



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Estimación del potencial fotovoltaico integrado en edificios en  
las instalaciones de la Escuela Naval Militar*

### Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** Antonio Duelo Urcelay

**DIRECTORES:** Andrés Suárez García

Guillermo Lareo Calviño

**CURSO ACADÉMICO:** 2015-2016

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Estimación del potencial fotovoltaico integrado en edificios en  
las instalaciones de la Escuela Naval Militar*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidad de Vigo



## **RESUMEN**

Las energías renovables, entre las que se encuentra la energía fotovoltaica, están tomando cada vez mayor relevancia en el ámbito energético internacional ante el temor a cuestiones ambientales como el cambio climático y la falta de sostenibilidad de otros medios de obtención de energía. La Escuela Naval Militar de Marín, como base militar, puede beneficiarse de una instalación fotovoltaica en dos sentidos: conseguir un importante ahorro económico mediante la producción y venta de energía eléctrica, y alcanzar la autonomía energética en lo relativo a electricidad. Los objetivos del presente trabajo son estimar el potencial fotovoltaico integrado en los edificios de la ENM y proponer un modelo de instalación adecuado. Además del estudio energético de la instalación, se pretende llevar a cabo un estudio económico para determinar su viabilidad. Estos objetivos se cumplirán mediante el modelado 3D de los edificios estudiados y su análisis mediante el software SketchUp, Skelion y PVGIS. Posteriormente se analizarán energéticamente y económicamente, y se sacarán conclusiones utilizando datos y métodos de estudios previos de temática similar. Los resultados obtenidos demostraron que la instalación podría proporcionar autonomía eléctrica a la ENM además de generar importantes beneficios económicos, por lo que se recomienda contemplar la posibilidad de llevar a cabo la instalación del sistema fotovoltaico.

## **PALABRAS CLAVE**

energía fotovoltaica, Escuela Naval Militar, integración en edificios, electricidad, autoconsumo



## **AGRADECIMIENTOS**

A Andrés Suárez García, director del trabajo, por su paciencia y disponibilidad ante cualquier duda o inquietud y sus acertados consejos.

A mi familia y amigos, por apoyarme y escucharme cuando no todo sale bien.

A todos los profesores y personal docente que ha contribuido a mi formación, a los que les debo una buena parte de lo que soy.

Al arquitecto d. José Mel Fraga, por su disponibilidad y ayuda en la obtención de los planos necesarios en la realización de este trabajo.



## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Contenido</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Índice de Figuras</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>Índice de Tablas</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>Índice de Ecuaciones</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1 Introducción y objetivos</b> .....                                   | <b>13</b> |
| <b>1.1 Antecedentes</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>1.2 Objetivos</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>1.3 Ubicación</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>1.4 Marco legal</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>1.5 Estructura</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>2 Estado del arte</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>2.1 Introducción</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>2.2 Energía fotovoltaica</b> .....                                     | <b>17</b> |
| 2.2.1 Geometría solar .....   | 17        |
| 2.2.2 Irradiancia e irradiación solar .....                               | 19        |
| 2.2.3 Orientación e inclinación de los captadores .....                   | 21        |
| 2.2.4 Fundamentos de la conversión fotovoltaica .....                     | 22        |
| <b>2.3 Células fotovoltaicas</b> .....                                    | <b>27</b> |
| 2.3.1 Silicio monocristalino.....   | 28        |
| 2.3.2 Silicio policristalino .....  | 28        |
| 2.3.3 Capa delgada .....  | 28        |
| 2.3.4 Silicio amorfo .....  | 29        |
| <b>2.4 Instalaciones solares fotovoltaicas</b> .....                      | <b>29</b> |
| 2.4.1 Sistemas conectados a la red .....                                  | 29        |
| 2.4.2 Sistemas aislados .....   | 30        |
| 2.4.3 Otros criterios de clasificación .....                              | 31        |
| 2.4.4 Componentes de una instalación fotovoltaica de conexión a red.....  | 32        |
| 2.4.5 Módulos fotovoltaicos .....   | 33        |
| <b>2.5 Implantación en la edificación</b> .....                           | <b>39</b> |
| 2.5.1 Generalidades .....   | 39        |
| 2.5.2 Grados de integración.....  | 40        |
| 2.5.3 Integración en cubiertas.....                                       | 41        |
| <b>2.6 Situación actual de la tecnología fotovoltaica en España</b> ..... | <b>42</b> |
| 2.6.1 Análisis de las tecnologías en el mercado actual.....               | 42        |
| 2.6.2 Investigación y Desarrollo I+D .....                                | 43        |
| 2.6.3 Evolución de las eficiencias .....                                  | 44        |
| 2.6.4 Evolución de los precios.....                                       | 45        |
| 2.6.5 Actores clave del sector.....                                       | 46        |
| 2.6.6 Mercado actual y efectos del CTE .....                              | 47        |
| <b>3 Desarrollo y métodos del TFG</b> .....                               | <b>49</b> |
| <b>3.1 Descripción general</b> .....                                      | <b>49</b> |
| <b>3.2 Diseño 3D. Modelado de edificios</b> .....                         | <b>49</b> |
| 3.2.1 Descripción.....  | 49        |
| 3.2.2 Software utilizado.....   | 49        |
| 3.2.3 Selección de edificios de interés .....                             | 50        |
| 3.2.4 Distribución para el modelado de edificios .....                    | 52        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.2.5 Obtención de planos y otras herramientas.....                  | 53         |
| 3.2.6 Modelado de edificios .....                                    | 55         |
| 3.2.7 Geolocalización y geometría del terreno .....                  | 59         |
| <b>3.3 Simulación.....</b>   | <b>64</b>  |
| 3.3.1 Descripción.....   | 64         |
| 3.3.2 Software utilizado.....  | 64         |
| 3.3.3 Inserción de paneles fotovoltaicos en las cubiertas.....       | 67         |
| 3.3.4 Inserción de datos meteorológicos .....                        | 70         |
| 3.3.5 Simulación con PVGIS .....                                     | 71         |
| <b>3.4 Estudio energético .....</b>                                  | <b>74</b>  |
| 3.4.1 Descripción.....   | 74         |
| 3.4.2 Análisis de la irradiación solar .....                         | 74         |
| 3.4.3 Selección de la instalación fotovoltaica .....                 | 77         |
| 3.4.4 Cálculo de la energía eléctrica entregada a red .....          | 78         |
| 3.4.5 Consumos eléctricos y ratio de autoabastecimiento.....         | 80         |
| <b>3.5 Estudio económico.....</b>                                    | <b>81</b>  |
| 3.5.1 Descripción.....   | 81         |
| 3.5.2 Inversión inicial necesaria de la instalación .....            | 81         |
| 3.5.3 Costes de mantenimiento y operación.....                       | 82         |
| 3.5.4 Cargos debidos al Real Decreto 900/2015 .....                  | 84         |
| 3.5.5 Amortización de la instalación .....                           | 88         |
| 3.5.6 Análisis de sensibilidad .....                                 | 90         |
| <b>4 Resultados .....</b>  | <b>91</b>  |
| <b>4.1 Comentarios generales .....</b>                               | <b>91</b>  |
| <b>4.2 Diseño 3D.....</b>  | <b>91</b>  |
| 4.2.1 Modelado de edificios .....                                    | 91         |
| 4.2.2 Geolocalización y geometría del terreno .....                  | 96         |
| <b>4.3 Simulación.....</b>   | <b>96</b>  |
| 4.3.1 Inserción de paneles fotovoltaicos en las cubiertas.....       | 96         |
| 4.3.2 Simulación con PVGIS .....                                     | 97         |
| <b>4.4 Estudio energético .....</b>                                  | <b>97</b>  |
| 4.4.1 Superficie de tejado .....                                     | 97         |
| 4.4.2 Análisis de la irradiación solar .....                         | 99         |
| 4.4.3 Potencia de pico de la instalación.....                        | 103        |
| 4.4.4 Producción anual de energía eléctrica .....                    | 105        |
| 4.4.5 Consumos eléctricos y ratio de autoabastecimiento.....         | 107        |
| <b>4.5 Estudio económico .....</b>                                   | <b>109</b> |
| 4.5.1 Inversión inicial necesaria de la instalación .....            | 109        |
| 4.5.2 Costes de mantenimiento y operación.....                       | 111        |
| 4.5.3 Cargos debidos al Real Decreto 900/2015 .....                  | 113        |
| 4.5.4 Costes globales de la instalación fotovoltaica en la ENM ..... | 113        |
| 4.5.5 Amortización de la instalación .....                           | 114        |
| 4.5.6 Análisis de sensibilidad .....                                 | 117        |
| <b>5 Conclusiones y líneas futuras .....</b>                         | <b>121</b> |
| <b>5.1 Conclusiones.....</b>   | <b>121</b> |
| 5.1.1 Conclusiones generales y limitaciones.....                     | 121        |
| 5.1.2 Conclusión final y recomendación .....                         | 123        |
| <b>5.2 Líneas futuras .....</b>                                      | <b>123</b> |
| <b>6 Bibliografía.....</b>   | <b>125</b> |
| <b>Anexo I: Planos utilizados en el modelado de edificios.....</b>   | <b>129</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Anexo II: Tablas de resultados de irradiación solar anual incidente en tejados.....</b>        | <b>141</b> |
| <b>Anexo III: Tablas de resultados de irradiación solar mensual incidente en tejados .....</b>    | <b>159</b> |
| <b>Anexo IV: Caracterización estadística de la irradiación mensual incidente en tejados .....</b> | <b>189</b> |
| <b>Anexo V: Tablas de Cálculos energéticos y costes.....</b>                                      | <b>193</b> |
| <b>Anexo VI: Tablas de cálculo del estudio de amortización .....</b>                              | <b>199</b> |
| <b>Anexo VII: Tabla de cálculo del análisis de sensibilidad.....</b>                              | <b>201</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1-1 Potencial de generación de energía solar fotovoltaica [1].   | 13 |
| Figura 1-2 Ubicación de la provincia de Pontevedra en España [2].   | 14 |
| Figura 1-3 Vista aérea de la Escuela Naval Militar de Marín [3].  | 15 |
| Figura 2-1 Eclíptica solar. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol [4].  | 17 |
| Figura 2-2 Movimiento relativo del Sol respecto a la Tierra [4].  | 18 |
| Figura 2-3 Representación gráfica de las coordenadas solares [5].   | 19 |
| Figura 2-4 Tipos de irradiancia solar existentes [7].   | 20 |
| Figura 2-5 Diagrama de aproximación de pérdidas fotovoltaicas por orientación e inclinación [8].  | 21 |
| Figura 2-6 Representación gráfica de las coordenadas solares y los ángulos de orientación de un panel fotovoltaico [9].                     | 22 |
| Figura 2-7 Conducción de electrones y huecos en un material semiconductor [11].   | 23 |
| Figura 2-8 Estructura de bandas en un semiconductor [10].   | 24 |
| Figura 2-9 Dopaje de material semiconductor de Si [12].   | 25 |
| Figura 2-10 Variación de la concentración relativa de electrones con la temperatura en un material dopado con impurezas donadoras [13].     | 25 |
| Figura 2-11 Unión p-n [14].   | 26 |
| Figura 2-12 Efecto fotovoltaico en una célula solar [9].  | 27 |
| Figura 2-13 Clasificación de células solares según el tipo de material semiconductor que las constituye y según su estructura interna [15]. | 27 |
| Figura 2-14 Célula de silicio monocristalino [4].   | 28 |
| Figura 2-15 Célula de silicio policristalino [4].   | 28 |
| Figura 2-16 Jerarquía en una instalación fotovoltaica [16].   | 29 |
| Figura 2-17 Ilustración ejemplo de instalación solar fotovoltaica conectada a red [17].   | 30 |
| Figura 2-18 Ilustración ejemplo de instalación solar fotovoltaica aislada [20].   | 31 |
| Figura 2-19 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas y sus principales aplicaciones [21].   | 31 |
| Figura 2-20 Esquema general de instalación de energía solar fotovoltaica de conexión a red [1].   | 33 |
| Figura 2-21 Elementos de un módulo fotovoltaico [22].   | 33 |
| Figura 2-22 Característica V-I de un módulo fotovoltaico [4].   | 34 |
| Figura 2-23 Esquema de la conexión de módulos y de la caja de conexión [12].  | 35 |
| Figura 2-24 Interior de un inversor para instalación fotovoltaica de conexión a red [14].   | 36 |
| Figura 2-25 Esquema de una instalación fotovoltaica con cuadros de protección y contadores [8].   | 37 |
| Figura 2-26 Esquema de instalación de equipos de protección de niveles 1 y 2 [23].  | 38 |
| Figura 2-27 Esquema de instalación de equipos de protección PCA y CIA [23].   | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2-28 Contadores de entrada y salida y protecciones de una instalación de potencia 7,5 kW [4].....                 | 39 |
| Figura 2-29 Método de análisis para incorporar una instalación FV a un edificio [25].....                                | 40 |
| Figura 2-30 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración nulo [25].....                 | 40 |
| Figura 2-31 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración medio [25].....                | 41 |
| Figura 2-32 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración alto [25].....                 | 41 |
| Figura 2-33 Evolución indicativa de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos hasta 2010 ( [20]).                       | 45 |
| Figura 2-34 Evolución aproximada del precio llave en mano de una instalación pequeña en España ( [27]).                  | 46 |
| Figura 3-1 Modelo SketchUp 3D Warehouse [28].  | 50 |
| Figura 3-2 Emplazamiento de los edificios seleccionados para estudio.  | 52 |
| Figura 3-3 Medidor láser BOSCH GLM 100C Professional.  | 55 |
| Figura 3-4 Base del edificio “Méndez Núñez” en el programa SketchUp.....   | 56 |
| Figura 3-5 Bloques extruidos del edificio “Méndez Núñez”.  | 56 |
| Figura 3-6 Trazado del triángulo base para una cubierta a dos aguas.....   | 57 |
| Figura 3-7 Modelado de las caras triangulares en los extremos de las cubiertas a dos aguas.....                          | 57 |
| Figura 3-8 Trazado del contorno de un arco en la fachada del cuartel “Méndez Núñez”.....                                 | 58 |
| Figura 3-9 Vaciado del contorno de un arco en la fachada del cuartel “Méndez Núñez”.                                     | 58 |
| Figura 3-10 Selección de la región deseada para añadir localización a un modelo de SketchUp....                          | 59 |
| Figura 3-11 Localización geográfica de la ENM en un modelo de SketchUp.....  | 60 |
| Figura 3-12 Forma topográfica del terreno correspondiente a la localización geográfica de un modelo de SketchUp.         | 60 |
| Figura 3-13 Rectángulo base para la creación de una malla de terreno en SketchUp.....                                    | 61 |
| Figura 3-14 Generación de malla de terreno en un modelo de SketchUp.....   | 61 |
| Figura 3-15 Malla del terreno de la localización de un modelo de SketchUp.   | 62 |
| Figura 3-16 Cimientos del Hospital de la ENM modelados en SketchUp.  | 63 |
| Figura 3-17 Hospital de la ENM posicionado sobre el terreno en un modelo de SketchUp.....                                | 63 |
| Figura 3-18 Ventana de definición de parámetros de la herramienta PVGIS. Selección de localización [30].....             | 65 |
| Figura 3-19 Ventana de definición de parámetros de la herramienta PVGIS. Selección de parámetros de la instalación [30]. | 66 |
| Figura 3-20 Archivo de resultados generados tras una simulación de la herramienta PVGIS [30].                            | 66 |
| Figura 3-21 Herramienta “Surface azimuth and tilt” del software Skelion.....   | 67 |
| Figura 3-22 Datos de área, orientación y elevación de la cubierta de Torpedos 1.....                                     | 67 |
| Figura 3-23 Herramienta “Insert solar components” del software Skelion.....  | 68 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3-24 Parámetros de orientación y tipo de panel en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.....         | 68  |
| Figura 3-25 Parámetros de disposición de los paneles en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.....          | 69  |
| Figura 3-26 Parámetros de sombras entre paneles en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.....               | 69  |
| Figura 3-27 Paneles insertados sobre una cubierta mediante el software Skelion. ....  | 70  |
| Figura 3-28 Herramienta “Meteorological data” del software Skelion .....  | 70  |
| Figura 3-29 Introducción de un archivo meteorológico en la herramienta “Meteorological data” del software Skelion.....              | 71  |
| Figura 3-30 Herramienta “Report” del software Skelion.....  | 71  |
| Figura 3-31 Parámetros de configuración de un modelo previos a la simulación con la herramienta PVGIS. ....                         | 72  |
| Figura 3-32 Ventana de configuración de la simulación de la herramienta PVGIS. ....   | 72  |
| Figura 3-33 Informe de resultados de la simulación de la herramienta PVGIS.....   | 73  |
| Figura 3-34 Evolución de los costes de operación y mantenimiento de una instalación fotovoltaica en tejado [21]. ....               | 83  |
| Figura 3-35 Tipos de días a efectos de la aplicación de los peajes de los peajes del sector eléctrico [34].....                     | 85  |
| Figura 3-36 Evolución del precio del kWh de la electricidad [38]. ....  | 89  |
| Figura 4-1 Modelado tridimensional del Cuartel de marinería “Méndez Núñez” de la Escuela Naval Militar.....                         | 92  |
| Figura 4-2 Modelado tridimensional del Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria” de la Escuela Naval Militar.....                 | 92  |
| Figura 4-3 Modelado tridimensional del Hospital de la Escuela Naval Militar.....  | 93  |
| Figura 4-4 Modelado tridimensional del Edificio de aulas “Isaac Peral” de la Escuela Naval Militar.....                             | 93  |
| Figura 4-5 Modelado tridimensional de la Residencia de oficiales “Javier Quiroga” de la Escuela Naval Militar.....                  | 94  |
| Figura 4-6 Modelado tridimensional del Edificio 1 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.....                           | 94  |
| Figura 4-7 Modelado tridimensional del Edificio 2 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.....                           | 95  |
| Figura 4-8 Modelado tridimensional del Edificio 3 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.....                           | 95  |
| Figura 4-9 Modelo tridimensional de la Escuela Naval Militar, incorporando localización geográfica y geometría del terreno.....     | 96  |
| Figura 4-10 Resultado de la inserción de paneles en el tejado del Edificio de aulas “Isaac Peral” mediante el software Skelion..... | 97  |
| Figura 4-11 Diagrama de barras mostrando la irradiación solar anual incidente sobre cada edificio de la ENM. ....                   | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4-12 Diagrama de barras mostrando la irradiación solar anual incidente sobre cada edificio de la ENM, ordenados de mayor a menor irradiación recibida. .... | 100 |
| Figura 4-13 Escala de colores aplicada a la irradiación solar anual incidente en <b>kWhm<sup>2</sup></b> sobre los edificios. ....                                 | 101 |
| Figura 4-14 Distribución de los edificios analizados coloreados según los valores de irradiación solar incidente. ....   | 101 |
| Figura 4-15 Diagrama de barras mostrando las Horas Equivalentes de Sol de cada edificio analizado de la ENM. ....  | 102 |
| Figura 4-16 Diagrama de cajas y bigotes representando la irradiación mensual incidente sobre los edificios analizados de la ENM. ....                              | 103 |
| Figura 4-17 Diagrama de barras mostrando la potencia de pico instalada en cada edificio analizado. ....  | 105 |
| Figura 4-18 Diagrama de barras mostrando la producción eléctrica anual de cada edificio analizado. ....  | 107 |
| Figura 4-19 Diagrama de dispersión de puntos mostrando la tendencia de la demanda eléctrica anual de la ENM. ....  | 108 |
| Figura 4-20 Diagrama de barras mostrando la demanda eléctrica de la ENM y la producción de la instalación FV. ....   | 108 |
| Figura 4-21 Diagrama de barras mostrando la estimación del coste inicial de los edificios. ....  | 110 |
| Figura 4-22 Diagrama de dispersión mostrando la evolución de los costes de operación y mantenimiento en tejados. ....  | 111 |
| Figura 4-23 Diagrama de barras mostrando el coste medio anual de operación y mantenimiento por edificio. ....  | 113 |
| Figura 4-24 Punto de amortización de la instalación fotovoltaica. ....   | 117 |
| Figura 4-25 Variación del NPV en función de las variables del análisis de sensibilidad. ....   | 119 |
| Figura 4-26 Variación del SIR en función de las variables del análisis de sensibilidad. ....   | 119 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 2-1 Porcentajes máximos de pérdidas simultáneas por orientación, inclinación y sombras [4]   | 22  |
| Tabla 2-2 Resumen de tecnologías fotovoltaicas y sus principales atributos [26]  | 43  |
| Tabla 2-3 Eslabones y actores de la cadena de valor ( [26])  | 46  |
| Tabla 3-1 Edificios seleccionados para la estimación del potencial fotovoltaico integrado  | 51  |
| Tabla 3-2 Características principales del BOSCH GLM 100C Professional  | 54  |
| Tabla 3-3 Cálculo de la irradiación solar incidente anual para el edificio de aulas “Isaac Peral”  | 75  |
| Tabla 3-4 Irradiación solar mensual incidente en el edificio de aulas “Isaac Peral”  | 76  |
| Tabla 3-5 Parámetros del diagrama de cajas y bigotes del edificio de aulas “Isaac Peral”   | 76  |
| Tabla 3-6 Valores de PR a lo largo del año para un sistema fotovoltaico según estudios de EUITI y el IDAE [32]                                       | 79  |
| Tabla 3-7 Cargo variable sobre el autoconsumo horario de aplicación a partir del año 2016 [33]   | 85  |
| Tabla 3-8 Horarios a aplicar por tipo de día en la Península, Baleares y Canarias a efectos de la aplicación de los peajes del sector eléctrico [34] | 86  |
| Tabla 3-9 Cargo fijo de potencia derivado del RD 900/2015 [33]   | 87  |
| Tabla 4-1 Superficie de tejado de cada edificio analizado de la ENM  | 98  |
| Tabla 4-2 Irradiación solar anual incidente sobre los tejados de los edificios de la ENM   | 99  |
| Tabla 4-3 Potencia de pico de la instalación fotovoltaica de cada edificio   | 104 |
| Tabla 4-4 Generación eléctrica anual por edificio analizado en la ENM  | 106 |
| Tabla 4-5 Demanda eléctrica anual de la ENM para los últimos 5 años  | 107 |
| Tabla 4-6 Estimación de la inversión inicial necesaria para la instalación propuesta en un supuesto optimista y otro pesimista                       | 110 |
| Tabla 4-7 Coste medio anual de operación y mantenimiento por edificio  | 112 |
| Tabla 4-8 Resultados NPV y SIR cada año para la instalación propuesta  | 115 |
| Tabla 4-9 Beneficios y costes acumulados a lo largo del ciclo de vida de la instalación fotovoltaica   | 116 |
| Tabla 4-10 Valores del NPV según la variación de las variables del análisis de sensibilidad  | 118 |
| Tabla 4-11 Valores del SIR según la variación de las variables del análisis de sensibilidad  | 118 |



## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |     |
|---|-----|
| Ecuación 3-1 Cálculo de la irradiación solar incidente en cada cara de un edificio. ....                                      | 74  |
| Ecuación 3-2 Cálculo de la electricidad generada por cada edificio. ....  | 78  |
| Ecuación 3-3 Cálculo de la potencia de pico de una instalación fotovoltaica. ....   | 78  |
| Ecuación 3-4 Cálculo de las Horas Equivalentes de Sol de un edificio. ....  | 79  |
| Ecuación 3-5 Fórmula que define la línea de tendencia de la demanda eléctrica de la ENM. ....                                 | 80  |
| Ecuación 3-6 Cálculo del ratio de autoabastecimiento eléctrico. ....  | 81  |
| Ecuación 3-7 Cálculo del coste inicial de una instalación fotovoltaica en un edificio. ....                                   | 82  |
| Ecuación 3-8 Fórmula de la línea de tendencia del coste de operación y mantenimiento de una<br>instalación fotovoltaica. .... | 83  |
| Ecuación 3-9 Cálculo del coste de operación y mantenimiento de una instalación fotovoltaica. ....                             | 84  |
| Ecuación 3-10 Cálculo del cargo variable derivado del RD 900/2015. ....   | 86  |
| Ecuación 3-11 Cálculo del cargo fijo de potencia derivado del RD 900/2015. ....   | 87  |
| Ecuación 3-12 Cálculo del parámetro Valor Actual Neto. ....   | 88  |
| Ecuación 3-13 Cálculo del parámetro Saving-to-Investment ratio. ....  | 88  |
| Ecuación 3-14 Cálculo del “real discount rate”. ....  | 89  |
| Ecuación 4-1 Cálculo de los costes totales relativos a una instalación fotovoltaica. ....                                     | 114 |



# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Antecedentes

Ante el actual escenario energético internacional, las energías renovables están tomando un papel cada vez más relevante frente a los combustibles tradicionales. La comunidad internacional, cada vez más comprometida con el desarrollo sostenible y la preservación del medio ambiente, presiona a los países para fomentar la implantación de estas tecnologías, que en un futuro sustituirán por completo a los actuales procesos de obtención de energía, contaminantes y con recursos escasos.

