20 PVV 3800	1,581	2,870	3,220	3,664	3,750	3,792	3,912	0.12	17.37	215	490	815	197.8
22 PVV 4180	1,740	3,210	3,600	4,118	4,220	4,272	4,416	0.11	18.43	215	580	815	219.1
24 PVV 4560	1,887	3,470	3,900	4,442	4,550	4,596	4,752	0.10	19.76	215	580	815	235.4
26 PVV 4940	2,014	3,650	4,060	4,608	4,710	4,764	4,920	0.10	21.02	215	580	815	248.4

1, 2) Internal resistance R_i and short circuit current I_k according to IEC 60896-21
Height (H) is the maximum height between container bottom and top of the bolts in assembled condition.
All values published in the table correspond to 100 % discharge of current depending capacity without voltage drop of connectors. Please consider item 7.

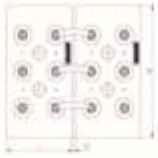
3. Terminal positions



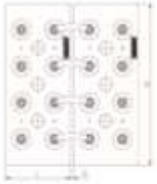
2 PVV 140 to 6 PVV 900



7 PVV 1050 to 12 PVV 2280



13 PVV 2470 to 16 PVV 3040



17 PVV 3230 to 26 PVV 4940

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm² or insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm².

BAE
Energy from Batteries

Fuente: Ficha técnica del fabricante BAE.

Technical Specification for BAE *Secura PVV Solar*

4. Design

Positive electrode	Tubular-plate with woven polyester gauntlet and solid grids in a corrosion-resistant PbCaSn-alloy
Negative electrode	Grid-plate in PbCaSn-alloy with long-life expander material
Separation	Microporous separator
Electrolyte	Sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l (20 °C), fixed as GEL by fumed silica
Container and lid	High impact ABS (Acrylonitrile butadiene styrene), grey coloured (colour may vary slightly from given image), UL-94 rating: HB, on request also in UL-94 rating: V-0
Valve	Valve with flame arrestor, opening pressure approx. 120 mbar
Pole bushing	100 % gas- and electrolyte-tight, sliding, plastic coated "Panzerpol"
Kind of protection	IP 25 regarding EN 60529, touch protected according to BGV A3
Horizontal operation	Please use BAE special type PVV "horizontal".

5. Installation

BAE *Secura PVV Solar* batteries are designed for indoor applications.
For outdoor applications please contact BAE.

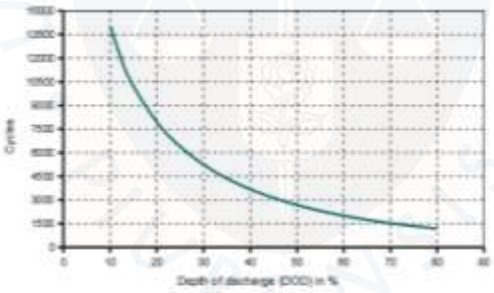
6. Maintenance

Every 6 months	Check battery voltage, pilot cell voltages and temperatures
Every 12 months	Check connections, record battery voltage, cell voltages and temperatures

7. Operational data

Depth of discharge (DOD)	Max. 80 % (U_e = 1.91 V/cell for discharge times >10 h; 1.74 V/cell for 1 h), deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided
Initial charge current (I or bulk phase)	Unlimited, the minimal charge current has to be 1.5 A/100 Ah C_{10}
Charge voltage at cyclic operation	Restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell, operating instruction is to be observed
Float voltage/non cyclic operation	2.25 V/cell
Adjustment of charge voltage	No adjustment necessary if battery temperature is kept between 10 °C and 45 °C (50 °F and 113 °F) in the monthly average, $\Delta U/\Delta T$ = -0.003 V/cell per K below 10 °C (50 °F)
Recharge to 100 %	Within a period of 1 up to 4 weeks
Battery temperature	-20 °C to 45 °C (-4 °F to 113 °F), recommended temperature range 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F)
Self-discharge	Approx. 2 % per month at 20 °C (68 °F)
IEC 61427 cycles	>3,000 (A+B) at 40 °C (104 °F)
IEC 60896-21 cycles	>1,500 at 20 °C (68 °F)

8. Number of cycles as function of Depth of discharge



9. Transport

Batteries are not subject to ADR (road transport), if the conditions of Special Provisions 598 and 238 (Chapter 3.3) are observed.
BAE cells/batteries are conform to the IMDG-Code, therefore these products are no dangerous goods on sea transport.

10. Standards

Test standards	IEC 60896-21, IEC 61427
Safety standard, ventilation	IEC 62485-2

BAE Batterien GmbH
Wilhelminenhofstraße 69/70
12459 Berlin
Germany

Tel.: +49 (0)30 53001-661
Fax: +49 (0)30 53001-667
E-Mail: info@bae-berlin.de
www.bae-berlin.de

BAE
Energy from Batteries

Fuente: Ficha técnica del fabricante BAE.

Anexo G. Características técnicas del regulador de carga STECA.

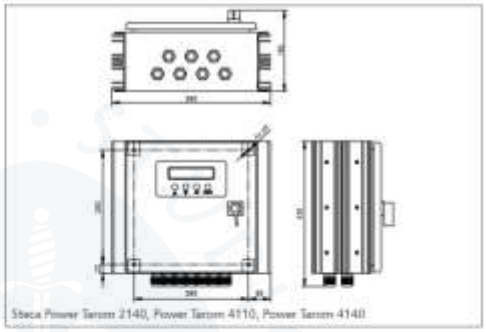
Steca Power Tarom

2070, 2140, 4055, 4110, 4140

Especialmente concebido para aplicaciones industriales y al aire libre, el Steca Power Tarom se suministra en una carcasa de acero recubierto de polvo sinterizado con grado de protección IP 65.