A la vanguardia de las energías renovables se encuentran las tecnologías fotovoltaicas, que desde la segunda mitad del siglo XX se han investigado y desarrollado hasta alcanzar un elevado grado de madurez en la actualidad. Además, España es uno de los países europeos con mayor capacidad para aprovechar este tipo de energía (Figura 1-1).

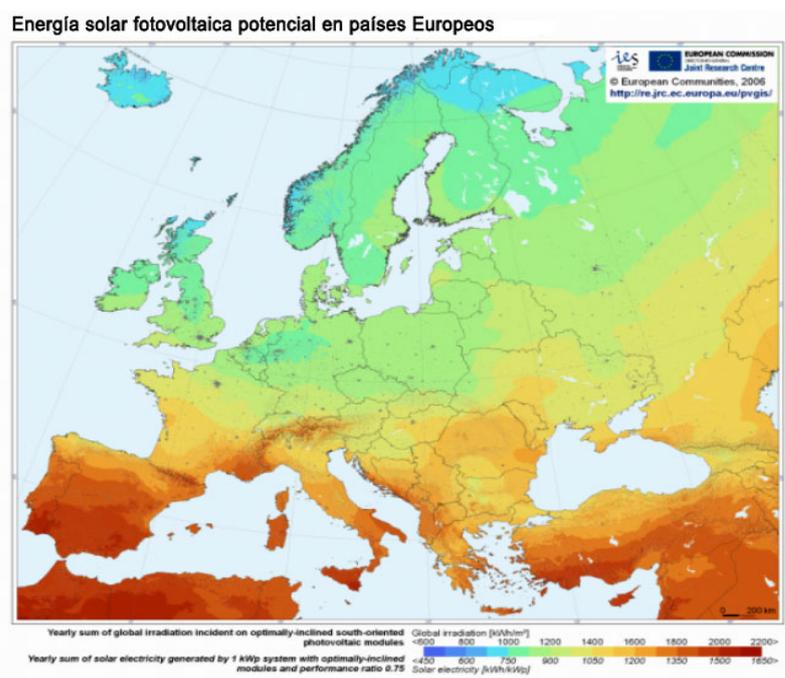


Figura 1-1 Potencial de generación de energía solar fotovoltaica [1].

La actual red eléctrica de la Escuela Naval Militar se encuentra conectada a la red general de distribución eléctrica. Dado el actual panorama energético y el gran crecimiento del sector fotovoltaico, resulta de un gran interés evaluar la viabilidad y utilidad de la instalación de un sistema fotovoltaico para abastecer de electricidad a la Escuela Naval Militar. Dicha instalación podría proporcionar cierta autonomía energética a la Escuela Naval Militar, lo que implica indudables ventajas tanto tácticas como estratégicas desde un punto de vista militar, al disponer de electricidad propia independientemente de la red general del país. Además, existiría la posibilidad de conseguir un ahorro considerable en el consumo eléctrico, factor fundamental en el actual escenario de dificultad económica.

## 1.2 Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto llevar a cabo una estimación del potencial fotovoltaico integrado en los edificios de la Escuela Naval Militar, y en base a la legislación vigente proponer un modelo de instalación adecuado, siendo necesarios los siguientes hitos:

- Realizar un estudio energético sobre la instalación propuesta, que permita obtener una estimación aproximada de la capacidad de generación de electricidad así como comparar dicha producción de energía con la demanda eléctrica de la Escuela Naval Militar.
- Estudiar económicamente la instalación propuesta, de forma que se obtenga una estimación fiable de los gastos que supondría ejecutar la misma, así como el período de amortización asociado y un análisis sobre cómo minimizar dicho período.
- Utilizar el procedimiento habitual para dimensionar y diseñar una instalación fotovoltaica, y aplicar la normativa vigente a dicho proceso.

Además de los objetivos directos, también se incluyen los objetivos de utilizar conceptos clave relativos a la energía fotovoltaica (tales como la irradiación solar, la potencia instalada o los elementos de una instalación fotovoltaica), seguir

## 1.3 Ubicación

La estimación del potencial fotovoltaico tendrá por objeto los edificios que conforman la Escuela Naval Militar de Marín, Pontevedra. La provincia de Pontevedra se encuentra en la zona noroeste de España, en la Comunidad Autónoma de Galicia (Figura 1-2).

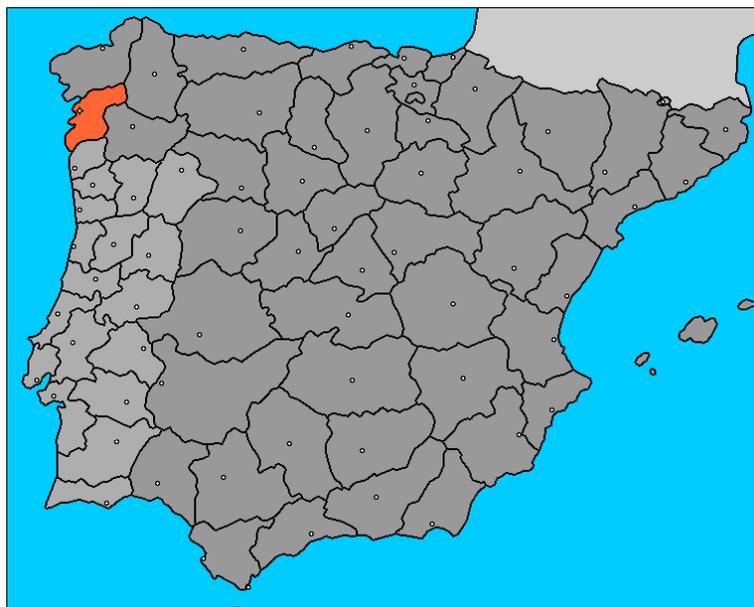


Figura 1-2 Ubicación de la provincia de Pontevedra en España [2].

La Escuela Naval Militar (42° 02.3' N y 008° 42.3' W) se encuadra en la pequeña localidad de Marín, que se ubica en la Ría de Pontevedra y constituye el segundo puerto comercial más importante de las "Rías Baixas" después del puerto de Vigo (Figura 1-3).



Figura 1-3 Vista aérea de la Escuela Naval Militar de Marín [3].

## 1.4 Marco legal

Para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo será necesario conocer y aplicar la normativa y legislación vigente relativa a las instalaciones y generación fotovoltaica. Dicha regulación se recoge en las siguientes leyes:

- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
- Circular 3/2014, de 2 de julio, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución de electricidad.
- Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.
- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.
- Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.

- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.
- Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

## 1.5 Estructura

El presente trabajo consta de cuatro partes bien diferenciadas que marcarán el desarrollo del mismo. La primera de ellas consistirá en el diseño en 3D de los edificios que se consideren aptos para la instalación en sus tejados de un sistema fotovoltaico. En segundo lugar se realizará una simulación para evaluar la irradiación solar incidente sobre ellos. A continuación se pasará a realizar un estudio energético en el que se calculará la producción eléctrica y se comparará con los consumos de la Escuela Naval Militar. Por último se llevará a cabo un estudio económico que estimará los costes y la viabilidad del proyecto.

Estos cuatro pasos a seguir se desarrollarán a lo largo de los cuatro apartados en los que se divide el trabajo, y se resumen brevemente a continuación:

- Estado del arte. Consiste en una introducción teórica en la que se exponen los conocimientos básicos sobre las diferentes tecnologías fotovoltaicas, los tipos de instalación y la situación actual del sector.
- Desarrollo y metodología. Explicación detallada de los procedimientos seguidos y cálculos realizados para cumplir los objetivos del trabajo.
- Resultados. Exposición de los resultados obtenidos a partir de los procedimientos y cálculos realizados durante el desarrollo.
- Conclusiones y líneas futuras. Valoración final de los resultados y propuestas para la continuación del estudio o la investigación.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Introducción

En el presente capítulo se definirán una serie de conceptos y fundamentos necesarios para la comprensión y ejecución de este trabajo. En primer lugar se explicarán las bases de la energía solar fotovoltaica. Posteriormente, se detallarán los tipos y componentes de instalaciones existentes y para concluir se hablará de su implantación en la edificación.

### 2.2 Energía fotovoltaica

#### 2.2.1 Geometría solar

La Tierra se encuentra en el sistema planetario conocido como Sistema Solar, compuesto por ocho planetas que giran alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica de excentricidad muy pequeña [4]. En uno de los focos de la elipse que describe la Tierra anualmente se encuentra el Sol, y el plano que contiene a esta órbita se denomina Plano de la Eclíptica. La Tierra se encuentra a unos 149 600 000 Km del Sol, distancia que no sufre variaciones sensibles durante el año. El eje de rotación de la eclíptica se encuentra inclinado unos  $23^{\circ}27'$  con respecto a la vertical, lo que se denomina “Oblicuidad de la Eclíptica” (ver Figura 2-1).

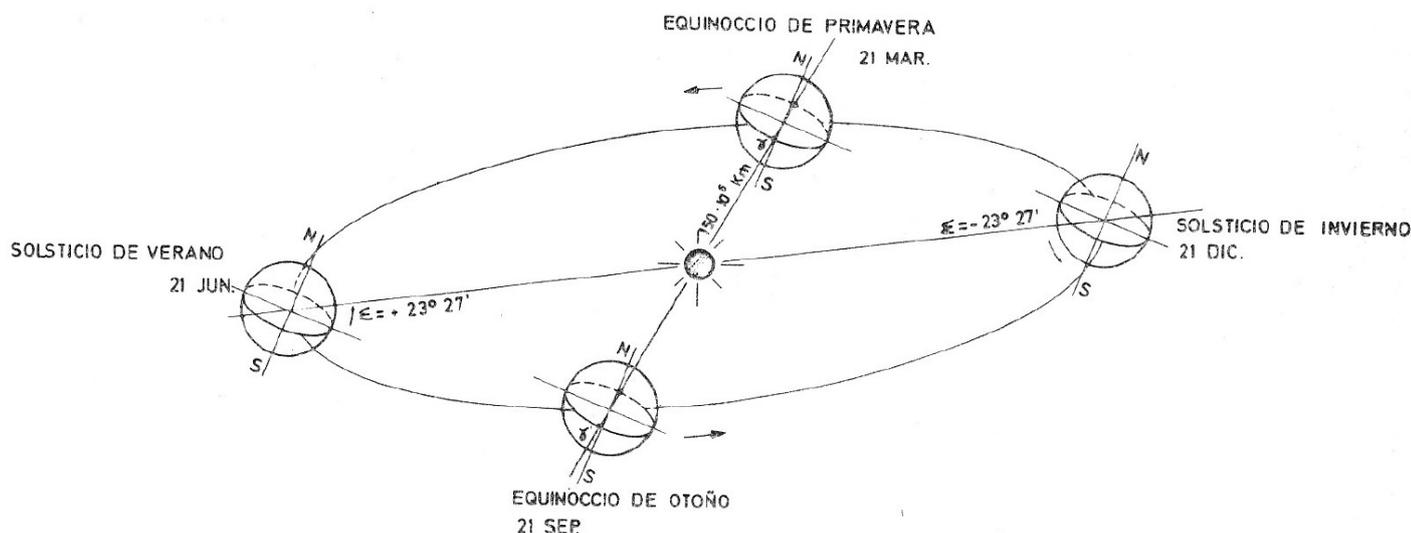
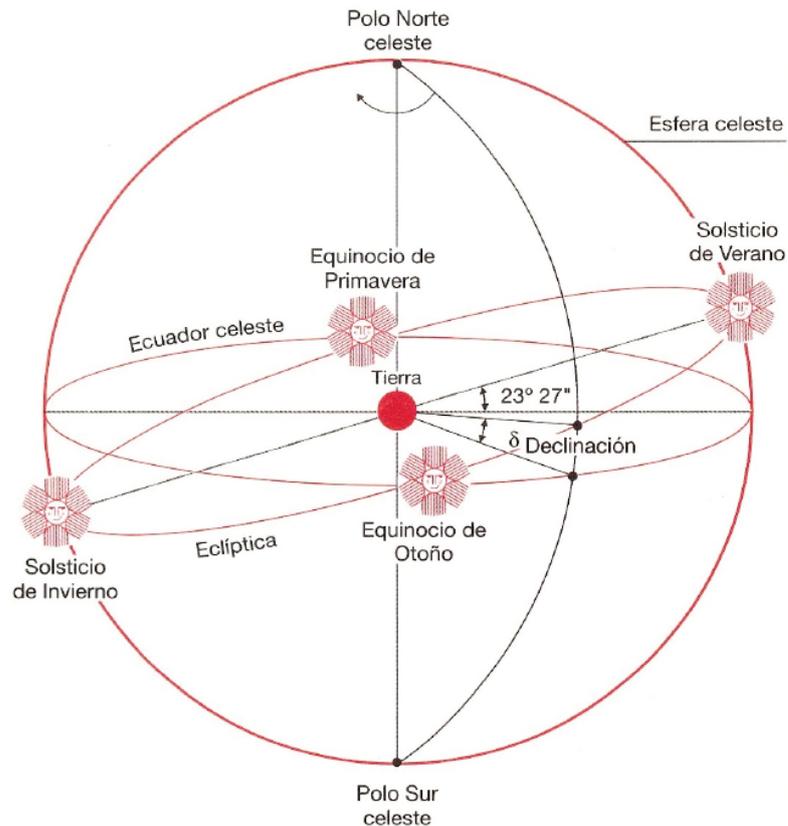


Figura 2-1 Eclíptica solar. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol [4].

Al tener en cuenta el movimiento relativo del Sol respecto de la Tierra, los puntos en los que el Sol, recorriendo la eclíptica, corta al plano del Ecuador se denominan puntos equinociales. En ellos, la duración del día es igual a la duración de la noche (Equinoccio de Primavera y Equinoccio de Otoño). Los puntos de máxima y mínima declinación de la eclíptica se denominan Solsticio de Verano y Solsticio de Invierno. Estos puntos se caracterizan porque, al pasar por ellos, el Sol mantiene aparentemente la misma declinación durante varios días (Sol quieto). En la Figura 2-2 podemos apreciar los cuatro puntos descritos.

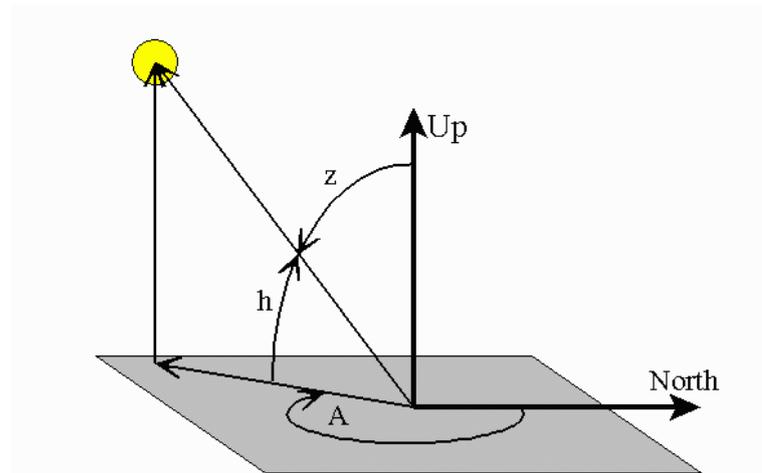


**Figura 2-2 Movimiento relativo del Sol respecto a la Tierra [4].**

Para definir la posición del Sol en cada instante de su recorrido aparente alrededor de la Tierra tomando como referencia una posición o punto de observación en la superficie terrestre utilizamos dos coordenadas: la altura solar y el azimut solar [4]:

- La Altura Solar,  $\alpha$ , es el ángulo que forma la línea que une el centro del Sol con el punto de observación y la superficie horizontal.
- El Azimut Solar,  $\Psi$ , es el ángulo que forma la proyección horizontal de la línea que une el centro del Sol con el meridiano del lugar (dirección Norte-Sur) con origen en el Sur.

En la Figura 2-3 podemos observar las dos coordenadas descritas definiendo la posición del Sol respecto a los ejes cardinales (N-S y E-W) y al plano horizontal u horizonte.



$h$ = ángulo de elevación medido desde el horizonte       $z$ = ángulo cenital medido desde la vertical       $A$ = ángulo azimutal medido en el sentido de las agujas del reloj desde el norte

**Figura 2-3** Representación gráfica de las coordenadas solares [5].

### 2.2.2 Irradiancia e irradiación solar

Los conceptos de irradiancia e irradiación solar son fundamentales para el estudio del potencial fotovoltaico integrado en un edificio. Las siguientes definiciones extraídas de [6] nos ayudarán a comprender dichos conceptos y las diferencias existentes entre ellos.

Se define la irradiancia solar como la potencia radiante (Energía radiante por unidad de tiempo:  $E/t$ ) incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en  $W/m^2$ . Existen tres tipos diferenciados de irradiancia solar que se definen a continuación y se pueden observar gráficamente en la Figura 2-4:

- i. Irradiancia solar directa: Irradiancia de la radiación solar que alcanza una superficie en la misma dirección que la de la línea recta desde el disco solar. Si el plano es perpendicular a esta línea, la irradiancia solar recibida se llama directa normal. Se expresa en  $W/m^2$ .
- ii. Irradiancia solar difusa: Irradiancia de la radiación solar que no alcanza la superficie en la misma dirección de la línea recta desde el disco solar. Se expresa en  $W/m^2$ .
- iii. Irradiancia solar reflejada: La radiación por unidad de tiempo y unidad de superficie que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie. Se denomina Albedo. No se considera para el cálculo de las instalaciones solares, puesto que su magnitud es despreciable.

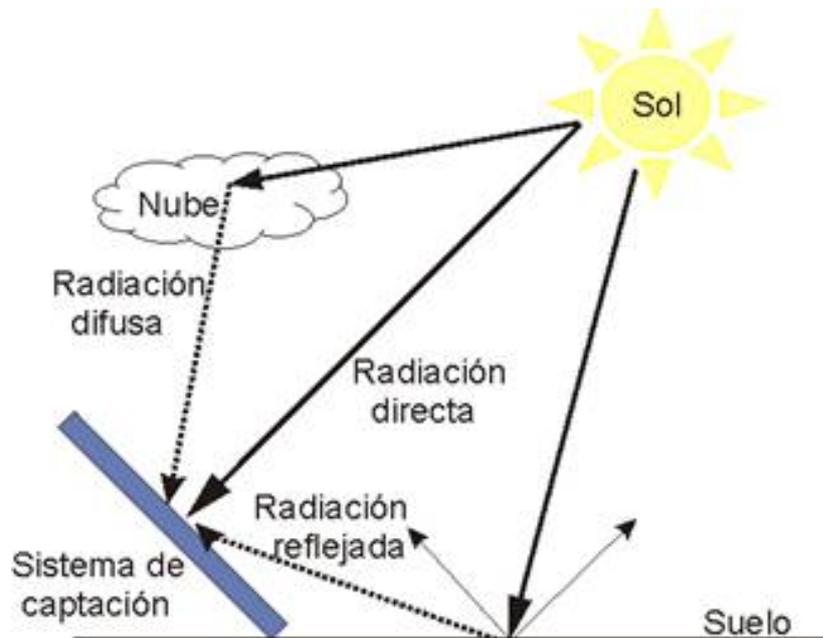


Figura 2-4 Tipos de irradiación solar existentes [7].

En cuanto a la irradiación solar, se define como la energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en  $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

Una vez definidas la irradiancia y la irradiación solar, se debe tener en cuenta un aspecto fundamental que condicionará la instalación fotovoltaica: las pérdidas. Estas pérdidas, asociadas a la irradiación solar, se pueden clasificar en tres grupos: las pérdidas por orientación, las pérdidas por inclinación y las pérdidas por sombras.

- i. Las pérdidas por orientación ( $\text{kWh}$  ó  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) se definen como la cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema captador a consecuencia de no tener la orientación óptima.
- ii. Las pérdidas por inclinación ( $\text{kWh}$  ó  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) son la cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema captador a consecuencia de no tener la inclinación óptima.
- iii. Las pérdidas por sombras ( $\text{kWh}$  ó  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) se definen como la cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema captador a consecuencia de la existencia de sombras sobre el mismo en algún momento del día.

En la Figura 2-5 se puede apreciar la pérdida en porcentaje comparando la energía obtenida con la máxima si el panel estuviese orientado óptimamente. Las variaciones en porcentaje dan una idea de la influencia de la elevación y azimut de los captadores sobre la energía obtenida. Este caso está referido a un panel situado en el hemisferio norte, pues se puede observar que en el azimut sur y una inclinación de  $40^\circ$  la energía recibida es máxima, mientras que en la parte de orientación norte la energía obtenida es mucho menor.

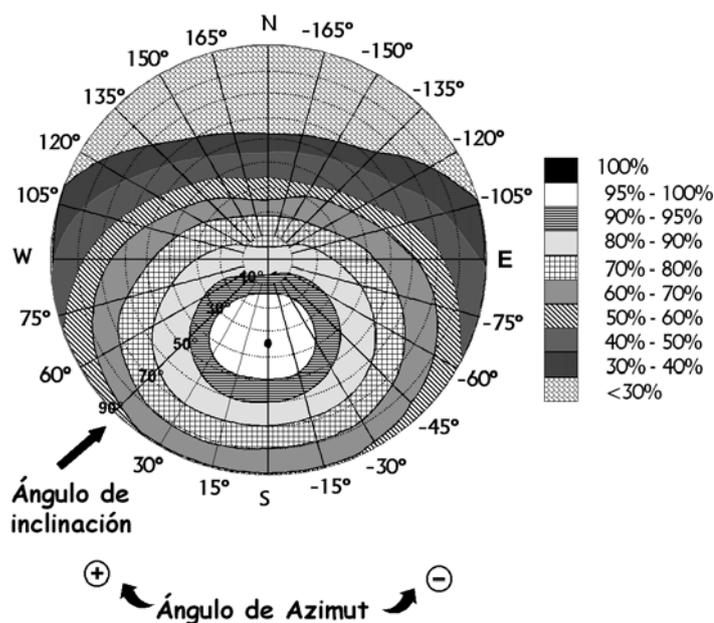


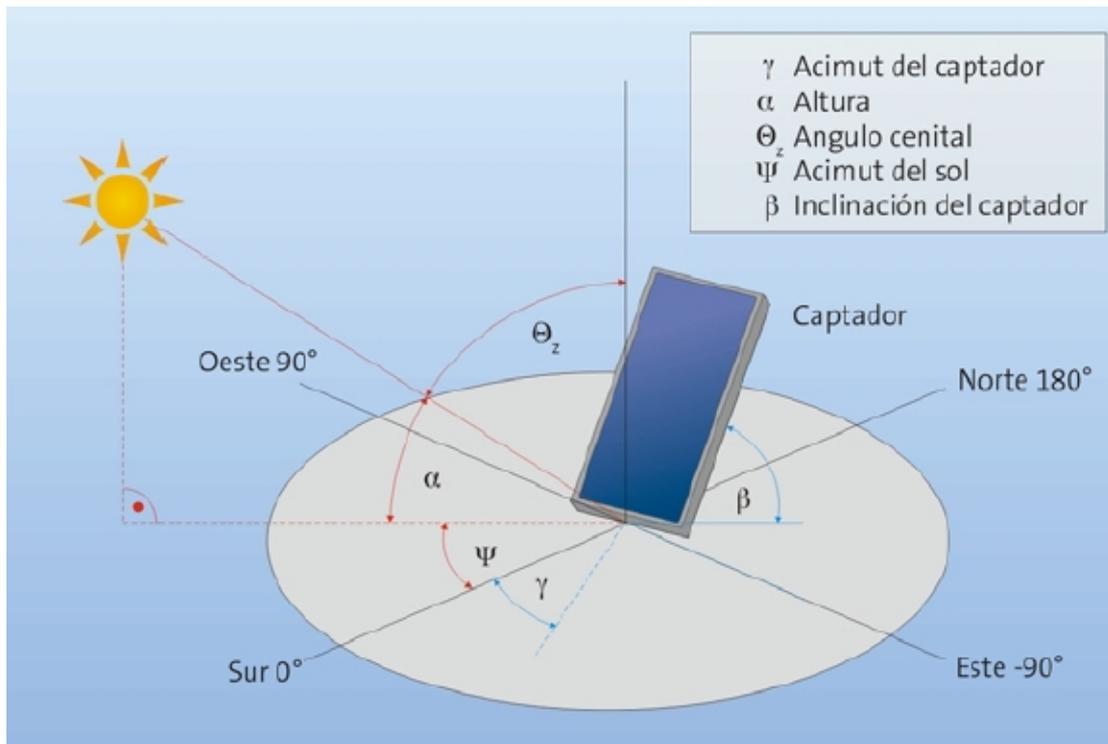
Figura 2-5 Diagrama de aproximación de pérdidas fotovoltaicas por orientación e inclinación [8].

### 2.2.3 Orientación e inclinación de los captadores

Debido a la trayectoria aparente del Sol respecto a la Tierra, mencionada en el apartado 2.2.1, la orientación óptima de los captadores siempre será hacia el Ecuador, puesto que de esa manera estarán captando la máxima radiación solar al encarar el Sol desde su salida hasta su ocaso. Si se orientasen hacia los polos, el Sol en su trayectoria pasaría por su parte posterior y los captadores no recibirían su radiación. Por tanto, en el caso de España y de la Escuela Naval Militar en concreto, al encontrarse en el Hemisferio Norte, la orientación óptima será al Sur geográfico. En cuanto a la inclinación, dependiendo del período de utilización, se tomarán como óptimos los siguientes valores [4]:

- Para una demanda constante anual, la latitud geográfica.
- Para una demanda preferente en invierno, la latitud geográfica más 10°.
- Para una demanda preferente en verano, la latitud geográfica menos 10°.

La inclinación y la orientación de los captadores se definen mediante su ángulo de inclinación y acimut respectivamente. El ángulo de inclinación es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales. El ángulo de acimut es el ángulo que forma la normal a la superficie del módulo con el meridiano del lugar, proyectado sobre el plano horizontal. Dicho ángulo toma el valor de 0° para paneles orientados al sur, -90° para paneles orientados al este y +90° para paneles orientados al oeste (Figura 2-6).



**Figura 2-6 Representación gráfica de las coordenadas solares y los ángulos de orientación de un panel fotovoltaico [9].**

A menudo, debido a las circunstancias de la instalación, los captadores no podrán colocarse en su posición óptima. Esto provocará que las superficies sean incapaces de captar la máxima irradiación posible. Las pérdidas están reflejadas en la Tabla 2-1, comparando la energía captada con la obtenida en el caso de que estuviesen colocados en su posición óptima.

El último tipo de pérdidas que nos encontramos en las instalaciones fotovoltaicas son las pérdidas por sombras. Cualquier instalación sometida a sombras durante el día sufrirá este tipo de pérdidas, cuyos valores máximos serán inferiores a los reflejados en la Tabla 2-1 suponiendo que el mismo sistema estuviese libre de sombras.

En muchos casos es inevitable que se produzcan los tres tipos de pérdidas descritos simultáneamente, es decir, que la orientación e inclinación no sean óptimas para la localización de la instalación y que durante el día haya sombras que cubran temporalmente los captadores. Cuando esto ocurre, las pérdidas energéticas que se generan no superarán los siguientes porcentajes de la producción en caso de que el sistema se encuentre en su posición óptima y libre de sombras:

| Caso                       | Orientación e inclinación | Sombras | Total |
|----------------------------|---------------------------|---------|-------|
| General                    | 10%                       | 10%     | 15%   |
| Superposición              | 20%                       | 15%     | 30%   |
| Integración arquitectónica | 40%                       | 20%     | 50%   |

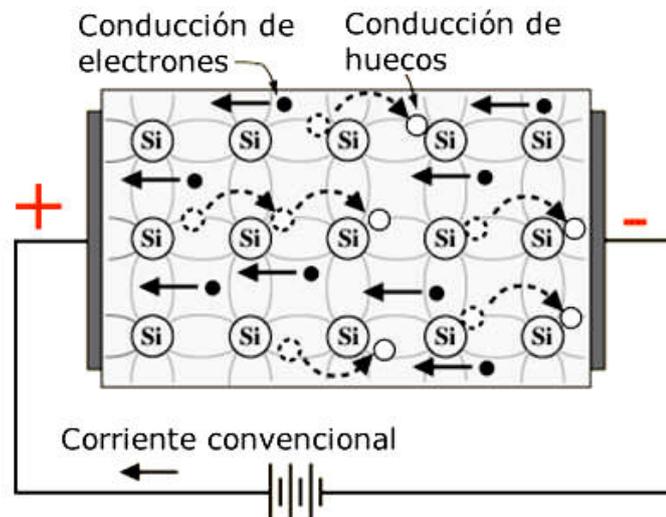
**Tabla 2-1 Porcentajes máximos de pérdidas simultáneas por orientación, inclinación y sombras [4]**

### 2.2.4 Fundamentos de la conversión fotovoltaica

Las tecnologías fotovoltaicas son relativamente jóvenes [10]. Aunque a finales del siglo XIX ya se conocía el efecto fotovoltaico y ya comenzaron a probarse los primeros prototipos, no fue hasta

mediados del siglo XX cuando consiguieron fabricarse las primeras células con eficiencias considerables. Los primeros pasos de la energía fotovoltaica en la historia se enmarcan en el contexto de la guerra fría, junto con el desarrollo de la radio, las telecomunicaciones, la electrónica y la carrera espacial. En la década de los 70, a raíz de una gran crisis energética internacional, comienza a investigarse la energía fotovoltaica como una fuente de electricidad propiamente dicha, al constatar el enorme potencial y posibles ventajas de su desarrollo. Actualmente, ésta fuente de energía continúa investigándose y desarrollándose, y ya se utiliza para diversas aplicaciones de diferentes tipos y tamaños. La energía fotovoltaica constituye una de las principales fuentes de energías renovables, que cada vez toman mayor relevancia en el panorama energético internacional debido al cambio climático y la escasez de combustibles.

El proceso que explica la transformación de la energía solar en energía eléctrica se denomina efecto fotovoltaico. Este efecto se basa en las propiedades que poseen ciertos materiales semiconductores. Estos materiales son capaces de aumentar la densidad de electrones libres cuando se les somete a ciertos estímulos externos como, en el caso del efecto fotovoltaico, la luz. En este supuesto, los fotones inciden sobre el material y su energía es absorbida por los electrones de valencia hasta que éstos rompen el enlace con los átomos y quedan libres para desplazarse por el material. Al quedar libre un electrón, la ausencia que se crea en el átomo se denomina “huevo”, y se puede considerar como una partícula de carga positiva que puede desplazarse, al igual que los electrones libres, de un átomo a otro en el seno de la red cristalina del semiconductor. Las propiedades de conducción eléctrica del material deben entenderse como debidas a la contribución de ambos tipos de cargas (Figura 2-7), aspecto que lo diferencia de materiales conductores y aislantes. A los electrones libres y huecos se les conoce de forma genérica como “portadores de carga”. Se debe destacar que en un material puro o “intrínseco” la concentración de electrones libres y huecos será la misma, puesto que la creación de uno implica la creación del otro.



**Figura 2-7 Conducción de electrones y huecos en un material semiconductor [11].**

Este proceso de creación de electrones y huecos se sustenta en el modelo de bandas de energía. Una banda de energía representa un nivel de energía permitido según las leyes de la mecánica cuántica. En la parte izquierda (a) de la Figura 2-8 podemos ver una representación gráfica de la banda prohibida o gap de energía que separa la banda de valencia, relativa al estado energético de electrones ligados al átomo, y la banda de conducción, asociada al estado energético de los electrones libres. La banda prohibida o gap de energía, representa la cantidad de energía necesaria para que un electrón de valencia pueda romper el enlace y su anchura es característica de cada material semiconductor (ejemplo:  $E_G = 1,12$  eV para el Si;  $0,66$  eV para el Ge;  $1,42$  eV para el GaAs). En la parte derecha (b), podemos observar la generación de electrones y huecos de dos maneras distintas. En el primer caso, no se genera ningún electrón libre ni huevo, puesto que la temperatura es próxima a los 0 K y los

electrones apenas tienen energía. Todos los electrones permanecen en la banda de valencia, puesto que ninguno tiene energía suficiente para romper el enlace que lo une al átomo y saltar a la banda de conducción. En el segundo caso, al aumentar la temperatura, algunos electrones obtienen la energía suficiente para realizar el salto energético de la banda prohibida y alcanzar la banda de conducción. Los electrones consiguen el nivel energético suficiente gracias a la absorción de calor. En el tercer caso, los electrones también obtienen la energía suficiente para saltar a la banda de conducción, pero esta vez la fuente de energía son los fotones incidentes, que actúan de manera análoga al calor en el segundo caso. Esto quiere decir que los materiales semiconductores no sólo se ven afectados por la radiación solar, sino que la temperatura también provoca un aumento de la densidad de portadores.

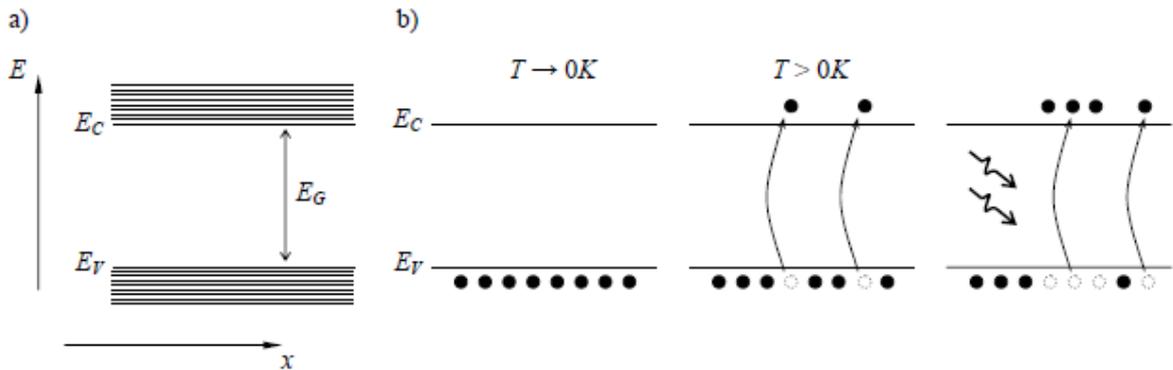


Figura 2-8 Estructura de bandas en un semiconductor [10].

Los procesos dinámicos por los cuales se crean pares electrón/hueco se denominan “procesos de generación”, y aquellos por los que se destruyen o eliminan se denominan “procesos de recombinación”. Estos procesos, junto con las propiedades anteriormente descritas, determinan el funcionamiento en primera instancia de la célula fotovoltaica en distintas condiciones de operación. Como se ha visto, la radiación solar no es el único factor que puede provocar procesos de generación de portadores en el seno de un semiconductor. Existen diversos factores que pueden intervenir, y la iluminación o la temperatura son sólo dos ejemplos. Cada tipo de proceso puede tener mayor o menor importancia en un dispositivo dado, ya que algunos son inherentes a la naturaleza del material y otros dependen de la calidad de la red cristalina o lo que es lo mismo de los defectos que aparecen en ella.

Es importante destacar que cada proceso de generación de portadores tiene asociado un proceso inverso de recombinación. Por lo tanto, de no introducir un elemento artificial que extraiga el flujo de electrones libres, no obtendremos una corriente eléctrica que podamos aprovechar debido a que una placa de material semiconductor no es capaz de generar una corriente eléctrica por sí misma. Si este elemento artificial no está presente, la densidad de portadores aumenta cuando se ilumina la placa y disminuye hasta su valor anterior de equilibrio cuando cesa la iluminación debido a los procesos de recombinación anteriormente mencionados.

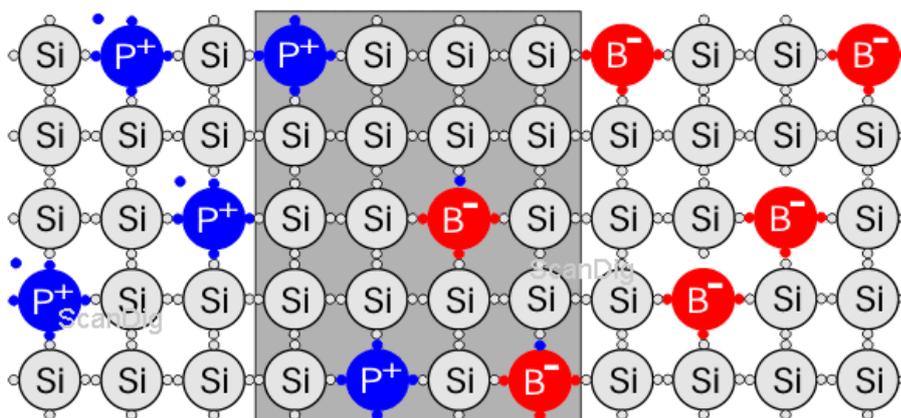


Figura 2-9 Dopaje de material semiconductor de Si [12].

El elemento artificial más frecuentemente utilizado es la creación de un campo eléctrico superficial y permanente en el dispositivo. Este campo eléctrico, gracias a la fuerza de arrastre que origina, impulsa a las cargas positivas en la dirección del campo y a las cargas negativas en la dirección contraria. La creación de este campo eléctrico se consigue introduciendo en el material semiconductor o “intrínseco” átomos de otro elemento distinto del material de partida, que denominamos “impurezas” o “dopantes” (Figura 2-9). Los dopantes presentan un exceso o defecto de electrones en sus capas más externas con respecto al material intrínseco, y existen dos tipos. Una impureza de un elemento con un electrón de valencia más que el material intrínseco se denomina “donadora”. Algunos ejemplos son el P, As o Sb añadidos al Si como dopantes. Una impureza de un elemento con un electrón de valencia menos que el material intrínseco se denomina “aceptora”. Este es el caso del B, Ga, In o Al añadidos al Si como dopantes.

El proceso de dopaje, si se introducen impurezas en cantidad suficiente, provoca una modificación considerable de la concentración de portadores debido a que las impurezas ionizan a temperaturas relativamente bajas. En la Figura 2-10 se puede apreciar como la concentración de portadores aumenta a bajas temperaturas y sólo a temperaturas muy altas (superiores a los 500 K) adquiere el comportamiento exponencial de un semiconductor sin impurezas. Un semiconductor que ha sido sometido al proceso de dopaje se denomina “extrínseco”, para recalcar que su densidad de portadores ha sido modificada con respecto a la original.

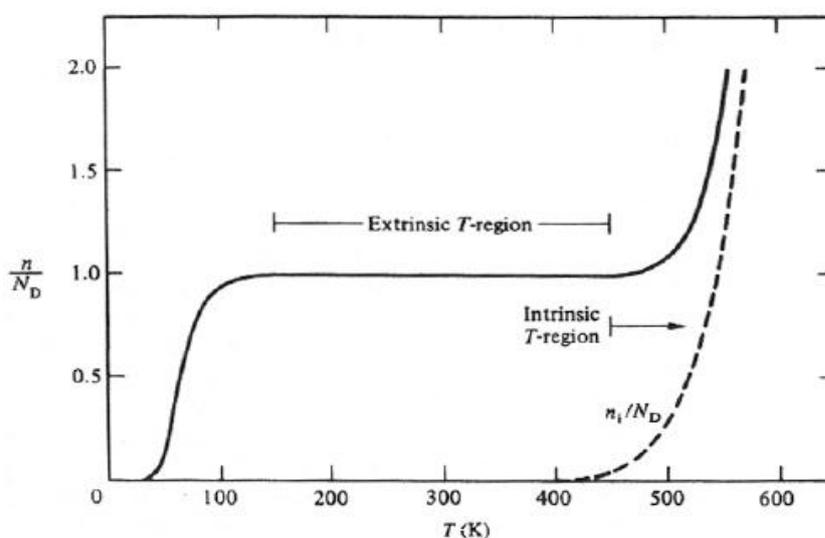


Figura 2-10 Variación de la concentración relativa de electrones con la temperatura en un material dopado con impurezas donadoras [13].

También se debe diferenciar entre los materiales que han sido dopados con impurezas aceptoras y los que han sido dopados con impurezas donadoras. Las impurezas aceptoras, al “aceptar” electrones del semiconductor, ocasionan un incremento en la concentración de huecos en el material, mientras que las impurezas donadoras, provocan un aumento en la concentración de electrones libres. Cuando el material extrínseco ha aumentado su densidad de electrones, se dice que es de tipo negativo o de tipo-n. Cuando ha incrementado su concentración de huecos se dice que es de tipo positivo o de tipo-p.

Las células solares se fabrican introduciendo impurezas donadoras en una cara del dispositivo e impurezas aceptoras en la cara opuesta. En cada una de las caras aumentará la concentración de tipo-n. Sin embargo, al excitarse las impurezas de ambas caras aparecerán iones fijos en la red cristalina, procedentes de los átomos que han cedido o ganado electrones. La presencia de estos iones fijos con cargas eléctricas de signo opuesto caracteriza la región que separa la zona de tipo-p y la zona de tipo-n, y provoca un campo eléctrico permanente (con su consiguiente diferencia de potencial). Este tipo de estructura se denomina “unión p-n” (Figura 2-11).

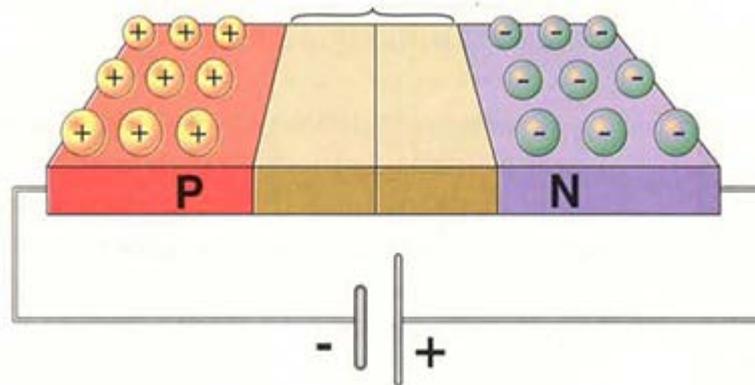


Figura 2-11 Unión p-n [14].

Éste campo eléctrico es el elemento artificial mencionado anteriormente. Cuando se ilumina la célula, el campo arrastra a los electrones libres y huecos excitados por la energía de los fotones y crea la corriente eléctrica que deseamos aprovechar en un circuito externo. Además de esta corriente, se genera otra que se conoce como “mecanismos de difusión”. La difusión es un fenómeno producida por la diferencia en la concentración de partículas entre dos regiones de un material. La corriente resultante en la célula depende del balance de estas dos corrientes, y de las tasas de recombinación y generación de portadores en el material (número de eventos por  $cm^3$  y por segundo).

Resumiendo todo lo explicado anteriormente, puede decirse que el efecto fotovoltaico consiste en la combinación de dos procesos que tienen lugar en el dispositivo: la generación de portadores de carga como resultado de la absorción de la radiación luminosa en el semiconductor, y el desplazamiento de estos portadores hacia los extremos del dispositivo donde pueden ser recolectados para aprovechar la corriente eléctrica asociada (Figura 2-12). Para recolectar los portadores de carga e introducirlos en el circuito externo es necesario instalar en la célula unos contactos metálicos que conecten el semiconductor y el conductor eléctrico. Estos contactos se deben instalar de forma que la extracción de portadores se realice de la forma más eficiente posible, pero también de forma que no perjudiquen el proceso de absorción de radiación solar por parte del semiconductor.

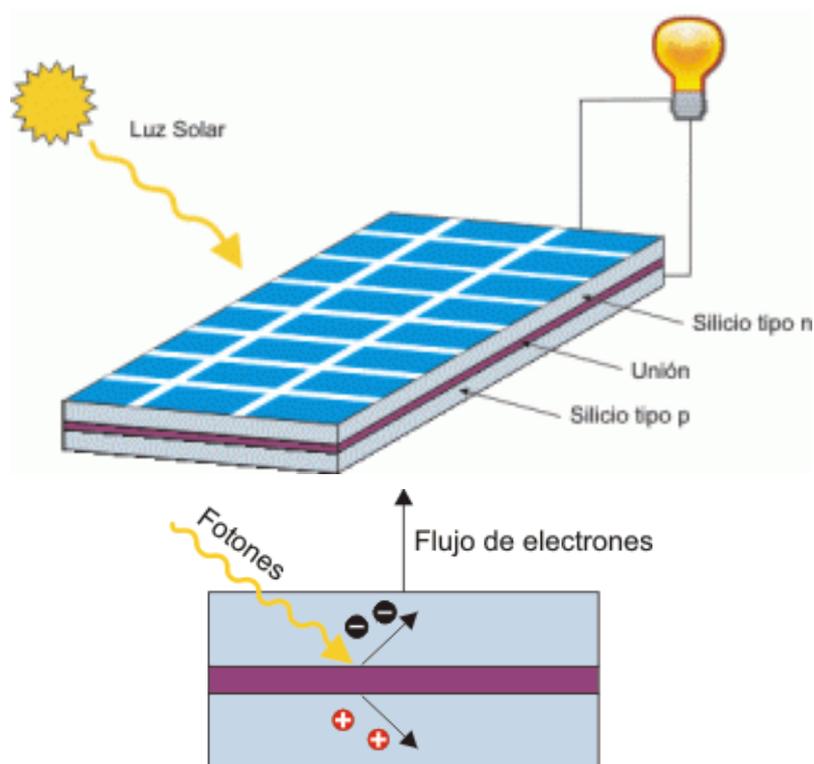


Figura 2-12 Efecto fotovoltaico en una célula solar [9].

## 2.3 Células fotovoltaicas

La base de las instalaciones fotovoltaicas es la célula solar. Una célula solar es un dispositivo electrónico de estado sólido capaz de convertir de forma directa la radiación solar en potencia eléctrica en forma de corriente continua (DC). Las células se ensamblan en unidades compactas denominadas módulos fotovoltaicos. Las células que conforman un módulo fotovoltaico se disponen mediante conexiones en serie y en paralelo hasta obtener los niveles de corriente y tensión adecuados. Los distintos tipos de módulos según la tecnología de célula solar que utilizan y según la tecnología de fabricación empleada se muestran en la Figura 2-13.