Con este regulador de carga solar se pueden regular sistemas hasta 8.400 Wp en tres niveles de tensión (12 V, 24 , 48 V). El Steca Power Tarom está basado en la tecnología de los reguladores Steca Tarom. Es posible conectar en paralelo varios reguladores de esta serie para operarlos en un sistema de energía solar doméstico sencillo o sistema híbrido mediante un bus CC convencional. De esta manera se puede alcanzar también una potencia superior a 20 kWp.

55 A...140 A



Steca Power Tarom 2140, Power Tarom 4110, Power Tarom 4140

Características del producto
- Regulador híbrido
- Determinación del estado de carga con Steca AtonIC (SOC)
- Selección automática de tensión
- Regulación MAP
- Tecnología de carga escalonada
- Desconexión de carga en función de SOC
- Reconexión automática del consumidor
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o sólo en uno de los terminales negativos
- Registrador de datos integrado
- Función de luz nocturna con Steca PA 15
- Función de autotest
- Carga mensual de mantenimiento
- Contador de energía integrado

Funciones de protección electrónica
- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

Indicaciones
- Display LCD para textos
  - para parámetros de funcionamiento, avisos de fallo, autotest

Manejo
- Fácil manejo con menús
- Programación por medio de botones
- Conmutación manual de carga

Interfaces
- Interfaz RJ45

Opciones
- Sensor de temperatura externo (incluida en el volumen de suministro)
- Contacto de alarma
- Monitorización de la instalación mediante cable de datos Steca PA CAB 1 Tarcom

Certificaciones
- Aprobado por el Banco Mundial para Nepal
- Conforme al uso en zonas tropicales (DIN IEC 68 parte 2-30)
- Conforme a los estándares europeos (CE)
- Fabricado en Alemania
- Desarrollado en Alemania
- Fabricado conforme a ISO 9001 e ISO 14001

	2070	2140	4055	4110	4140
Funcionamiento					
Tensión del sistema	12 V (24 V)		48 V		
Consumo propio	14 mA				
Datos de entrada CC					
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 50 V		< 100 V		
Corriente del módulo	70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
Datos de salida CC					
Corriente de consumo	70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)		54,8 V		
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)		57,6 V		
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)		58,8 V		
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)		> 50 % / 50,4 V		
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)		< 30 % / 44,4 V		
Condiciones de uso					
Temperatura ambiente	-10 °C ... +60 °C				
Equipamiento y diseño					
Ajuste del tipo de batería	líquido (ajustable a través menú)				
Terminal (cable fino / único)	50 mm² - AWG 1	95 mm² - AWG 000	50 mm² - AWG 1	70 mm² - AWG 00	95 mm² - AWG 000
Grado de protección	IP 65				
Dimensiones (X x Y x Z)	330 x 330 x 180 mm	380 x 330 x 180 mm	330 x 330 x 180 mm	380 x 330 x 180 mm	
Peso	10 kg				

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

Steca PA Tarcom registrador de datos y Steca PA CAB1 cable de datos

Steca PA HS200
Shunt

Steca PA 15
Control remoto

Áreas de aplicación

Fuente: Ficha técnica del fabricante Steca.

Anexo H. Características técnicas del inversor solar Phoenix.

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Si				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					
Relé programable (3)	Si				
Protección (4)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Si				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP 21				
Conexiones de la batería	cables de batería de 1,5 metros se incluye		Pernos M8	2+2 Pernos M8	
Conexiones 230 V CA	Enchufe G-ST18i		Abrazadera-resorte	Bornes atornillados	
Peso (kg)	10		12	18	30
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375x214x110		520x255x125	362x258x218	444x328x240
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Directiva de automoción	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	

1) Puede ajustarse a 60 Hz, y a 240 V.
2) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
3) Relé programable que puede configurarse en alarma general, subtensión de CD o como señal de arranque de un generador (es necesario el interfaz MK2 y el software VEConfigure)
Capacidad nominal CA 230V / 4A
Capacidad nominal CC 4 A hasta 35VDC, 1 A hasta 60VDC

4) Protección:
a) Cortocircuito de salida
b) Sobrecarga
c) Tensión de la batería demasiado alta
d) Tensión de la batería demasiado baja
e) Temperatura demasiado alta
f) 230 V CA en la salida del inversor
g) Ondulación de la tensión de entrada demasiado alta

Panel de Control para Inversor Phoenix
También puede utilizarse en un inversor/cargador MultiPlus cuando se desea disponer de un conmutador de transferencia automático, pero no de la función como cargador. La luminosidad de los LED se reduce automáticamente durante la noche.

Funcionamiento y supervisión controlados por ordenador
Hay varias interfaces disponibles:

Color Control GX
Proporciona monitorização e controlo, de forma local e remota, no Portal VRM.

Interfaz MK3-USB VE.Bus a USB
Se conecta a un puerto USB (ver Guía para el VEConfigure*)

Interfaz VE.Bus a NMEA 2000
Liga o dispositivo a uma rede eletrónica marinha NMEA2000. Consulte o guia de integração NMEA2000 e MFD

Monitor de baterías BMV-700
El monitor de baterías BMV-700 dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de medición de alta resolución de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo, como la fórmula Peukert, para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

Hay varios modelos disponibles (ver la documentación del monitor de baterías).

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

victron energy
BLUE POWER

Fuente: Ficha técnica del fabricante Victron Energy.