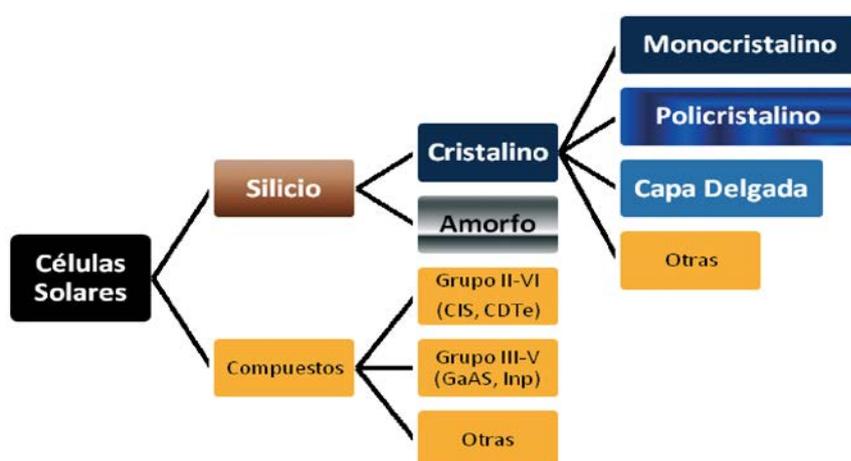


Figura 2-13 Clasificación de células solares según el tipo de material semiconductor que las constituye y según su estructura interna [15].

A continuación, se explicarán más en detalle los tipos de células solares de silicio más importantes:

### 2.3.1 Silicio monocristalino

Las células solares fabricadas con este material son las más utilizadas actualmente. El principal inconveniente que presentan es el elevado coste que supone su proceso de fabricación, debido a su gran pureza y la elevada cantidad de material activo empleado. La principal ventaja de este tipo de células con respecto a las demás es la eficiencia, la cual es notablemente superior. Las células solares de silicio monocristalino (Figura 2-14) pueden conseguir un rendimiento del 19% aproximadamente funcionando en el laboratorio, y en instalaciones reales pueden llegar hasta a un 13%.

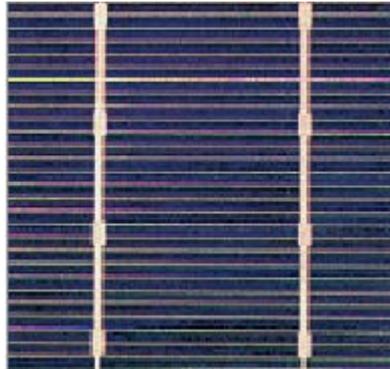


Figura 2-14 Célula de silicio monocristalino [4].

### 2.3.2 Silicio policristalino

Las células solares fabricadas a partir de este material proceden del corte de un bloque de silicio que previamente se ha dejado solidificar en un crisol y que se ha formado por muchos pequeños cristales de silicio. El coste de este proceso es mucho menor que el de fabricación del silicio monocristalino, por lo que este tipo de células resultan más baratas que las anteriores. Sin embargo, el silicio policristalino supone generalmente un rendimiento más bajo debido a su peor comportamiento a altas temperaturas. En el laboratorio se pueden conseguir rendimientos de hasta el 18%, y en condiciones reales de operación entre un 10 y un 12%. Las células de silicio policristalino se pueden diferenciar de las células de silicio monocristalino por el color de su superficie, que es variable en el primer caso y uniforme en el segundo, como se observa en la Figura 2-15.

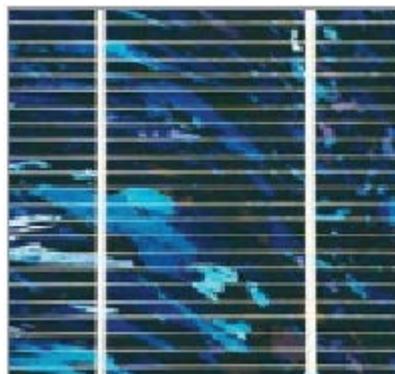


Figura 2-15 Célula de silicio policristalino [4].

### 2.3.3 Capa delgada

Están construidas con materiales como el CdTe, CIGS o a-Si y sus rendimientos comerciales oscilan entre el 10 y 12%. Aunque tienen un rendimiento menor que el de las células de silicio mono y policristalino, tienen otras ventajas que las hacen idóneas para algunas aplicaciones. Las células de capa delgada son flexibles, por lo que son ampliamente utilizadas en la integración arquitectónica.

### 2.3.4 Silicio amorfo

Este material es diferente de los anteriores, pues su estructura carece de carácter cristalino. El silicio amorfo procede del gas silano ( $\text{SiH}_4$ ), y se fabrica depositando sucesivas capas delgadas al vacío sobre un material, que puede ser plástico, cristal, metal etc. El resultado de este proceso no son células individuales, sino una lámina continua. La ventaja de este tipo de células es que no necesitan soldaduras para realizar el conexionado. Sin embargo, su eficiencia es sensiblemente inferior a las de silicio cristalino debido a la peor calidad del material empleado. Una célula de silicio amorfo genera una potencia en torno a un 60% menor que la que puede generar una célula de silicio cristalino de tamaño y características similares. Además, el silicio amorfo se deteriora con facilidad ante una prolongada exposición a la irradiación solar, lo que disminuye aún más su eficiencia.

## 2.4 Instalaciones solares fotovoltaicas

En el ámbito de las instalaciones fotovoltaicas existen tres niveles que es necesario diferenciar. El primero y más básico de ellos es la célula fotovoltaica, donde se produce el efecto fotoeléctrico y se genera electricidad. Varias células fotovoltaicas se agrupan para formar un módulo, que recolecta la energía producida por sus células. El sumatorio de todos los módulos nos da como resultado la instalación final (Figura 2-16).

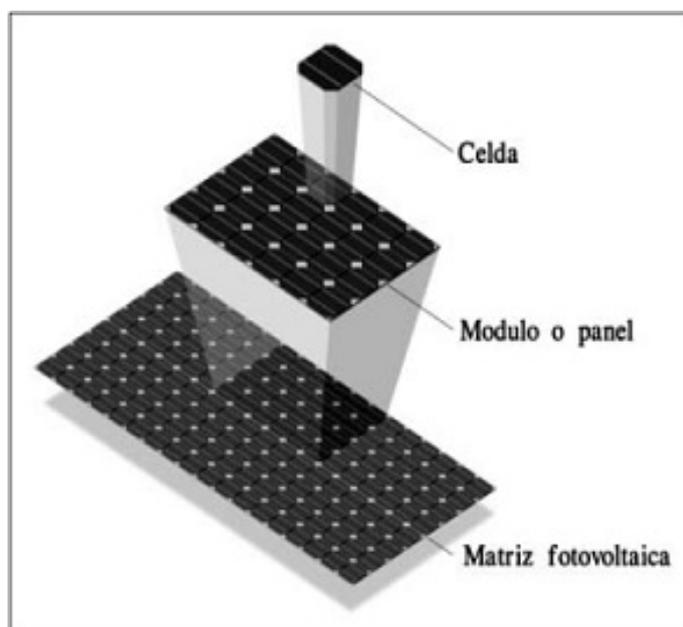


Figura 2-16 Jerarquía en una instalación fotovoltaica [16]

Los trabajos descritos en las referencias [17], [18], [15] y [19] coinciden en que existen dos grandes grupos de instalaciones fotovoltaicas: los sistemas conectados a red y los sistemas aislados. Una instalación fotovoltaica se define como “*un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren a captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica*” [17]. Independientemente de su tamaño, disposición, materiales o capacidad, e incluso independientemente de las nuevas vertientes como la “building integration” o “integración arquitectónica”, las instalaciones fotovoltaicas pueden agruparse en las dos grandes categorías antes mencionadas. A continuación se explicará en qué consiste cada una de ellas.

### 2.4.1 Sistemas conectados a la red

Los sistemas pertenecientes a esta categoría se caracterizan porque se encuentran permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando la instalación no es capaz de cubrir la demanda energética con la electricidad que produce, el déficit

energético es absorbido de la red general eléctrica. Sin embargo, durante las horas en las que los captadores reciben irradiación solar, el sistema fotovoltaico estará dimensionado para producir más electricidad de la que se necesita, por lo que el exceso se transfiere a la red nacional. Por decisión administrativa, se realizan mediciones por medio de un contador y se han establecido precios de forma que el exceso de energía producida se pueda vender a la red eléctrica, de igual manera que se puede disponer de la energía de la red cuando la energía autogenerada es insuficiente. Este tipo de instalaciones suele ser el utilizado por la mayoría de las empresas en entornos urbanos, tanto para el abastecimiento de edificios mediante instalaciones en fachada o tejado (Figura 2-17) como para otras aplicaciones mediante instalaciones de suelo.

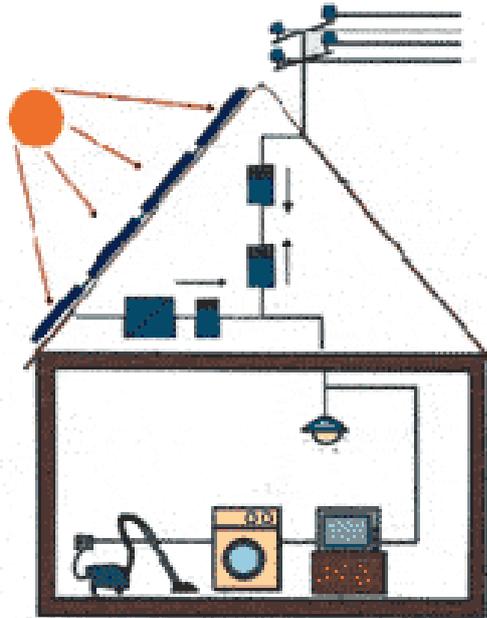


Figura 2-17 Ilustración ejemplo de instalación solar fotovoltaica conectada a red [17]

#### 2.4.2 Sistemas aislados

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas (Figura 2-18) se utilizan para aplicaciones de bajo consumo de energía, para las que no compensa pagar el coste de la conexión a la red general. En general, se utiliza para abastecer viviendas en zonas rurales en las que resulta difícil y costoso proporcionar servicio a través de la red nacional por encontrarse en una posición poco accesible. Podría resultar conveniente instalar un sistema aislado en una vivienda si ésta se encuentra a más de tres kilómetros de la red eléctrica.

Estos sistemas, al no poder disponer de la electricidad de la red general, necesitan almacenar la energía eléctrica que producen para garantizar la continuidad de la erogación cuando la irradiación solar deja de incidir sobre las células fotovoltaicas. El almacenamiento se consigue mediante una serie de baterías electroquímicas recargables que se dimensionan de forma que sean capaces de proporcionar suficiente electricidad para cubrir la demanda en los períodos en los que el sistema fotovoltaico no genera corriente. En la actualidad, se utilizan para estos sistemas baterías de plomo ácido de largo ciclo de vida (más de 6 años), que requieren escaso mantenimiento. Sin embargo, es necesario instalar también un regulador de carga, que permita preservar las baterías frente a un exceso de carga procedente de los módulos fotovoltaicos, y un exceso de descarga debido a la demanda eléctrica. El exceso de carga o descarga afecta al correcto funcionamiento y a la duración de las baterías.

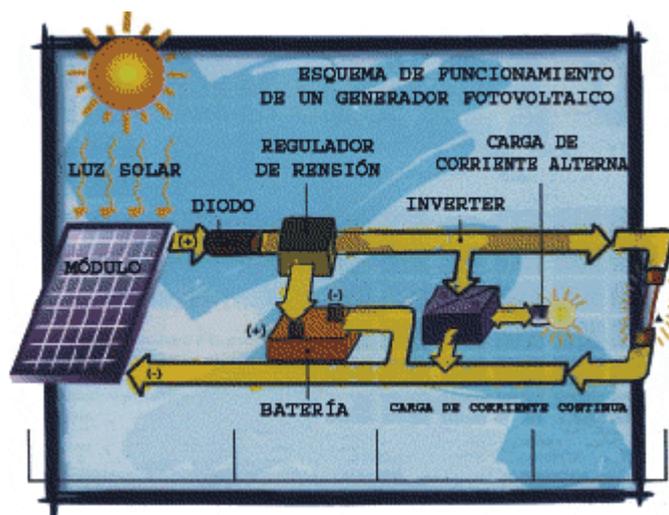


Figura 2-18 Ilustración ejemplo de instalación solar fotovoltaica aislada [20].

En el diseño de los sistemas aislados, es importante dimensionar la instalación de forma que sea capaz, durante las horas de irradiación solar, de satisfacer la demanda energética y de recargar las baterías de forma que el abastecimiento pueda continuar durante las horas de sombra. El principal inconveniente de los sistemas aislados es que la cantidad de demanda energética que permiten está limitada por la capacidad de las baterías, de forma que para una demanda considerable se necesitaría un despliegue de baterías que en la mayoría de los casos sería poco rentable.

### 2.4.3 Otros criterios de clasificación

Se puede resumir lo expuesto anteriormente mediante la Figura 2-19, que representa los dos grandes grupos de instalaciones fotovoltaicas y sus principales aplicaciones.



Figura 2-19 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas y sus principales aplicaciones [21].

Aunque la clasificación ya mencionada es la principal y más utilizada en el sector, también se han propuesto otros criterios para diferenciar las instalaciones solares fotovoltaicas. Por ejemplo, la Asociación de la Industria Fotovoltaica establece tres tipos distintos de instalaciones de generación fotovoltaica en función de sus respectivos rangos de potencia representativos [18]. Los tres tipos de instalaciones son los siguientes:

- Instalaciones pequeñas, de 3 kWp como planta tipo, con rango hasta 5 kWp. Se corresponden con instalaciones aisladas en el ámbito rural o aplicaciones conectadas a red sobre tejados o azoteas de casas particulares. La potencia de estas instalaciones sería suficiente para abastecer eléctricamente una vivienda de tamaño medio en la que vivan 2 ó 3 personas, sin tener en cuenta consumos añadidos como calefacción o aire acondicionado.
- Instalaciones medianas, de 30 kWp como planta tipo, con rango entre 5 y 100 kWp. Se corresponden con instalaciones fotovoltaicas en electrificaciones rurales centralizadas o sistemas conectados a red en edificios, normalmente integrados en la estructura de los mismos. Estas instalaciones son normalmente elegidas por grupos de mayor entidad, como empresas públicas o privadas o comunidades de vecinos, que presentan una mayor demanda energética. Una instalación de 30 kWp permite satisfacer las necesidades eléctricas de diez viviendas medias.
- Instalaciones grandes de 300 kWp como planta tipo, con rango entre 100 kWp y 1 MWp. Se corresponden generalmente con instalaciones conectadas a red, y suelen ser utilizadas por empresas que desean contribuir a una generación de energía limpia y renovable. Una planta de 300 kWp permite cubrir la demanda energética de un edificio de tamaño medio.

Además de los tres tipos de instalaciones mencionados, la Asociación de la Industria Fotovoltaica también establece un cuarto nivel de potencia para los sistemas fotovoltaicos que, por sus dimensiones, deja de ser una instalación para denominarse más bien central fotovoltaica. Las centrales fotovoltaicas son de 3 MWp como planta tipo, con rango entre 1 y 50 MWp. Son utilizadas por empresas o grupos de empresas que desean combinar el rendimiento económico de la generación de electricidad con el desarrollo de las energías renovables.

#### *2.4.4 Componentes de una instalación fotovoltaica de conexión a red*

A continuación, se procederá a describir los distintos elementos que componen una instalación fotovoltaica conectada a red. Este tipo de instalación es el objeto de estudio del presente trabajo, por lo que se explicará más en profundidad. Los componentes principales de las instalaciones de conexión a red (Figura 2-20), en los casos de aplicación del Código Técnico de Edificación (CTE), son los siguientes [6]:

- Sistema generador: Módulos fotovoltaicos que realizan la conversión fotovoltaica, es decir, generan electricidad a partir de la irradiación solar.
- Sistema de acondicionamiento de potencia: Elemento denominado inversor que transforma la corriente continua procedente del módulo fotovoltaico en corriente alterna válida para ser introducida en la red general de distribución o para consumo directo.
- Cuadros de protecciones: Dispositivo encargado de proteger al resto de la instalación frente a anomalías eléctricas, rayos o picos de tensión.
- Contadores: Dispositivos cuya misión es registrar la cantidad de energía eléctrica introducida en la red de distribución.
- Circuito eléctrico: Conjunto de cables de la instalación que permite el flujo de corriente y la distribución tanto de continua como de alterna.
- Conexión a la línea de la compañía eléctrica: Ésta conexión podrá ser en baja o en media tensión, según la capacidad de las líneas y la electrificación de las zonas.

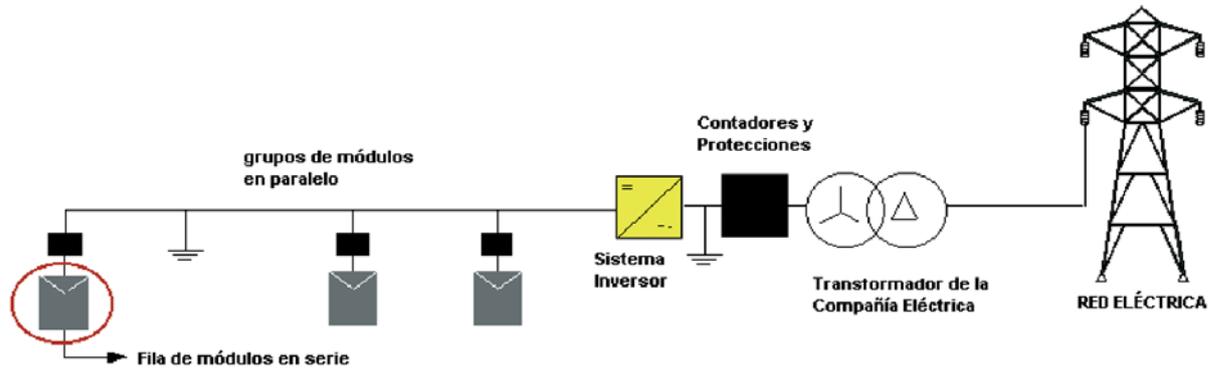


Figura 2-20 Esquema general de instalación de energía solar fotovoltaica de conexión a red [1].

### 2.4.5 Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están formados por distintos elementos que permiten su correcto funcionamiento, como se observa en la Figura 2-21. El elemento primordial de los mismos son las células solares (2.3), que se encuentran interconectadas para generar la corriente eléctrica de forma adecuada. Las células habitualmente se insertan sobre una lámina de tedlar, que posteriormente se encaja en un marco que integra todos los elementos descritos anteriormente. Además de las células, los módulos cuentan con una protección contra los elementos atmosféricos, de forma que se encuentran encapsulados y laminados. Por último, también incorporan una protección contra “hot-spots” o puntos calientes que pueden provocar la destrucción térmica de las células, y una conexión eléctrica.

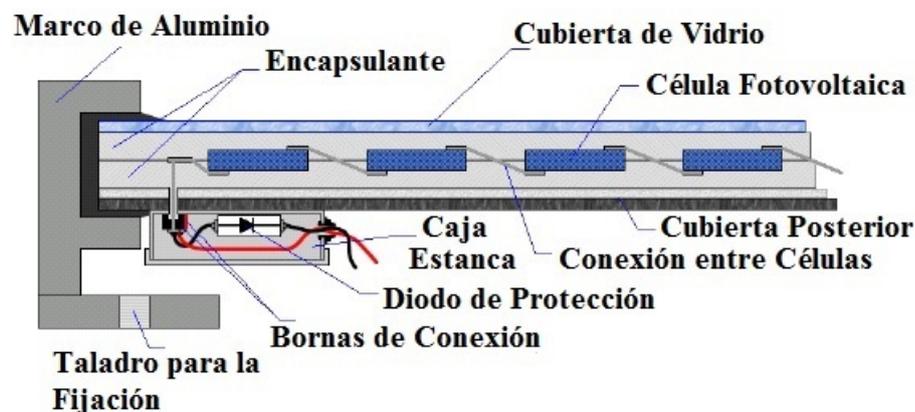


Figura 2-21 Elementos de un módulo fotovoltaico [22].

El funcionamiento de un módulo fotovoltaico depende en gran medida de factores externos como la irradiación solar incidente o la temperatura ambiente, por lo que se han establecido unas condiciones de trabajo nominales o estándar (STC) que permiten la comparación y medición objetiva de los diferentes módulos fotovoltaicos. En este contexto, se entiende por *potencia de pico* o *potencia máxima del generador aquella que puede entregar el módulo en las condiciones estándares de medida (STC)* [4]. Estas condiciones se corresponden a una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ , una temperatura de célula de  $25^\circ\text{C}$ , una distribución espectral AM de 1,5 G y una incidencia de la radiación solar normal a la superficie.

La característica V-I de un módulo (Figura 2-22) es la curva que relaciona la tensión y la corriente del módulo para una irradiancia determinada, y debe ser proporcionada por el fabricante. La potencia de pico coincide con la potencia máxima de la característica V-I de los módulos, por lo que la potencia real que suministre el módulo siempre será inferior.

Centrándonos ahora en las características eléctricas de los módulos, se enumerarán a continuación los parámetros más importantes al respecto:

- Intensidad (I): Corriente proporcionada por el módulo fotovoltaico.
- Intensidad máxima ( $I_m$ ): Máximo valor de corriente alcanzado para todos los valores de V.
- Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ): Corriente proporcionada por el módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito.
- Tensión (V): Tensión en los bornes del módulo fotovoltaico.
- Tensión máxima ( $V_m$ ): Máximo valor de tensión alcanzado para todos los valores de I.
- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ): en bornes del módulo fotovoltaico, es decir en ausencia de intensidad.

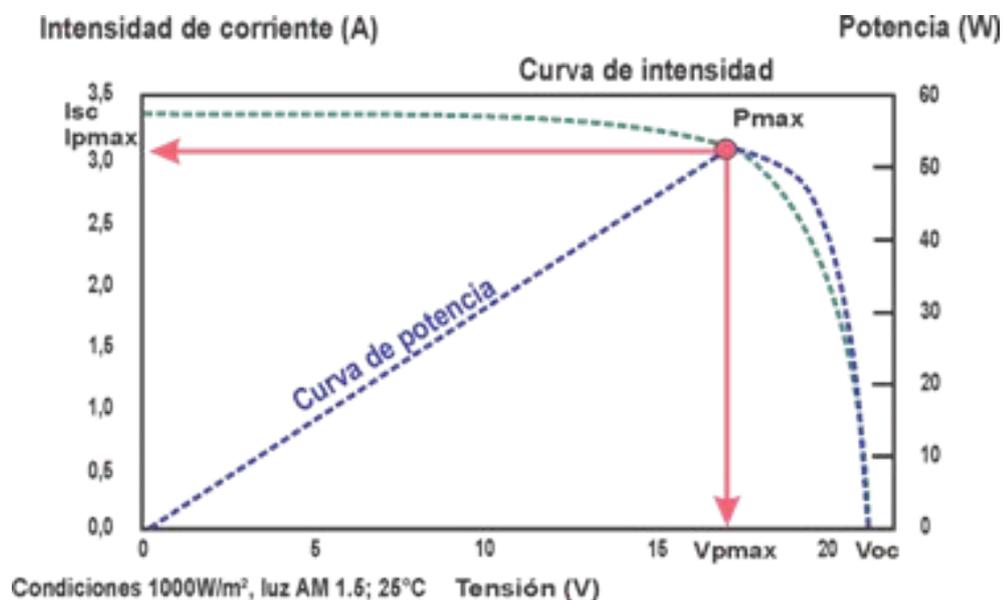


Figura 2-22 Característica V-I de un módulo fotovoltaico [4].

Los principales aspectos de funcionamiento de un módulo pueden observarse en su característica V-I. El primero de ellos es el punto de funcionamiento del módulo, que se define por los valores de V e I, y que debe situarse en la curva característica. Se debe destacar también que para un módulo determinado existe un único par de valores V-I que proporcionan la potencia máxima,  $V_m$  e  $I_m$ . A este par de valores se les denomina tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{mp}$ ) e intensidad en el punto de máxima potencia ( $I_{mp}$ ). Por último, otro aspecto importante que debe considerarse es la temperatura de operación nominal de las células solares (TONC). Este parámetro indica la temperatura que adquieren las células fotovoltaicas cuando se les somete a las siguientes condiciones ambientales:

- Irradiancia=  $800 \text{ W/m}^2$ .
- Distribución espectral AM= 1,5 G.
- Temperatura ambiente=  $20^\circ\text{C}$
- Velocidad del viento=  $1 \text{ m/s}$

Conociendo ya las principales características físicas y eléctricas de los módulos fotovoltaicos, debemos plantearnos a continuación la manera en que se asocian dichos módulos para poder disponer de la energía eléctrica que deseamos. Un módulo fotovoltaico por sí solo no suele ser suficiente para satisfacer los requerimientos de la instalación. En la mayoría de los casos es necesario combinar adecuadamente varios módulos para obtener los valores de tensión y corriente deseados. Estas

conexiones pueden ser en paralelo o en serie, proporcionando cada tipo de conexión un resultado distinto para las variables eléctricas. La conexión de módulos en serie proporciona como resultado una tensión equivalente a la suma de los voltajes de cada uno de los módulos implicados en la conexión en serie, mientras que la intensidad de corriente permanece constante. La conexión o acoplamiento de módulos en paralelo produce una intensidad de corriente equivalente a la suma de las intensidades individuales de cada uno de los módulos conectados en paralelo, mientras que la tensión permanece constante. El límite al número de módulos que se pueden conectar en serie o en paralelo viene marcado por las especificaciones técnicas del sistema de generación de potencia, pues se deben respetar las características eléctricas de entrada en éste así como el umbral de tensión a partir del cual puede funcionar correctamente. En la Figura 2-23 podemos ver un ejemplo de cada tipo de conexión.

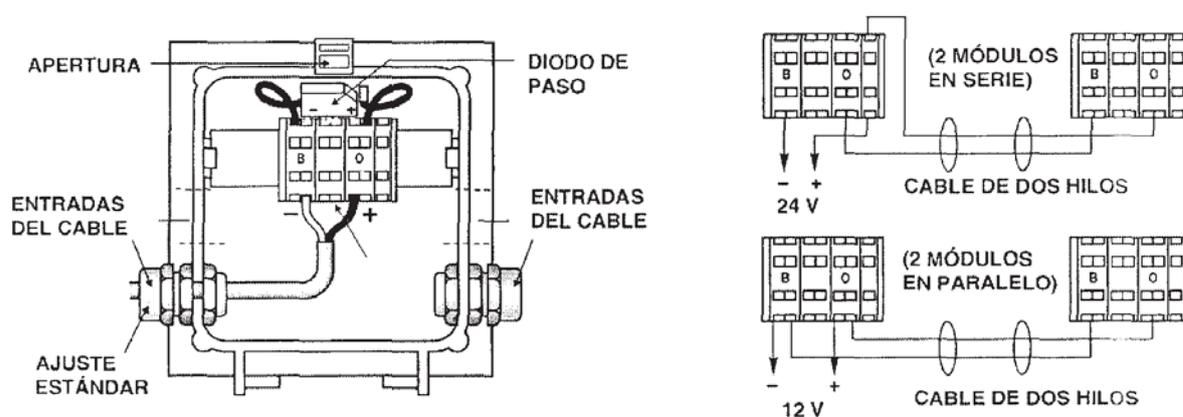


Figura 2-23 Esquema de la conexión de módulos y de la caja de conexión [12].

Los efectos teóricos de la asociación de módulos solo se alcanzan cuando todas las células solares que componen cada módulo trabajan bajo las mismas condiciones de radiación, temperatura, etc. Por lo tanto, las sombras que puedan afectar a parte de los módulos de una asociación constituyen el mayor inconveniente del proceso. Cuando los módulos de una instalación están conectados en serie, y parte de uno de ellos se encuentra cubierto por sombras, la corriente total del circuito se ve limitada por la generada en las células solares sombreadas. La corriente de estas células no puede circular por el circuito, por lo que circulan a través de su unión p-n. Este hecho hace que las células sombreadas se vean sometidas a un voltaje igual e inverso al de las células no sombreadas, lo que significa que las células no generan potencia sino que la consumen y disipan. Esto no solo provoca una disminución de la eficiencia sino que puede producir una degradación de las soldaduras y de las células. Este efecto se conoce como el problema del “punto caliente” o “hot-spot”. Para paliar los efectos negativos del problema del punto caliente en asociaciones en serie, se utilizan diodos de paso. Los diodos se conectan en antiparalelo a un grupo de células y evitan las tensiones inversas, manteniendo la diferencia de potencial entre sus extremos y por lo tanto evitando la disipación de potencia.

#### 2.4.5.1 Inversor

Como ya se ha mencionado, los módulos fotovoltaicos proporcionan electricidad con unos parámetros inadecuados para su introducción en la red general de distribución o para su consumo directo. Concretamente, los módulos proporcionan corriente continua, cuando se desea obtener corriente alterna, y un valor de tensión que generalmente no coincide con las características de la red eléctrica a la que se va a conectar. Por lo tanto, para poder disponer de la energía generada en los módulos fotovoltaicos, es necesario contar con un sistema de acondicionamiento de potencia o, lo que es lo mismo, un inversor (Figura 2-24).

Un inversor viene especificado por su tensión nominal de entrada, su potencia nominal y el tipo de señal que genera.

Los principales parámetros que les caracterizan son los siguientes ( [6]):

- Eficiencia del inversor.
- Capacidad de sobrecarga del inversor.
- La distorsión armónica: nos marca la relación entre la potencia debida a los armónicos (ondas de tensión) con frecuencia superior a la fundamental y la debida a los armónicos fundamentales.
- El factor de potencia: desfase entre tensión y corriente.
- Funcionamiento en espera o de bajo consumo: en este modo el inversor detecta que no hay ninguna carga conectada y reduce su autoconsumo al mínimo.



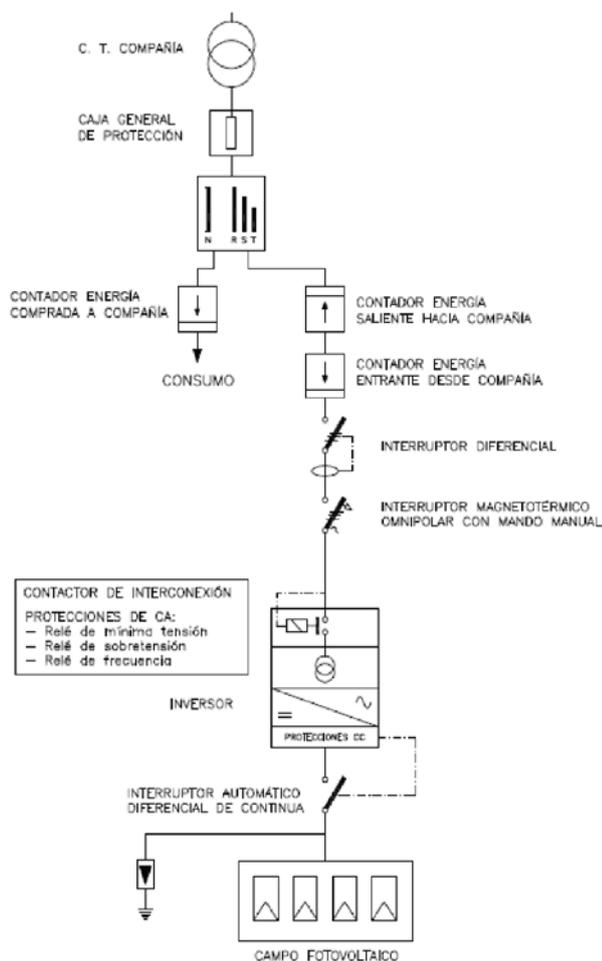
**Figura 2-24 Interior de un inversor para instalación fotovoltaica de conexión a red [14].**

Como ya se indicó anteriormente, el objetivo del inversor es obtener la máxima cantidad de energía posible con los parámetros adecuados. Para ello, se utiliza otro componente llamado el controlador de carga. Este componente le impone al campo fotovoltaico un valor de la tensión  $V$  cercano al valor de  $V_{mp}$ , de forma que se genere la correspondiente intensidad  $I$  próxima al valor de  $I_{mp}$  para la irradiancia existente. El controlador de carga puede incorporarse dentro del inversor o ir por separado. Para que funcionen correctamente, los inversores deben incorporar separaciones galvánicas y sistemas contra la inversión de la polaridad en la entrada, los cortocircuitos y las sobrecargas a la salida. Esto reducirá las necesidades de mantenimiento y garantizará el correcto funcionamiento del inversor durante un período de tiempo más prolongado.

#### *2.4.5.2 Cuadros de protecciones*

Los cuadros de protecciones (Figura 2-25) son dispositivos que protegen a la instalación frente a cualquier tipo de anomalías eléctricas que puedan surgir, tanto internas como externas (defectos eléctricos, sobretensiones, rayos, cortocircuitos, contactos directos e indirectos, sobrecargas, etc.). Deben contar con todos los elementos y garantías necesarias para asegurar permanentemente la calidad

del suministro eléctrico y la seguridad, por un lado, de las personas que manipulen la instalación y por otro, de la propia instalación. Además, también deberá incorporar otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente. La instalación de los cuadros debe permitir la desconexión y seccionamiento del inversor, tanto en la parte de corriente continua como en la de corriente alterna, para facilitar las tareas de mantenimiento y poder llevarlas a cabo de forma segura.



**Figura 2-25 Esquema de una instalación fotovoltaica con cuadros de protección y contadores [8].**

El autor de [23] coincide con lo anterior en las funciones que deben llevar a cabo los distintos cuadros de protección, y establece una clasificación según la finalidad de cada uno. Dicha clasificación es la siguiente (ver Figura 2-26 y Figura 2-27):

- Equipos de protección de grupo de paneles. Nivel 1: Equipo diseñado para proteger eléctricamente los paneles fotovoltaicos de posibles sobretensiones y sobreintensidades. Viene provisto de un “interruptor de corte en carga”, que permite cortar la línea del grupo de paneles y así realizar tareas correctivas o preventivas en dicha zona.
- Equipo de protección del grupo inversor. Nivel 2: Equipo diseñado para proteger eléctricamente los grupos inversores de posibles sobretensiones y sobreintensidades. Provisto de un “interruptor de corte en carga” para poder cortar toda una instalación o una zona determinada y así realizar tareas de mantenimiento correctivas o preventivas.

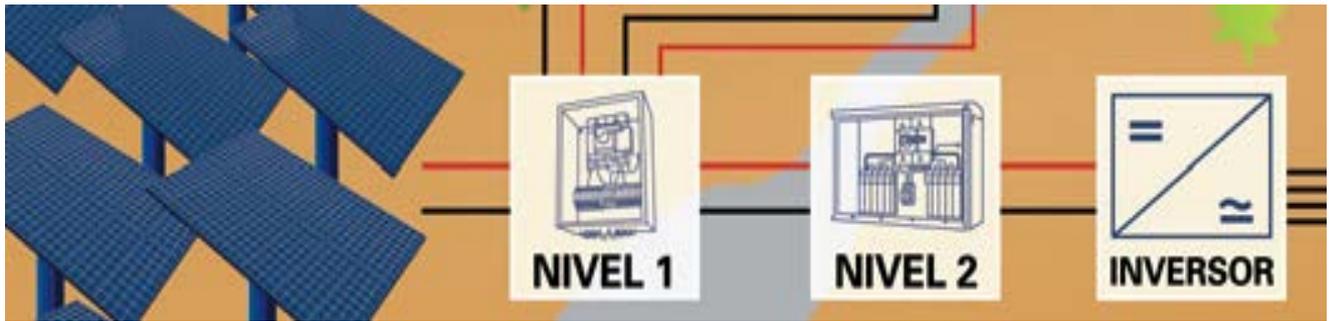


Figura 2-26 Esquema de instalación de equipos de protección de niveles 1 y 2 [23].

- Equipo de protección de salida del inversor. Equipo PCA: Equipo diseñado para proteger eléctricamente la línea desde la salida del inversor hasta la entrada del equipo de protección y medida regulado por la compañía.
- Equipo de protección y medida (CIA): Equipo diseñado para proteger eléctricamente y realizar la medida de forma bidireccional, es decir, permite visualizar el consumo de energía eléctrica de la red de distribución y medir la energía eléctrica vendida o suministrada a la red de distribución eléctrica. Cada compañía eléctrica de España regula los equipos que ocupan su ámbito de aplicación.

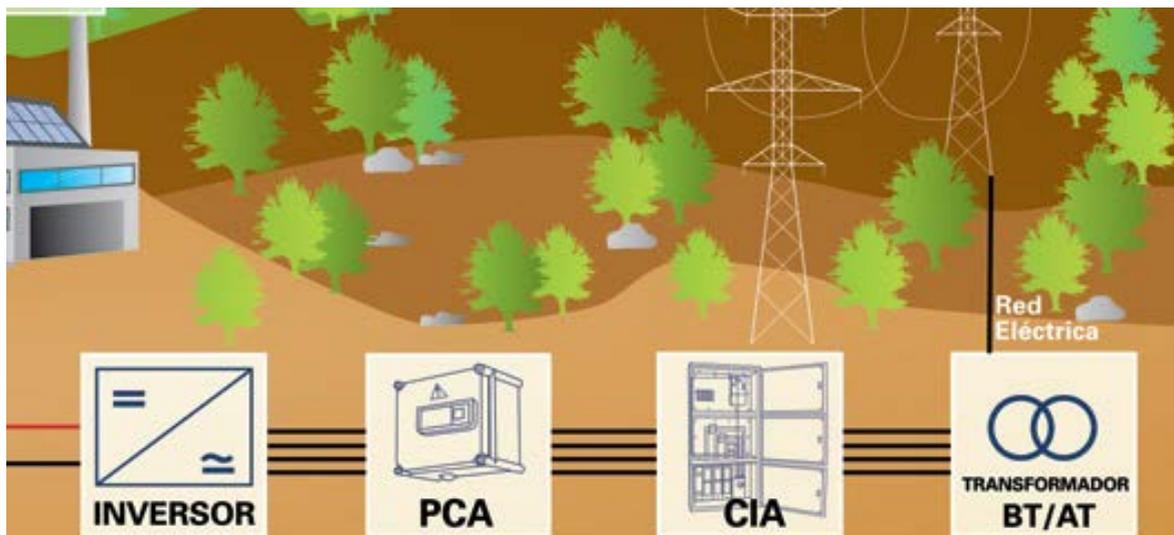


Figura 2-27 Esquema de instalación de equipos de protección PCA y CIA [23].

### 2.4.5.3 Contadores

Los contadores (Figura 2-28) son dispositivos encargados de registrar la energía eléctrica vertida a la red de distribución o la energía tomada de dicha red. Existen contadores unidireccionales o bidireccionales. En el caso de optar por el primer tipo, es necesario instalar dos contadores, uno de entrada y otro de salida. Habitualmente es la compañía eléctrica la que selecciona el tipo de contadores.

Generalmente el contador principal mide la electricidad producida en kWh que se envía a la red para que pueda ser facturada a la compañía según los precios establecidos. El contador secundario mide los consumos de los equipos fotovoltaicos en kWh para descontarlos de la energía producida.



Figura 2-28 Contadores de entrada y salida y protecciones de una instalación de potencia 7,5 kW [4].

## 2.5 Implantación en la edificación

### 2.5.1 Generalidades

Dada la naturaleza de las instalaciones fotovoltaicas, es relativamente sencillo adaptarlas e incorporarlas a entornos urbanos, construcciones o edificios. El pequeño espacio que ocupan, la ausencia de contaminación y el escaso o nulo ruido que generan las hacen ideales para integrarse en todo tipo de edificaciones, desde viviendas y cuarteles hasta oficinas o almacenes.

No solo pueden incorporarse las instalaciones fotovoltaicas a la edificación para proporcionar electricidad, sino que además pueden ejercer simultáneamente la función de elemento constructivo. Esto es lo que se conoce como BIPV (“Building Integrated PhotoVoltaics”). El autor de [24] la define de la siguiente manera: *La Integración Arquitectónica de la Energía Fotovoltaica (BIPV-Building Integrated Photovoltaics) consiste en la sustitución de materiales y/o elementos convencionales de construcción por elementos fotovoltaicos. De esta forma se genera un nuevo sistema constructivo que, además de ser generador de energía, puede adaptarse a las características de la edificación.* En este sentido, los fabricantes de placas fotovoltaicas ya han desarrollado modelos destinados específicamente a su incorporación a los tejados o fachadas de las construcciones urbanas.

Como indica el autor de [25], para llevar a cabo esta implantación de las tecnologías fotovoltaicas en los edificios se debe emplear un método de análisis previo que consta de cuatro pasos diferenciados (Figura 2-29). Éstos pasos son los siguientes:

- Análisis de la vivienda: Se analizan y estudian las necesidades energéticas del edificio y las características o aspectos particulares que puedan afectar a una hipotética instalación fotovoltaica.
- Sistema constructivo: Se analizan y estudian las técnicas y estructuras constructivas del edificio para determinar si la instalación es segura y viable y, en caso afirmativo, se estudia cómo podría llevarse a cabo.
- Equipos solares: Se estudian las diversas opciones de instalación teniendo en cuenta sus prestaciones y precios, para seleccionar posteriormente la que mejor se adapte a la edificación objeto de análisis.

- Normativa: Por último es preciso conocer y aplicar la normativa en vigor a la hora de seleccionar e implantar la instalación final.

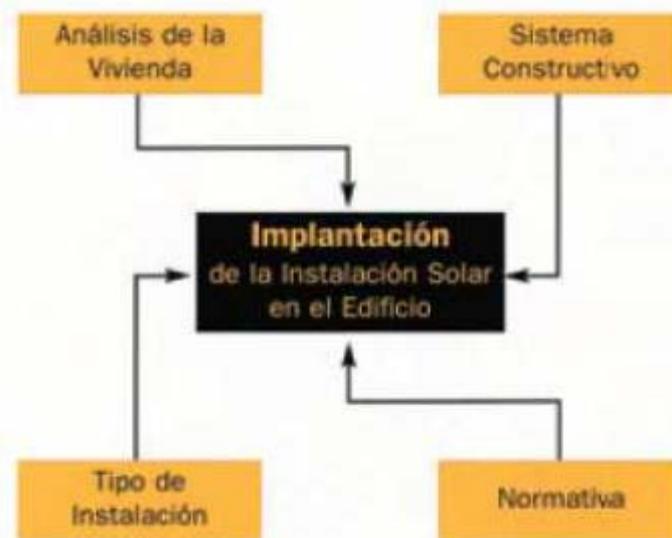


Figura 2-29 Método de análisis para incorporar una instalación FV a un edificio [25].

### 2.5.2 Grados de integración

Existen tres grados diferenciados de integración de los módulos fotovoltaicos determinados por el sistema y modo de fijación de éstos al edificio. Estos grados se conocen como:

- Grado de integración nulo (captadores independientes).
- Grado de integración medio (captadores superpuestos).
- Grado de integración alto (captadores integrados).

A continuación, se explicarán brevemente las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos según [25].

- Grado de integración nulo. Captadores independientes. Los captadores se colocan sobre una estructura de soporte independiente de la envoltura del edificio (Figura 2-30).
  - o Ventajas: Sencillo, permite seleccionar la orientación e inclinación deseadas.
  - o Desventajas: Impacto visual elevado, mayor espacio ocupado, no sustituye elementos constructivos.
  - o Aplicaciones: Edificios con cubiertas horizontales, edificios reformados.

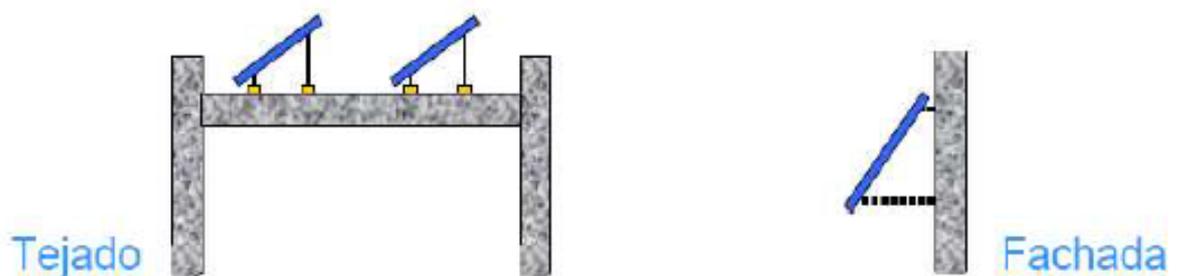


Figura 2-30 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración nulo [25].

- Grado de integración medio. Captadores superpuestos. Los captadores se colocan sobre estructuras que reposan en la envoltura del edificio, por lo que quedan en posición paralela a la misma (Figura 2-31).
  - o Ventaja: Menor impacto visual, menor exposición al viento.
  - o Desventajas: No sustituye elementos constructivos.
  - o Aplicaciones: Edificios reformados.

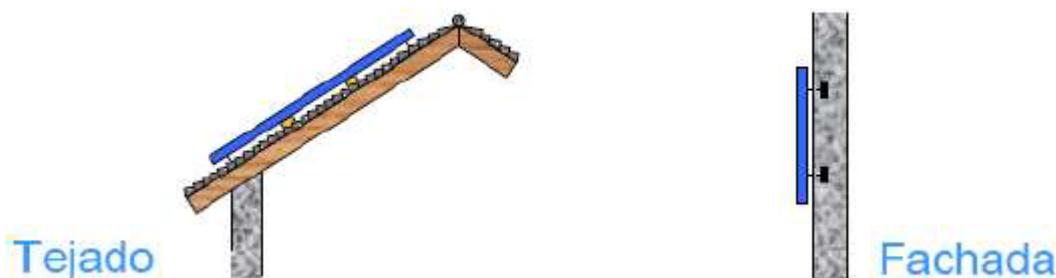


Figura 2-31 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración medio [25].

- Grado de integración alto. Captadores integrados. Los captadores, además de producir energía, cumplen una función arquitectónica al formar parte de la estructura del edificio (Figura 2-32).
  - o Ventajas: Ahorro de elementos constructivos, instalación más estética.



Figura 2-32 Módulos fotovoltaicos incorporados a una edificación con grado de integración alto [25].

### 2.5.3 Integración en cubiertas

Las instalaciones fotovoltaicas suelen estar integradas en la mayoría de los casos en las cubiertas o tejados de los edificios, puesto que las condiciones en dichos emplazamientos suelen ser más favorables que en las fachadas. En este apartado se explicará únicamente la integración en cubiertas, puesto que es el caso que interesa para el presente trabajo. Algunas ventajas de la integración en cubiertas son las siguientes [24]:

- Las inclinaciones habituales de las cubiertas suelen coincidir aproximadamente con las inclinaciones de máxima producción eléctrica anual (más suaves en latitudes bajas y más pronunciadas en latitudes altas).
- La orientación no es tan decisiva cuando la inclinación es pequeña, por lo que una mala orientación no será tan crítica en una cubierta como en una fachada.
- En una cubierta plana es posible situar la instalación fotovoltaica en la orientación e inclinación óptimas, independientemente de la orientación del edificio.

- La instalación en cubiertas minimiza el impacto visual.

Para llevar a cabo la integración de instalaciones fotovoltaicas en edificios, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- Consideraciones estructurales: la instalación en la cubierta de un sistema fotovoltaico origina una sobrecarga que, aunque es pequeña en relación con las sobrecargas que exige soportar el Código Técnico de Edificación, debe tenerse en cuenta en los cálculos. Un peso estándar que puede provocar una instalación fotovoltaica puede ser  $30 \text{ kg/m}^2$ , aunque depende del sistema de fijación utilizado.
- Sistemas de fijación: existen en el mercado estructuras de soporte específicas para la integración en cubiertas de paneles fotovoltaicos. Dichas estructuras se adaptan a cada tipo de cubierta. Por ejemplo, los sistemas de fijación en cubiertas planas suelen trabajar por gravedad para no perforar la impermeabilización, situando elementos pesados para estabilizar a las hileras de placas.
- Ventilación de las placas: la instalación se debe llevar a cabo teniendo en cuenta que los paneles necesitan una adecuada ventilación que evite que el aire caliente se quede estancado bajo las placas. Una ventilación insuficiente puede ocasionar pérdidas de eficiencia y degradación de los materiales.
- Estanqueidad: si la instalación va a sustituir a los elementos de impermeabilización de la cubierta, se debe asegurar que los paneles mantendrán la estanqueidad mediante juntas u otros sistemas.

## **2.6 Situación actual de la tecnología fotovoltaica en España**

En el presente apartado se expondrán algunos aspectos clave según [26] sobre el estado actual y las posibles modificaciones de mercado de la tecnología fotovoltaica en España. Se repasarán brevemente las tecnologías existentes en la actualidad, las corrientes de I+D, las evoluciones pasadas y estimaciones a futuro de rendimientos y precios, los actores clave del sector, el mercado actual y la cadena de valor.

### *2.6.1 Análisis de las tecnologías en el mercado actual*

Como ya se ha expuesto anteriormente, existen diversos tipos de tecnologías fotovoltaicas con distintas características y particularidades. En la Tabla 2-2 podemos ver un cuadro resumen de las principales opciones en cuanto a instalaciones fotovoltaicas con sus ventajas e inconvenientes.

|                      | Silicio cristalino   | Capas delgadas  | Concentración (CPV)  | 3ª generación  |
|----------------------|--|---|--|--|
|                      |   |    |                                    |   |
| Tipologías           | Poli y mono  | CdTe, CIGS y a-Si   | CPV y HCPV   | Dye-sensitized cells y células orgánicas   |
| Eficiencia comercial | 14-17%   | 10-12%  | 25-30%   | 5-6%   |
| Madurez              | +++  | ++  | +  | -  |
| Cuota de mercado     | ~85%   | ~15%  | ~1%  | ~0,1%  |
| Ventajas             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología madura</li> <li>• Buenas eficiencias</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costes de producción bajos</li> <li>• Buen comportamiento ante alta Tª y luz indirecta</li> <li>• Versatilidad de módulos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencias muy altas</li> <li>• Costes optimizables</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costes de producción potencialmente bajos</li> <li>• Versatilidad de módulos</li> <li>• Materias primas abundantes</li> </ul> |
| Desventajas          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor margen en la reducción de costes</li> <li>• Dependencia del Si</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencias bajas</li> <li>• Dependencia de metales escasos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fases de desarrollo poco avanzada</li> <li>• Costes muy elevados</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase de desarrollo muy prematura</li> <li>• Eficiencias bajas</li> </ul>  |

Tabla 2-2 Resumen de tecnologías fotovoltaicas y sus principales atributos [26]

La tecnología de silicio cristalino (en sus dos modalidades: policristalino y monocristalino) es la que ostenta una mayor cuota de mercado. Esto se debe principalmente a dos razones, su eficiencia comercial relativamente alta y su alto grado de madurez. Sin embargo, tiene dos inconvenientes importantes: la dependencia del silicio y que su margen de reducción de costes es pequeño.

Las tecnologías de capa delgada (CdTe, CIGS y a-Si) han adquirido una importante cuota de mercado en los últimos años gracias a sus bajos costes de producción, la versatilidad de sus módulos y su buen comportamiento a altas temperaturas. Sus dos principales desventajas son su eficiencia, que aún es considerablemente menor que la del silicio cristalino, y que en ocasiones dependen de metales escasos en la naturaleza.

Además de las dos principales tecnologías que ya se han mencionado, existen otras dos que actualmente apenas acaparan cuota de mercado pero que es posible que tengan un papel relevante en el futuro. La primera de ellas es la concentración fotovoltaica, que destaca por conseguir las eficiencias comerciales más altas (25-30%). Sin embargo, debido a que aún está comenzando a desarrollarse, los costes asociados a esta tecnología son muy altos. La segunda consiste en las células de tercera generación (“Dye-sensitized cells” y células orgánicas), las cuales tendrán unos costes de producción potencialmente bajos a medida que se desarrollen y se introduzcan en el mercado gracias a las abundantes materias primas que se usan en su fabricación y a la versatilidad de sus módulos. Sin embargo, hasta el momento solo se han conseguido obtener eficiencias muy bajas.

### 2.6.2 Investigación y Desarrollo I+D

La política de investigación y desarrollo en materia de energía fotovoltaica está definida por la Agencia Estratégica de Investigación (AEI) fotovoltaica europea, que tiene como prioridad mejorar la

competitividad fotovoltaica frente al resto de tecnologías de generación eléctrica. En este sentido, los esfuerzos de investigación se centran en los siguientes aspectos:

- Mejora de la eficiencia.
  - o Nuevos materiales y mejoras sobre lo utilizado actualmente.
  - o Mayor estabilidad a largo plazo en células y módulos.
  - o Tecnologías avanzadas de deposición.
- Mejora de los procesos productivos.
  - o Diseño de módulos.
  - o Mejora de la productividad.
  - o Técnicas de encapsulado.
  - o Nuevas técnicas de producción avanzadas.
- Promoción de la sostenibilidad.
  - o Reducción del impacto ambiental de materiales y procesos.
  - o Reciclaje y aumento de los ciclos de vida.
- Aplicabilidad.
  - o Mejora estética de los sistemas y estructuras.
  - o Nuevos diseños.

Para hacerse una idea del esfuerzo invertido por España en I+D en lo relativo a la energía fotovoltaica, se pondrá como ejemplo el presupuesto asignado para el período entre 2010 y 2013. Éste fue de 6600 millones de euros, y se destinó sobre todo a la mejora del rendimiento y la mejora de los procesos productivos, y en menor medida a la aplicabilidad y la promoción de la sostenibilidad.

### *2.6.3 Evolución de las eficiencias*

El estudio de las evoluciones de las eficiencias fotovoltaicas asociadas a las diferentes tecnologías nos permite estimar cuáles tienen mayor potencial de mejora en el futuro. Cuanto mayor sea la rapidez de la evolución, mayor es el potencial de mejora de las eficiencias en células comerciales.

En la Figura 2-33 podemos observar dicha evolución durante las pasadas décadas. De este gráfico podemos destacar dos conclusiones importantes:

- La tecnología madura que alcanza mayores eficiencias comerciales es el silicio policristalino.
- La tecnología de capa delgada ha experimentado una rápida evolución además de tener una cierta madurez, algo que no cumplen otras tecnologías con una buena evolución como las de concentración.

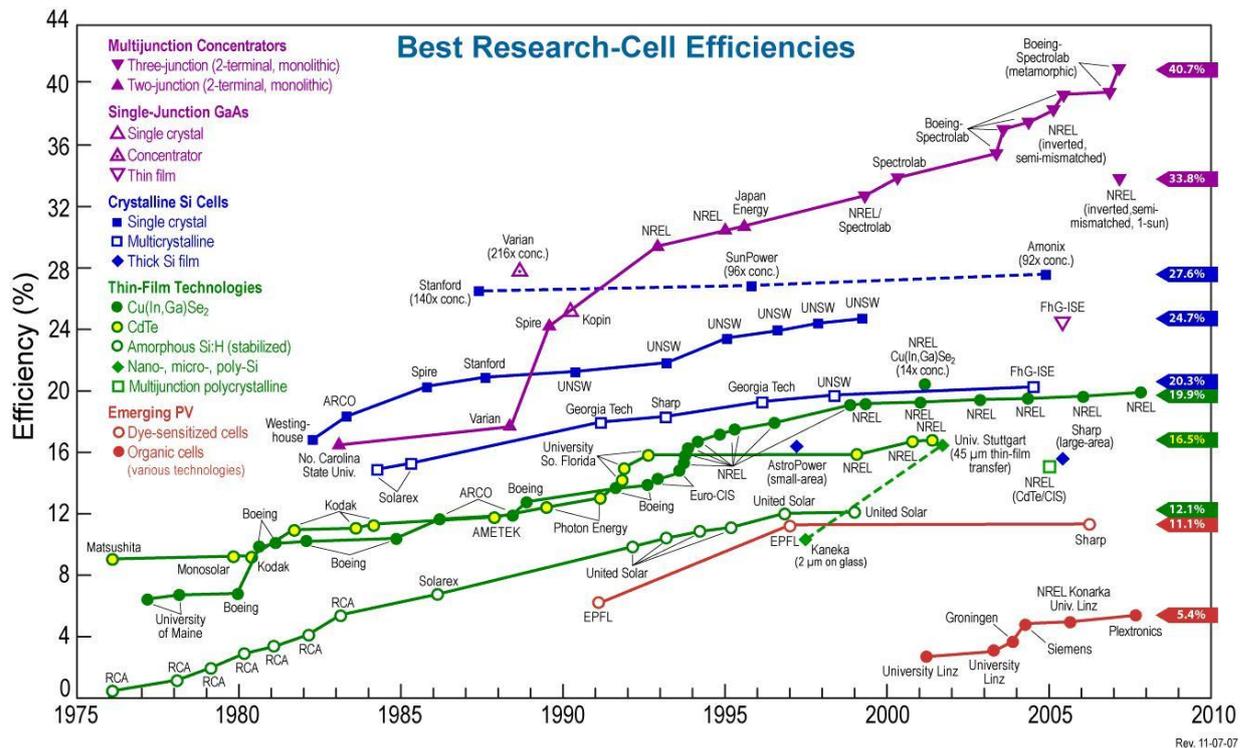


Figura 2-33 Evolución indicativa de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos hasta 2010 ([20]).

### 2.6.4 Evolución de los precios

Desde el año 2000, los precios fotovoltaicos en España han adoptado una tendencia descendente llegando a una reducción de más de un 10% en la actualidad. En el futuro, los siguientes factores determinarán la deriva de los precios:

- Presiones externas:
  - o Reducción de los mecanismos de apoyo: Los principales mercados han adoptado sistemas de tarifas fotovoltaicas decrecientes, similares al alemán. En España en concreto se están considerando actualmente posibles bajadas de tarifas.
  - o Mayor competencia: Los módulos producidos en China han conseguido un aumento importante de eficiencia, lo que les ha permitido ganar cuota de mercado.
- Oportunidades de mejora:
  - o Economías de escala: El crecimiento constante del mercado fotovoltaico mundial permitirá una reducción de los costes unitarios de fabricación.
  - o Mejoras tecnológicas: Los posibles aumentos de eficiencia de las células provocarán una reducción de los costes de producción.
- Mejoras debidas al entorno: Debido a la muy probable reducción de las tarifas incentivadas se optimizará la cadena de valor. Por ejemplo, todos los participantes en la parte baja de la cadena de valor verán ajustados sus márgenes y el coste de los permisos caerá.

Actualmente los precios “llave en mano” en España y el resto de países se encuentran como se indica en la Figura 2-34. El precio “llave en mano” indica el precio para instalar un sistema fotovoltaico y ponerlo en operación. Incluye todo lo necesario para que funcione inicialmente, pero no incluye gastos posteriores de mantenimiento etc.

TABLE 9: INDICATIVE INSTALLED SYSTEM PRICES IN CERTAIN IEA PVPS REPORTING COUNTRIES IN 2014

| COUNTRY     | OFF-GRID (LOCAL CURRENCY OR USD PER W) |              |                  |               | GRID-CONNECTED (LOCAL CURRENCY OR USD PER W) |             |                  |             |                  |             |                  |             |
|-------------|--|--------------|------------------|---------------|--|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
|             | <1 kW                                  |              | >1 kW            |               | RESIDENTIAL                                  |             | COMMERCIAL       |             | INDUSTRIAL       |             | GROUND-MOUNTED   |             |
|             | LOCAL CURRENCY/W                       | USDW         | LOCAL CURRENCY/W | USDW          | LOCAL CURRENCY/W                             | USDW        | LOCAL CURRENCY/W | USDW        | LOCAL CURRENCY/W | USDW        | LOCAL CURRENCY/W | USDW        |
| AUSTRALIA   | 9,00 - 15,00                           | 8,14 - 13,56 | 7,50 - 11,00     | 6,78 - 9,94   | 1,95   | 1,76        | 1,78             | 1,61        | 1,80             | 1,63        | 1,80             | 1,63        |
| AUSTRIA     | 5,00                                   | 6,67         | 5,00             | 6,67          | 1,75   | 2,33        | 1,47             | 1,96        | NA               | -           | NA               | -           |
| CANADA      | NA                                     | -            | NA               | -             | 3,00 - 4,00                                  | 2,73 - 3,64 | 2,90             | 2,64        | 2,20             | 2,00        | 2,00 - 2,60      | 1,82 - 2,37 |
| DENMARK     | 15,00 - 30,00                          | 2,68 - 5,36  | 25,00 - 50,00    | 4,47 - 8,94   | 10,00 - 18,00                                | 1,79 - 3,22 | 10,00 - 20,00    | 1,79 - 3,58 | 10,00 - 15,00    | 1,79 - 2,68 | 8,00 - 10,00     | 1,43 - 1,79 |
| FRANCE      | NA                                     | -            | NA               | -             | 3,00 - 4,00                                  | 4,00 - 5,33 | 2,10 - 2,40      | 2,80 - 3,20 | NA               | -           | 1,20 - 1,40      | 1,60 - 1,87 |
| GERMANY     | NA                                     | -            | NA               | -             | 1,60   | 2,13        | 1,24             | 1,65        | NA               | -           | 1,00             | 1,33        |
| ITALY       | NA                                     | -            | NA               | -             | 1,45 - 1,89                                  | 1,93 - 2,52 | NA               | -           | NA               | -           | 0,92 - 1,14      | 1,23 - 1,52 |
| JAPAN       | NA                                     | -            | NA               | -             | 366,00                                       | 3,47        | NA               | -           | NA               | -           | 263,00           | 2,50        |
| MALAYSIA    | NA                                     | -            | NA               | -             | 8,50   | 2,60        | 8,00             | 2,45        | 7,50             | 2,30        | 6,00             | 1,84        |
| NORWAY      | 60,00 - 100,00                         | 9,60 - 16,00 | 70,00 - 150,00   | 11,20 - 24,00 | 20,00  | 3,20        | 16,00            | 2,56        | -                | -           | -                | -           |
| SPAIN       | 4,80                                   | 6,40         | 3,80             | 5,07          | 2,20   | 2,93        | 1,50             | 2,00        | 1,20             | 1,60        | 1,20             | 1,60        |
| SWEDEN      | 25,00                                  | 3,68         | 20,40            | 3,00          | 19,23  | 2,83        | 12,90            | 1,90        | NA               | -           | NA               | -           |
| SWITZERLAND | 6,00 - 15,00                           | 6,59 - 16,47 | 4,00 - 12,00     | 4,39 - 13,17  | 2,50 - 4,50                                  | 2,74 - 4,94 | 2,00 - 3,00      | 2,20 - 3,29 | 1,90             | 2,09        | NA               | NA          |
| THAILAND    | 65,00 - 85,00                          | 2,00 - 2,61  | 65,00 - 85,00    | 2,00 - 2,61   | 60,00 - 100,00                               | 1,84 - 3,07 | 50,00 - 85,00    | 1,53 - 2,61 | 55,00 - 75,00    | 1,69 - 2,31 | 40,00 - 60,00    | 1,23 - 1,85 |
| USA         | NA                                     | -            | NA               | -             | 4,61   | 4,61        | 3,44             | 3,44        | NA               | -           | 1,77             | 1,77        |

NOTE: DATA REPORTED IN THIS TABLE DO NOT INCLUDE VAT.

SOURCE IEA PVPS.

Figura 2-34 Evolución aproximada del precio llave en mano de una instalación pequeña en España ( [27]).

### 2.6.5 Actores clave del sector

El mercado fotovoltaico está compuesto mayoritariamente por empresas especializadas, especialmente en los primeros eslabones de la cadena de valor. La mayoría ya son empresas españolas, aunque aún quedan un importante número de actores extranjeros. En la Tabla 2-3 se muestran los actores más destacados en el mercado español.

|                                    | Fabr. módulos | Fabr. inversores      | Distribuidores   | Promotores                 | Instaladores        |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|------------------|----------------------------|---------------------|
| Nº aproximado de actores en España | 20            | 10                    | >50              | >150                       | >300                |
| Actores destacados                 | Aleo Solar    | Atersa                | Bosch            | 9REN                       | Accener             |
|                                    | Atersa        | Enertron              | Clamar Europe    | Renovalia                  | Acciona             |
|                                    | Eurener       | Fagor Automotion      | Colexon          | Aldesa Energías Renovables | Avanzalia           |
|                                    | Isofotón      | Greenpower technology | Conergy          | Alener                     | GA Solar            |
|                                    | Pevafersa     | Ingeteam              | Jhroerden        | Elecnor                    | Grupo Isolux Corsán |
|                                    | Siliken       | Jema                  | Krannich Solar   | Grupo OPDE                 | Iberinco            |
|                                    | Solaria       | Solener               | Phoenix Solar    | Heliosolar                 | Martifer Solar      |
|                                    | T-Solar       | Soltec                | Hawi             | Siliken                    | Solaer              |
|                                    | Yohkon        | Zigor                 | Fotovoltaica IBC | Vadesolar                  | Solaria             |
|                                    |               | Wagner Solar          |                  |                            |                     |

Tabla 2-3 Eslabones y actores de la cadena de valor ( [26])

### *2.6.6 Mercado actual y efectos del CTE*

Según un estudio del IDAE, todo indica que las tecnologías de silicio cristalino se mantendrán durante la presente década como la tecnología mayoritaria. Progresivamente, dicha tecnología irá perdiendo cuota de mercado frente a la tecnología de capa delgada (o Thin Film) hasta llegar al 30% en 2020.

Dentro de las tecnologías de capa delgada, la de CdTe es la más importante actualmente y se espera que su crecimiento sea el impulsor de las capas delgadas. Sin embargo, existen recelos hacia esta tecnología debido a la posible toxicidad del Cd y a la escasez de Te en la naturaleza, que puede generar problemas de suministro que frenen el crecimiento de esta tecnología.

Por otro lado, las tecnologías de silicio amorfo están sufriendo algunos imprevistos que dificultan su crecimiento:

- a-Si: A pesar de la diferencia de precio con respecto al Si-C, su baja eficiencia (5-7%) genera mucha dificultad de ventas debido al gran coste unitario de instalación.
- $\mu$ -Si: El silicio micromorfo está sufriendo dificultades serias en el desarrollo de sus procesos de producción, que están provocando que algunas empresas abandonen esta tecnología.
- Triple capa: Actualmente su precio es más elevado de lo previsto por lo que aún no pueden competir con otras tecnologías.

En cuanto a la tecnología CIGS (“Copper indium gallium (di)selenide”), es la que se espera que experimente el mayor crecimiento en los próximos años.

En lo que respecta a las tecnologías de tercera generación, no se espera que en un futuro próximo adopten un papel importante en el mercado. La previsión establece que su cuota de mercado rondará el 1% en 2020.

La regulación del Código Técnico de Edificación (CTE) con respecto a la energía fotovoltaica no ha afectado de forma considerable al mercado fotovoltaico español. La industria experimentó un crecimiento constante desde 2002, y en 2008 se produjo un “boom” seguido de una fuerte caída en 2009. Tradicionalmente el desarrollo del mercado español ha estado asociado con el desarrollo de los grandes sistemas en suelo debido a la generosa tarifa existente (42 cEu/kWh indexada al IPC). Dicha tarifa provocó la llegada a España de cientos de inversores que buscaban las excelentes rentabilidades que excedían el 20%. Con la llegada de la nueva regulación en 2008 (RD 1578/2008) se limitó el mercado a 500 MW anuales. Este hecho, junto con la gran reducción de precio de los módulos y la crisis financiera hizo que el mercado fotovoltaico fuera prácticamente inexistente durante 2009. Los actores españoles tuvieron entonces que centrarse en el segmento de las instalaciones en cubierta y en la internacionalización. Prueba de ello es que en el último cuarto de 2009 los MW solicitados para instalaciones en tejado fueron por primera vez superiores al cupo establecido por el RD 1578/2008, y que en ese mismo año el 32% del sector fotovoltaico español salió a mercados extranjeros.

El marco regulatorio actual tiene como objetivo potenciar el desarrollo del segmento de las instalaciones en cubierta como pudo verse cuando el RD 1578/2008 estableció cupos específicos para cada tipo de instalación y tarifas diferenciadas superiores para las instalaciones en tejado, siguiendo las tendencias europeas.



## 3 DESARROLLO Y MÉTODOS DEL TFG

### 3.1 Descripción general

En el presente apartado se van a describir las distintas etapas de las que se compone este trabajo, explicando la metodología utilizada y el desarrollo de cada una, así como las dificultades encontradas. El primer paso consiste en el modelado 3D de los edificios de la ENM. Posteriormente se detallará el proceso seguido para situar los edificios en su localización geográfica, y a continuación se explicará la simulación realizada para obtener la irradiación solar. Por último, se describirá el análisis del potencial fotovoltaico de los edificios así como el estudio económico de una hipotética instalación y de su amortización posterior.

### 3.2 Diseño 3D. Modelado de edificios

#### 3.2.1 Descripción

En esta primera etapa se realizó el modelado de los edificios susceptibles de poder ser seleccionados para la integración de una instalación fotovoltaica. Con el objetivo de obtener unos modelos lo suficientemente exactos como para poder obtener una estimación fiable aproximada del potencial fotovoltaico de la Escuela Naval Militar, se ha utilizado un software que permite un modelado preciso así como la incorporación de herramientas de simulación. Dicho software es Google SketchUp v2016, que permite modelar con exactitud de forma sencilla. Mediante el uso de planos y otras herramientas, se han obtenido los edificios en tres dimensiones en un formato adecuado para la posterior simulación. En los siguientes apartados se describirá detalladamente el proceso seguido para llevar a cabo el modelado así como las herramientas utilizadas.

#### 3.2.2 Software utilizado

Google SketchUp es una herramienta de modelado 3D y diseño gráfico desarrollada por Google. Permite construir y manipular todo tipo de modelos tridimensionales tanto de exterior como de interior de forma sencilla y rápida. El programa incorpora todo tipo de opciones y herramientas para el modelado, desde la creación de figuras geométricas básicas hasta herramientas de texturizado, iluminación y renderizado.

Además de las herramientas que nos ofrece para crear nuestros propios modelos, SketchUp cuenta con una base de datos en la que los usuarios comparten sus creaciones de forma que el resto pueda

utilizar los modelos ya realizados. Estos modelos son de todo tipo, desde muebles y objetos sencillos hasta coches, edificios o estructuras complejas, y se puede disponer de ellos de forma gratuita.

Google SketchUp consta de dos versiones de distinta capacidad: SketchUp Pro y SketchUp Make. La diferencia entre ellos consiste en que SketchUp Pro contiene algunas herramientas más complejas necesarias para algunos tipos de diseños gráficos, mientras que SketchUp Make solo contiene las herramientas básicas. SketchUp Pro permite un período de prueba de 30 días y posteriormente es necesario comprar una licencia. SketchUp Make es totalmente gratuito. Para el presente trabajo las herramientas que ofrece SketchUp Make son suficientes, pues permiten un modelado preciso de los edificios. En la Figura 3-1 se pueden ver algunos modelos realizados con este software.

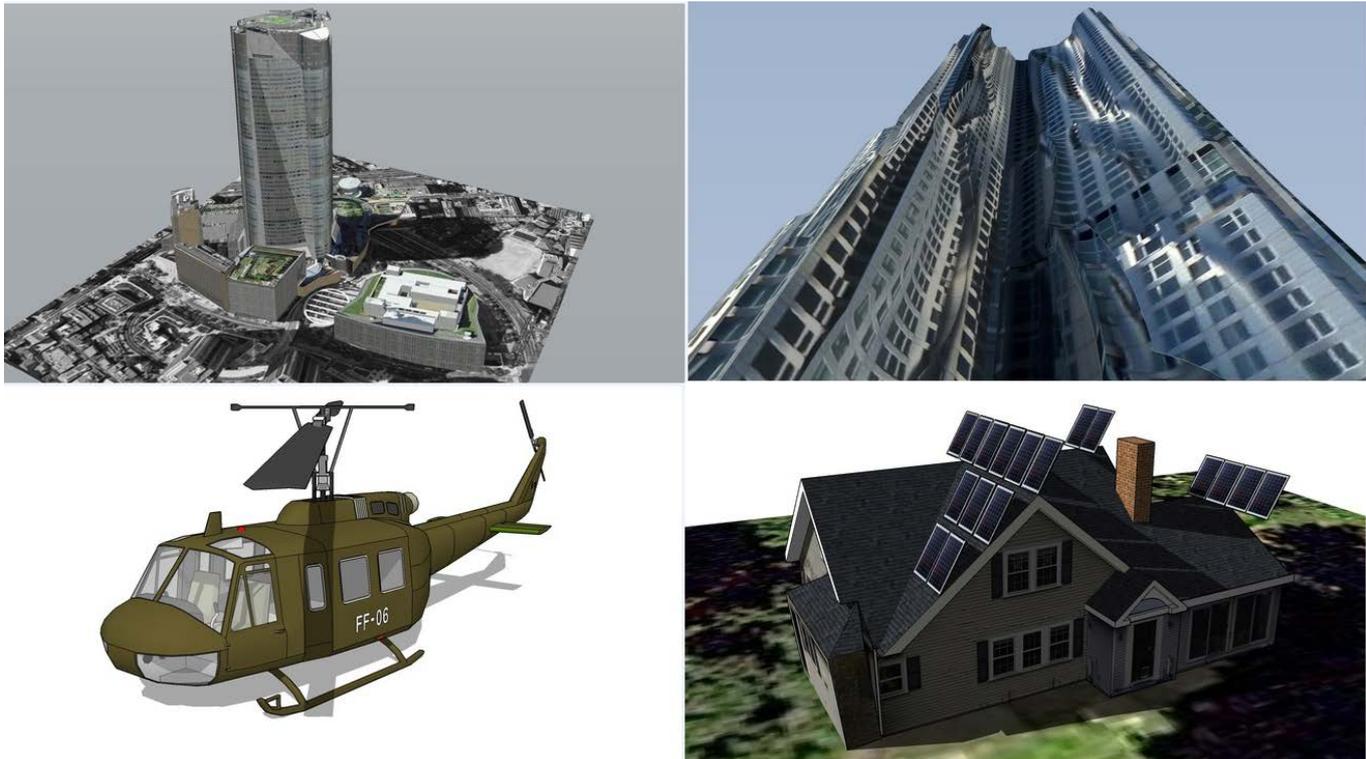


Figura 3-1 Modelo SketchUp 3DWarehouse [28].

### 3.2.3 Selección de edificios de interés

La primera que se tomó para comenzar el trabajo fue seleccionar los edificios en los que es posible que una instalación fotovoltaica pueda resultar rentable. Para el caso de la Escuela Naval Militar solo se consideró la instalación de módulos fotovoltaicos en los tejados de los edificios, pues aunque también existe la integración en fachadas, ésta no resulta práctica en este caso por motivos de presupuesto, eficiencia y estética.

Los criterios utilizados en la selección fueron fundamentalmente la superficie de tejado y la localización de los edificios. El criterio predominante fue la superficie de cubierta, puesto que durante la posterior simulación se tendrá en cuenta la orientación e inclinación de los tejados, así como su situación geográfica. De este modo, se escogieron todos los edificios con un tamaño lo suficientemente grande como para poder integrar la instalación fotovoltaica en ellos.

Los edificios seleccionados fueron los relacionados en la Tabla 3-1. A cada uno se le asignó un identificador breve que se utilizó en el estudio energético posterior (Anexo II).

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS  
INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN

| Edificio  | Identificador |
|---|---------------|
| 1. Aula 14  | AUL14         |
| 2. Barrio industrial Sur  | SUR           |
| 3. Barrio industrial Talleres                                   | TLR           |
| 4. Bazar  | BAZ           |
| 5. Casino de alumnos “Almirante Bonifaz”                        | CAS           |
| 6. Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”              | CFM           |
| 7. Cuartel de marinería “Méndez Núñez”                          | CMR           |
| 8. Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria”                  | MDV           |
| 9. Edificio de la Oficina de Correos de la ENM                  | COR           |
| 10. Edificio del Centro Universitario de la Defensa             | CUD           |
| 11. Edificio del Departamento de Táctica e Infantería de Marina | TAC           |
| 12. Hospital  | HSP           |
| 13. Imprenta  | IMP           |
| 14. Edificio de aulas “Isaac Peral”                             | IPL           |
| 15. Jefatura de Estudios  | JDE           |
| 16. Jefatura de Instrucción edificio “Príncipe de Asturias”     | JFI           |
| 17. Lavandería  | LAV           |
| 18. Gimnasio “GGMM Barrutia”                                    | GIM           |
| 19. Residencia de oficiales “Javier Quiroga”                    | RSO           |
| 20. Sección de obras  | OBR           |
| 21. Taller de automóviles 1                                     | AUT1          |
| 22. Taller de automóviles 2                                     | AUT2          |
| 23. Edificio muelle de Torpedos 1                               | TRP1          |
| 24. Edificio muelle de Torpedos 2                               | TRP2          |
| 25. Edificio muelle de Torpedos 3                               | TRP3          |
| 26. Túnel del viento  | TDV           |

**Tabla 3-1 Edificios seleccionados para la estimación del potencial fotovoltaico integrado.**

A fin de identificar correctamente cada edificio, podemos observar en la Figura 3-2 el emplazamiento de cada uno marcado con el número correspondiente a la lista anterior.



**Figura 3-2 Emplazamiento de los edificios seleccionados para estudio.**

### 3.2.4 Distribución para el modelado de edificios

Durante el desarrollo del trabajo, los edificios seleccionados en el apartado 3.2.3 se distribuyeron entre el AF Óscar Vega Vegas y el autor del presente trabajo. Dicha distribución se llevó a cabo debido a que el proyecto del AF Vega se asemeja en muchos aspectos a este estudio, y la parte inicial de modelado de edificios era necesaria para ambos. Por esta razón, se decidió distribuir el trabajo en lugar de duplicarlo, de forma que se agilizase el proceso de modelado y se pudiesen invertir mayores esfuerzos en el estudio energético y económico de la instalación, verdadero objetivo del estudio.

La distribución se llevó a cabo de forma equitativa de forma que la carga de trabajo fuese similar para cada bloque, teniendo en cuenta el número y complejidad de los edificios. Los edificios modelados por el autor del presente trabajo fueron:

- Cuartel de marinería “Méndez Núñez”
- Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria”
- Hospital
- Edificio de aulas “Isaac Peral”
- Residencia de oficiales “Javier Quiroga”
- Edificio muelle de Torpedos 1
- Edificio muelle de Torpedos 2
- Edificio muelle de Torpedos 3

Los edificios modelados por el AF Vega Vegas fueron:

- Aula 14
- Barrio industrial Sur
- Barrio industrial Talleres
- Bazar
- Casino de alumnos “Almirante Bonifaz”
- Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”
- Edificio de la Oficina de Correos de la ENM
- Edificio del Centro Universitario de la Defensa
- Edificio del Departamento de Táctica e Infantería de Marina
- Imprenta
- Jefatura de Estudios
- Jefatura de Instrucción edificio “Príncipe de Asturias”
- Lavandería
- Gimnasio “GGMM Barrutia”
- Sección de obras
- Taller de automóviles 1
- Taller de automóviles 2
- Túnel del viento

### *3.2.5 Obtención de planos y otras herramientas*

El siguiente paso tomado para llevar a cabo el modelado es la consecución de los planos de los edificios, de forma que se puedan modelar con la mayor precisión posible. Para ello se contactó con el arquitecto José Mel Fraga, bajo cuya responsabilidad recaen los edificios de la ENM, el cual se encuentra vinculado al Arsenal de la Armada en Ferrol (La Coruña). La principal dificultad que se encontró en este punto fue que dicho arquitecto no pudo proporcionar los planos completos de todos los edificios en formato CAD, y la Oficina de Mantenimiento de la ENM tampoco los almacenaba en sus archivos en papel.

Por lo tanto, se tomó la decisión de utilizar los planos proporcionados por el arquitecto mediante el software AutoCad 2016 y obtener las medidas de los edificios sin planos mediante otros medios.

#### *3.2.5.1 Planos completos*

El arquitecto solo pudo proporcionar planos completos de los siguientes edificios:

- Hospital
- Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”

- Edificio de aulas “Isaac Peral”
- Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria”
- Cuartel de marinería “Méndez Núñez”

En el Anexo I se pueden consultar los citados planos, a partir de los cuales se pudieron modelar los edificios tomando todas las medidas en AutoCad.

### 3.2.5.2 Plantas

Respecto al resto de edificios, únicamente se disponía de planos en CAD de la planta, por lo que se decidió utilizar un telémetro láser para obtener las alturas. Se debe destacar que, aunque es preferible para el modelado disponer de planos completos, la ausencia de éstos no supone un impedimento para la realización del estudio. Al tratarse este trabajo de una estimación, y no de llevar a cabo la instalación fotovoltaica propiamente dicha, no es de importancia vital que los edificios se modelen con total exactitud. En el Anexo I se puede observar el detalle de las plantas utilizadas para el modelado.

Las plantas fueron fundamentales para plasmar con exactitud las bases de los edificios en SketchUp, a las cuales se les daría volumen posteriormente mediante las medidas obtenidas con el telémetro láser.

### 3.2.5.3 BOSCH GLM 100C Professional

El dispositivo BOSCH GLM 100C Professional [29] es un medidor láser profesional que realiza, entre otras, funciones de medición de inclinación integrada, medición indirecta de longitudes o medición indirecta de alturas. En la Tabla 3-2 se pueden observar sus características más importantes.

| Característica                    | Valor      |
|-----------------------------------|------------|
| Margen de medición                | 0,05-100 m |
| Exactitud de la medición habitual | +/- 1,5 mm |
| Tiempo de medición habitual       | <0,5 s     |
| Tiempo máximo de la medición      | 4 s        |
| Peso aprox.                       | 0,14 kg    |
| Unidades de medida                | m/cm/mm    |

**Tabla 3-2 Características principales del BOSCH GLM 100C Professional.**

Para la obtención de datos de los edificios se utilizó en los modos de medición indirecta de alturas y longitudes. Mediante el punteo láser a la base del edificio y al punto más alto del mismo, el aparato es capaz de formar un triángulo con la posición del observador y obtener la altura mediante cálculos trigonométricos. Las mediciones realizadas mediante el telémetro láser sirvieron para obtener todos los datos necesarios para el modelado de todos los edificios. En la Figura 3-3 se puede ver una imagen del dispositivo.



**Figura 3-3 Medidor láser BOSCH GLM 100C Professional.**

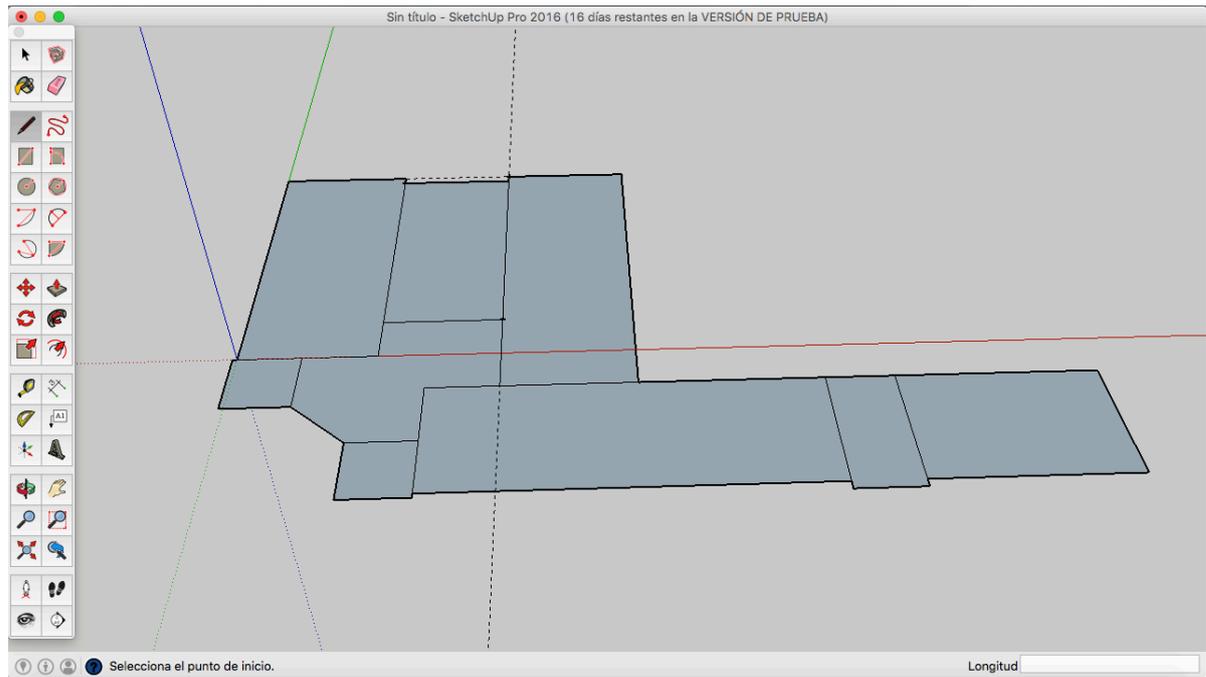
### *3.2.6 Modelado de edificios*

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la definición de los edificios, se procedió a realizar el modelado. Dicho modelado se llevó a cabo utilizando herramientas ofrecidas por el software descrito en 3.2.2 siguiendo una metodología similar para todos los edificios.

Cabe destacar que para el objetivo final de estimar el potencial fotovoltaico de los edificios, la parte primordial del modelado es la superficie del tejado, por lo que se omitirá definir detalles de pequeño tamaño en las fachadas tales como puertas, ventanas o pequeños salientes.

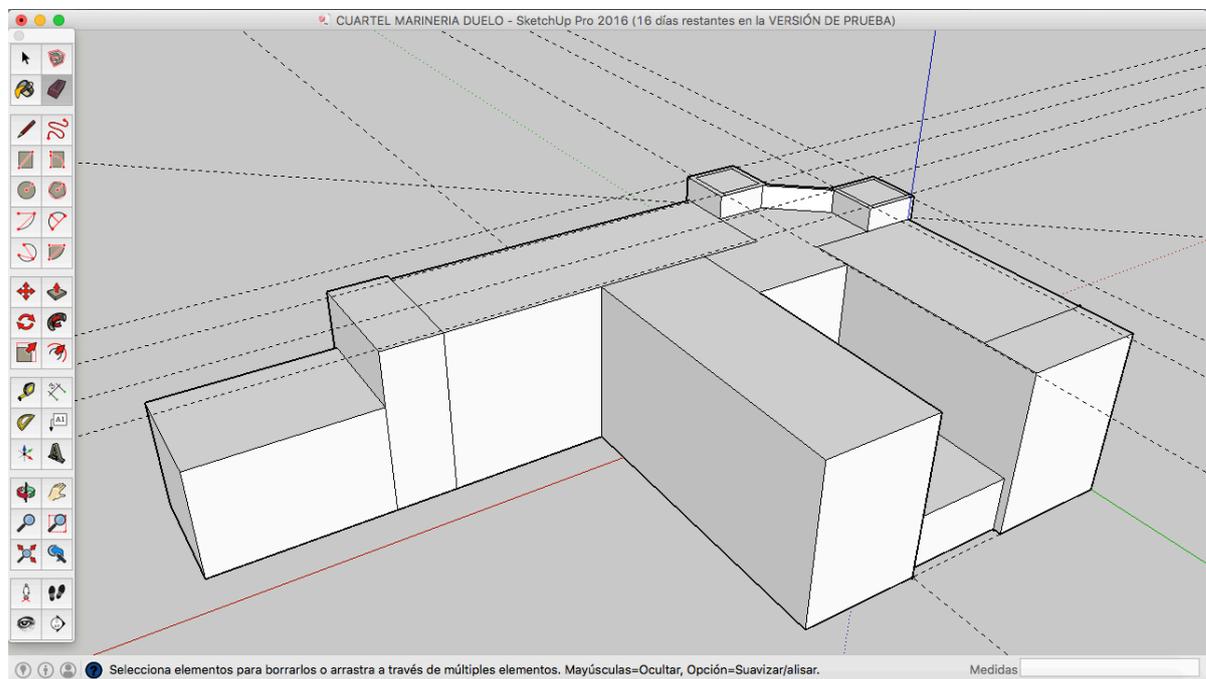
Cada edificio se modeló en un archivo separado, de forma que posteriormente pudiesen importarse todos los edificios en un único archivo y orientarse fácilmente sobre su localización geográfica. De esta forma conseguimos que cada edificio constituya un componente propio e independiente de los demás (lo que simplifica su manejo) y reducimos la posibilidad de errores en el modelado. En el presente apartado se detallará el modelado del cuartel de marinería “Méndez Núñez”, el cual es bastante representativo del trabajo realizado con el resto de edificios.

En primer lugar se dibujó sobre el plano la planta de los diferentes bloques que componen el edificio siguiendo las medidas obtenidas de los planos en AutoCad, como se puede observar en la Figura 3-4. Para ello se utilizaron las herramientas “Línea”, “Rectángulo” y demás opciones de diseño gráfico. Además, las guías también fueron de gran utilidad ya que permiten marcar distancias y puntos de interés sin modificar el modelado ni introducir líneas adicionales.



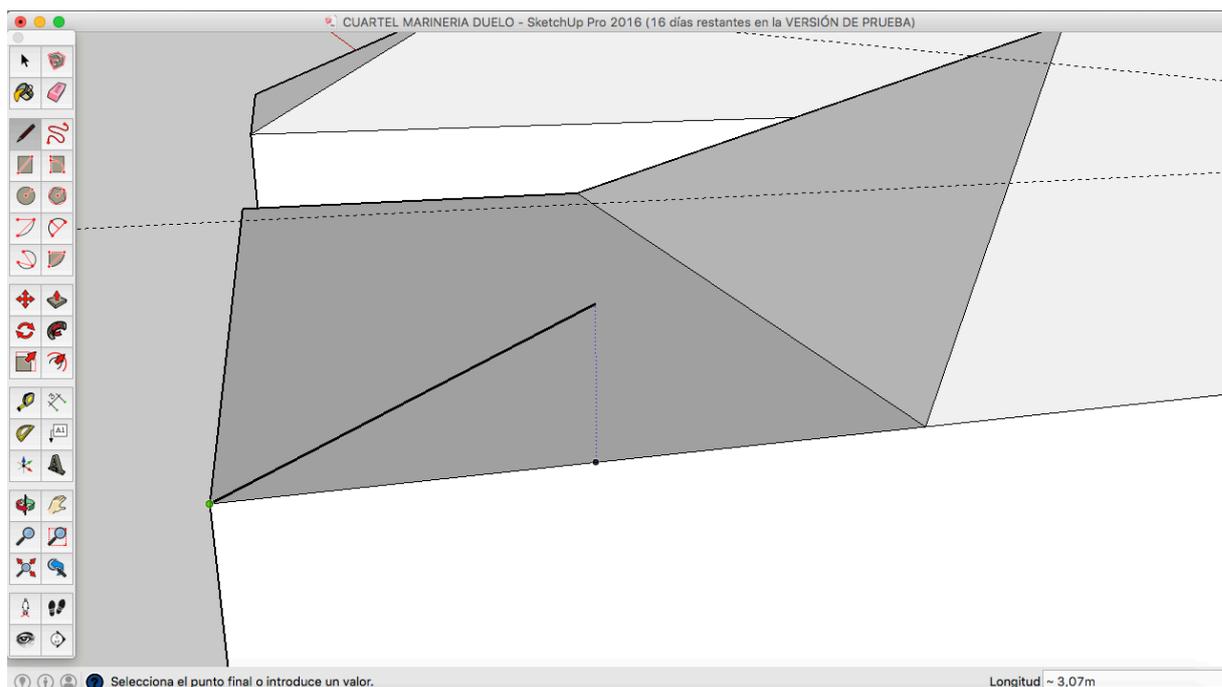
**Figura 3-4 Base del edificio “Méndez Núñez” en el programa SketchUp.**

Posteriormente, se levantó cada bloque del edificio hasta su altura correcta mediante la herramienta “Empujar/Tirar”, que permite la ejecución de extrusiones (Figura 3-5). En los edificios en los que se dispuso de planos completos dichas alturas se tomaron de AutoCad y en aquellos en los que solo se disponía de plantas se utilizaron las alturas obtenidas por medio del telémetro láser descrito en 3.2.5.3.



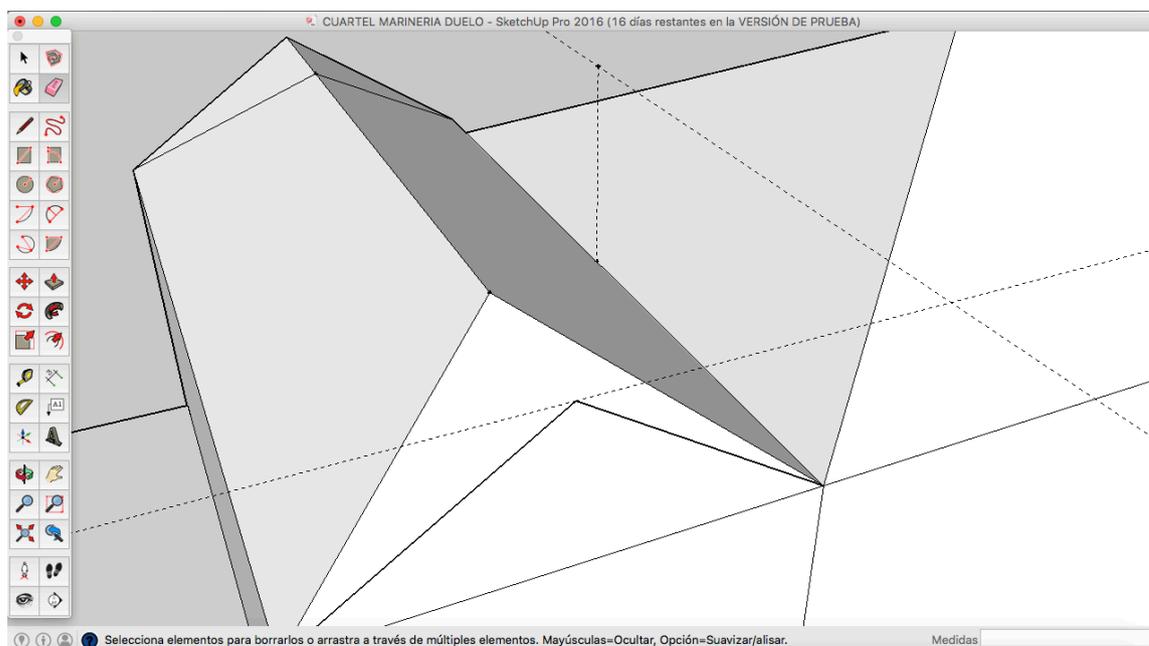
**Figura 3-5 Bloques extruidos del edificio “Méndez Núñez”.**

Para dibujar una cubierta a dos aguas sobre un bloque primero se dibujó un triángulo sobre el bloque correspondiente mediante la herramienta “Línea”. Dicho triángulo (Figura 3-6) era isósceles y sus ángulos se correspondían con la inclinación de la cubierta real, parámetro fundamental para el posterior estudio. Utilizando guías a la altura correspondiente del tejado y los puntos de interés que nos ofrece SketchUp (p.e. “Punto medio”) resultó sencillo.



**Figura 3-6 Trazado del triángulo base para una cubierta a dos aguas.**

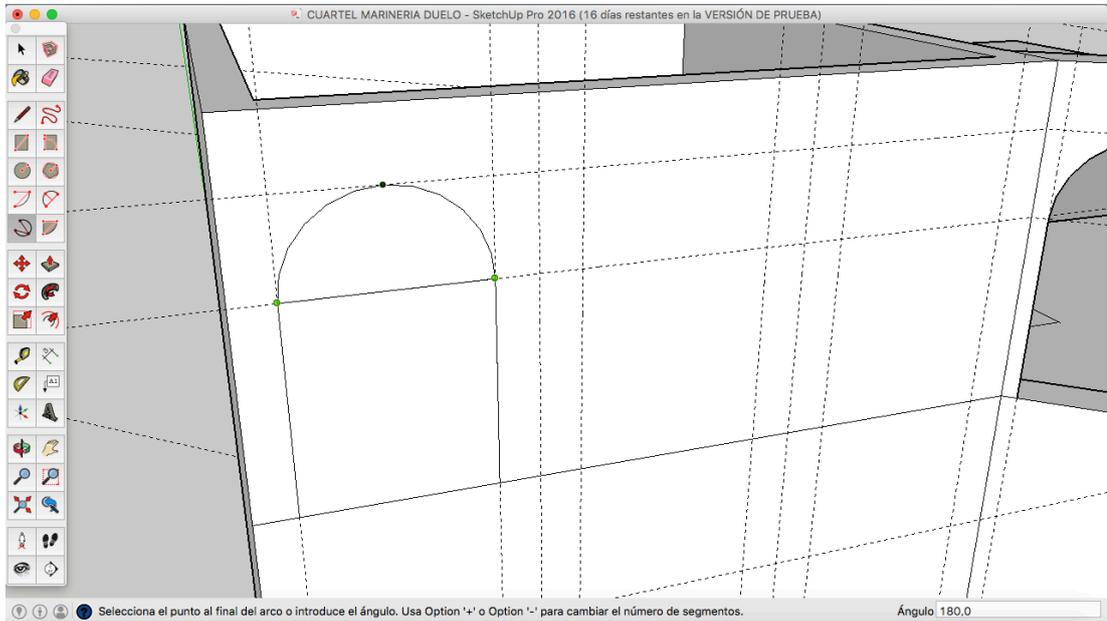
Una vez dibujado el triángulo, éste se extruyó mediante la herramienta “Empujar/tirar” de forma que el prisma resultante cubría la superficie correspondiente a la cubierta. En muchos casos en los extremos de las cubiertas existen unas caras triangulares adicionales con una cierta inclinación. Éstas se modelaron colocando guías sobre el vértice de la cubierta a la distancia adecuada y uniendo los extremos inferiores a dichas guías mediante líneas. Posteriormente mediante la herramienta “Borrar” se eliminaron las caras y líneas sobrantes, quedando completadas las cubiertas a dos aguas tras repetir la secuencia para cada bloque. Este proceso se puede apreciar en la Figura 3-7.



**Figura 3-7 Modelado de las caras triangulares en los extremos de las cubiertas a dos aguas.**

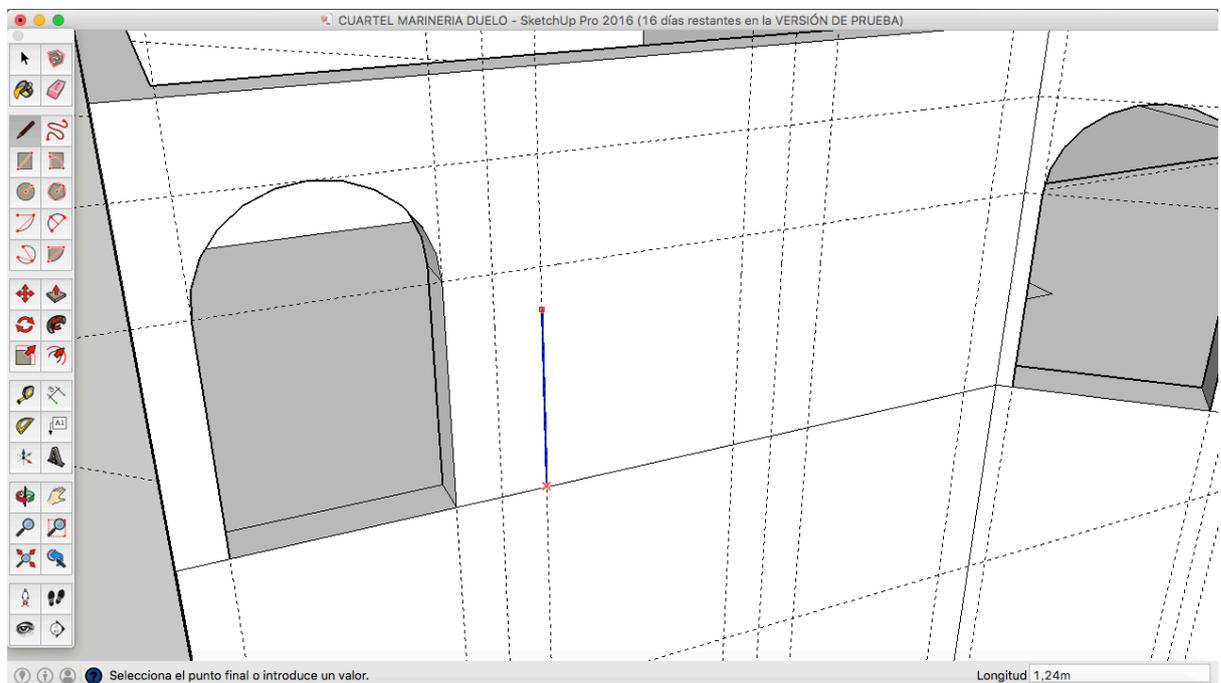
Por último, otros elementos como arcos y soportales se modelaron siguiendo un método similar. Se detallará el modelado de un arco como elemento representativo del resto. En primer lugar se colocaron

guías a las distancias necesarias para poder dibujar el contorno del elemento mediante líneas o arcos (Figura 3-8).



**Figura 3-8 Trazado del contorno de un arco en la fachada del cuartel “Méndez Núñez”.**

Una vez dibujado el contorno, se vació el contenido sobrante del arco mediante la herramienta “Empujar/Tirar” (Figura 3-9). Éste proceso se repitió sucesivamente para cada arco y del edificio, quedando todos los elementos debidamente definidos. Cabe destacar que, aunque los diferentes elementos se modelaron de forma parecida, cada uno tuvo pequeñas particularidades que requirieron modificaciones al método.



**Figura 3-9 Vaciado del contorno de un arco en la fachada del cuartel “Méndez Núñez”.**

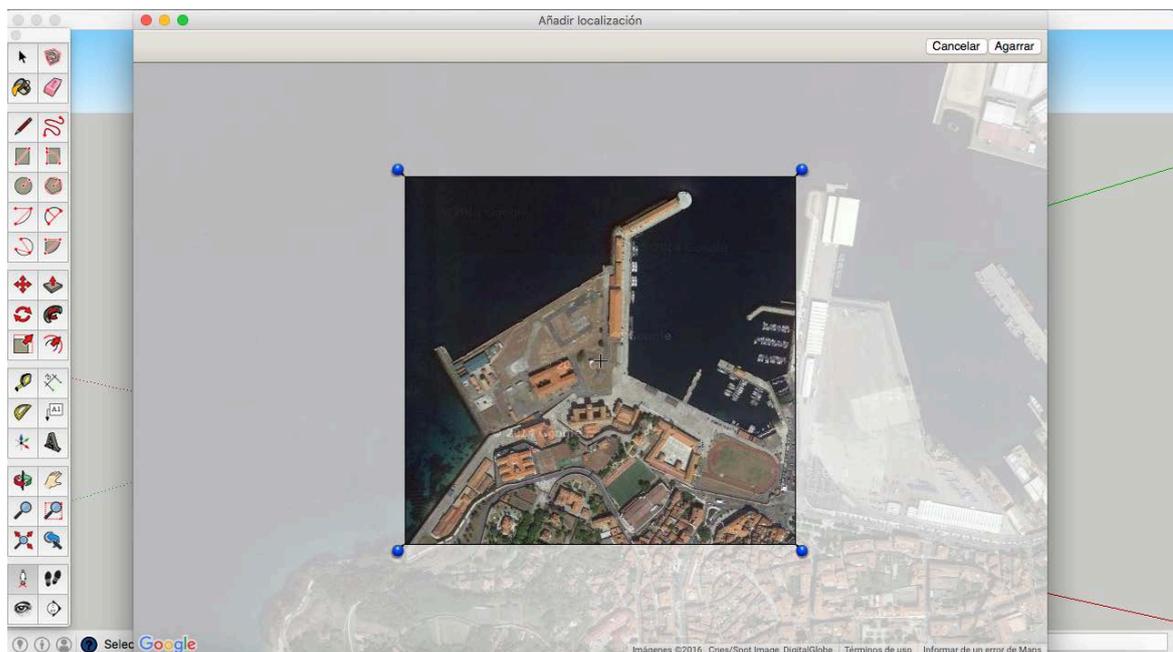
Finalmente, tras repetir las técnicas ya explicadas y definir cada cubierta y elemento del edificio, se finalizó el modelado. Estos procesos se repitieron para cada uno de los edificios seleccionados hasta que se completó el diseño tridimensional de la ENM, quedando cada edificio en un archivo separado y preparado para su importación posterior en un único archivo.

### 3.2.7 Geolocalización y geometría del terreno

Una vez creados los edificios por separado en 3D, se importaron a un único archivo donde se sitúen todos ellos en su situación geográfica y orientación exactas para someterlos posteriormente a un proceso de simulación que servirá para estimar la irradiación solar incidente sobre ellos. SketchUp incorpora una función que permite precisamente añadir una localización geográfica al modelo, de forma que éste pueda utilizar la amplia base de datos geográficos de Google Earth. Google implementó esta función en SketchUp para fomentar a los usuarios el modelado de edificios y su posterior incorporación a Google Earth en 3D.

Para que el modelo sea válido es necesario también que incorpore la geometría del terreno, pues cada edificio se encuentra a una altura topográfica distinta. En la ENM en concreto nace una montaña que eleva considerablemente la altura de algunos de los edificios con respecto a los demás. SketchUp también permite agregar la geometría del terreno mediante la creación de una malla específica.

El primer paso a tomar para llevar a cabo la creación del modelo descrito fue añadir la geolocalización de la ENM a un nuevo archivo SketchUp. Esto se hizo mediante la opción “Archivo/Geolocalización/Añadir localización”. Tras abrirse una ventana que da acceso a Google Earth, se acercó el zoom sobre la zona de Marín, Pontevedra, hasta quedar la ENM aproximadamente encuadrada en la ventana. Se eligió la opción “Seleccionar región” y, tras ajustar el cuadro destinado a contener exactamente la zona deseada (Figura 3-10) se pinchó en “Agarrar”.



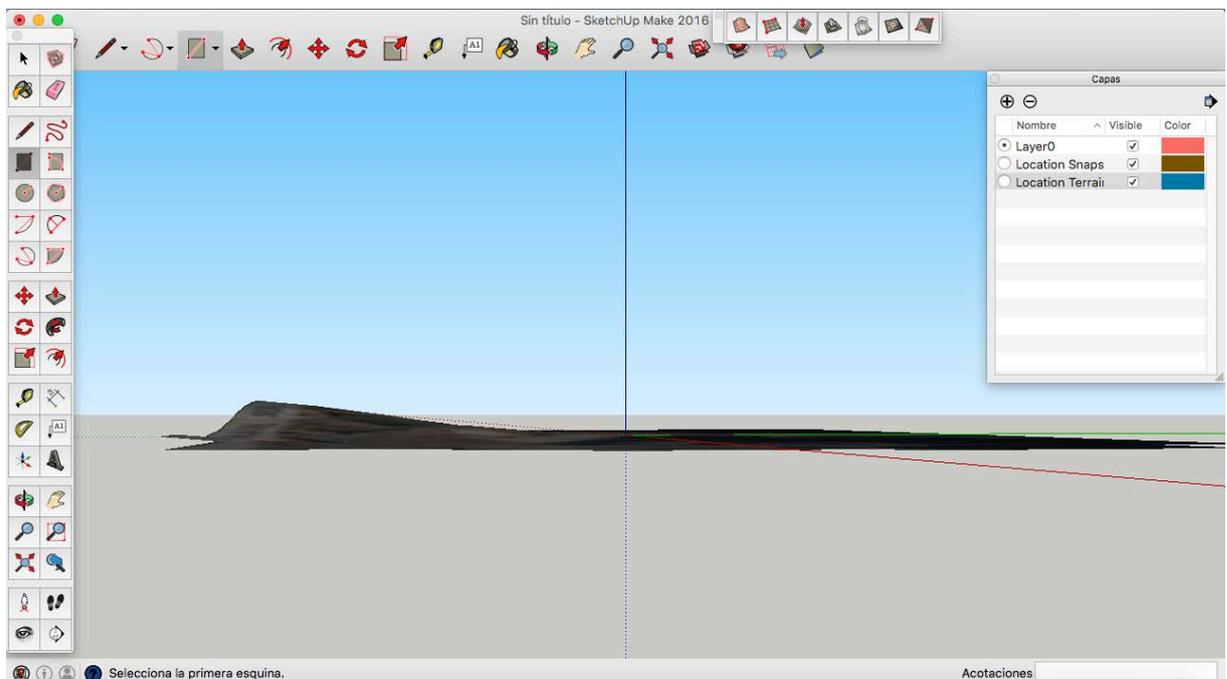
**Figura 3-10 Selección de la región deseada para añadir localización a un modelo de SketchUp.**

Esto dio como resultado la imagen de la zona seleccionada proyectada sobre el plano horizontal del modelo (Figura 3-11), de forma que, además de quedar incorporada la información geográfica, se podía orientar correctamente los edificios colocándolos sobre su posición exacta.



**Figura 3-11 Localización geográfica de la ENM en un modelo de SketchUp.**

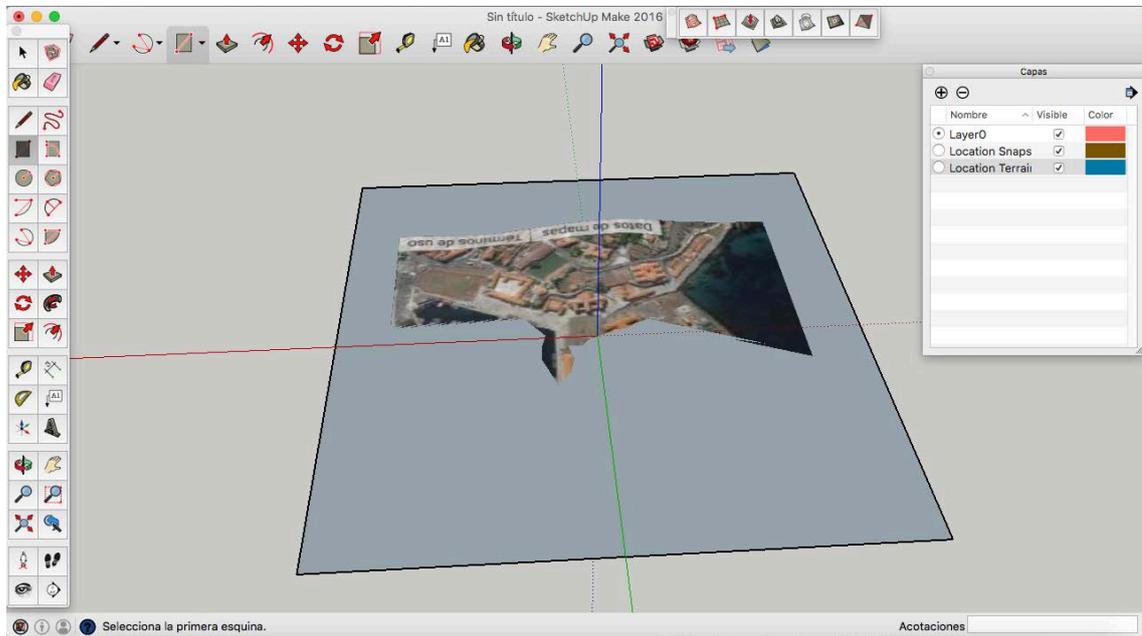
Sin embargo, antes de importar los edificios es necesario introducir la geometría del terreno. SketchUp ofrece la posibilidad de trabajar con capas, de forma que podemos ocultar y mostrar las que resulten más convenientes. La imagen de la localización mostrada en la Figura 3-11 se encuentra en una capa propia que se genera automáticamente al añadir la localización. Junto a esta capa se crea también otra que contiene la información topográfica de la zona añadida según datos de Google Earth. Dicha capa se encuentra inicialmente oculta, por lo que el primer paso para añadir la geometría del terreno al modelo es mostrarla. En la Figura 3-12 podemos apreciar cómo al mostrar la capa “Location Terrain” la imagen que inicialmente era plana ha adquirido la curvatura adecuada.



**Figura 3-12 Forma topográfica del terreno correspondiente a la localización geográfica de un modelo de SketchUp.**

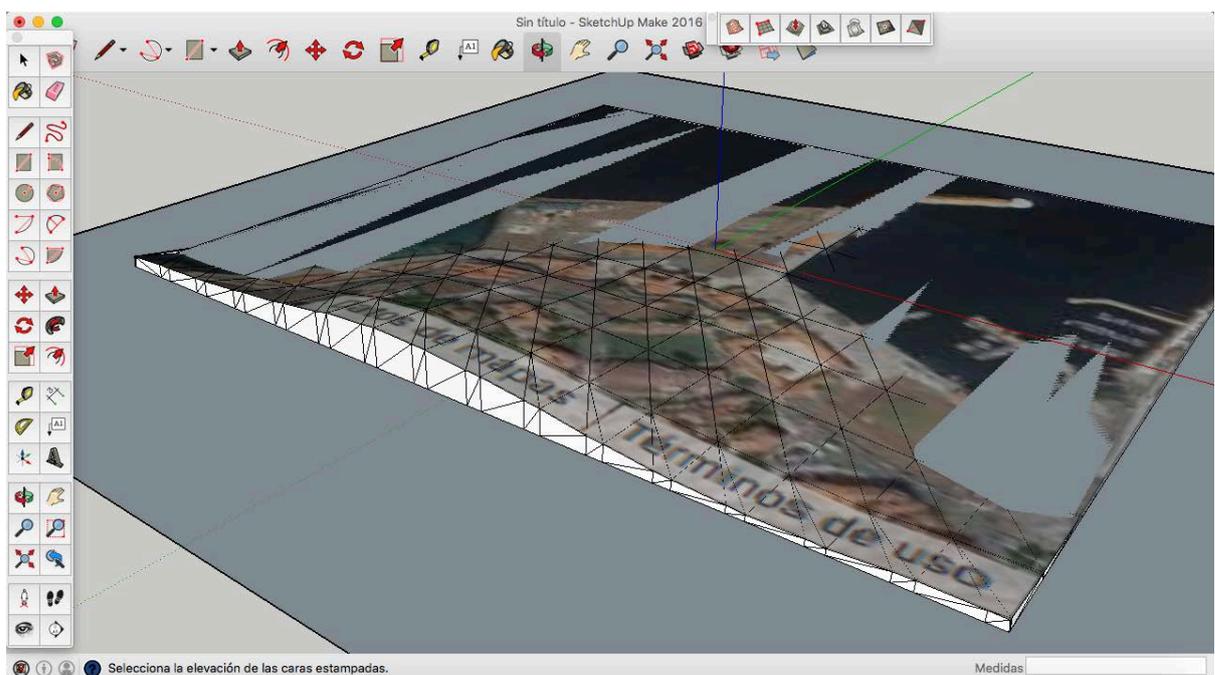
Aunque podemos apreciar visualmente la forma del terreno, a efectos del modelado no se pueden colocar los edificios sobre el mismo. Para ello es necesario generar una malla que adopte la forma del

terreno y sobre la cual sí es posible situar correctamente los edificios importados. Primero se dibujó un rectángulo de dimensiones mayores que las de la zona de interés, que se situó en el plano horizontal y al nivel del mar (Figura 3-13). De esta manera solo sobresale por encima del rectángulo la zona elevada del terreno.



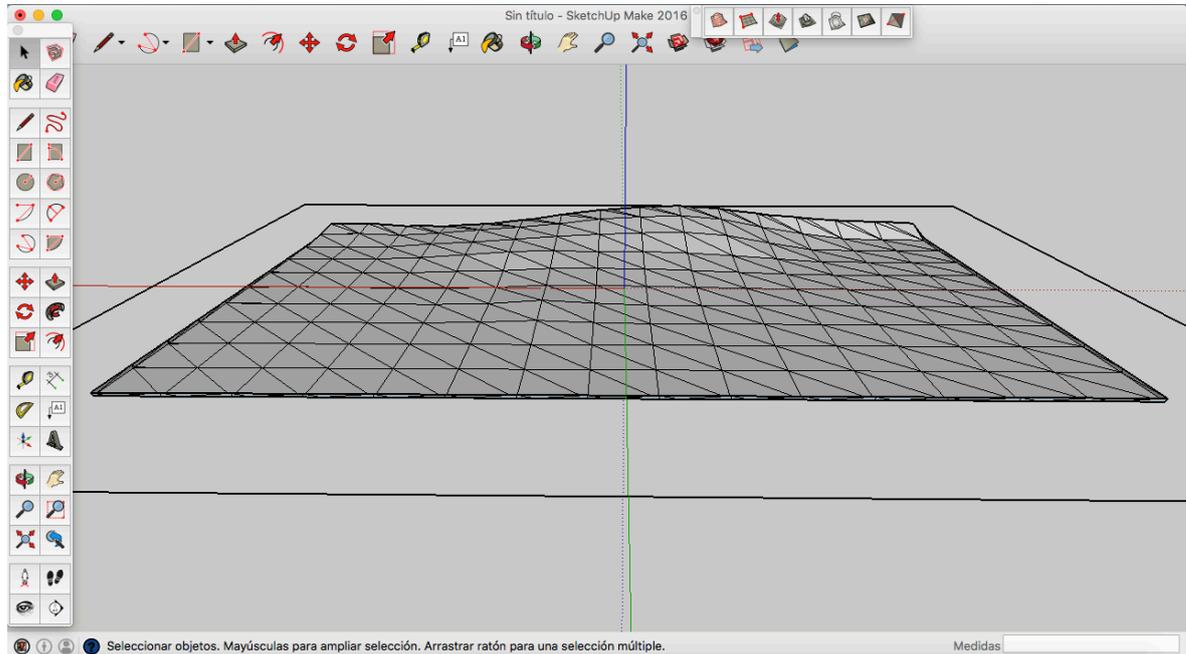
**Figura 3-13 Rectángulo base para la creación de una malla de terreno en SketchUp.**

Posteriormente se utilizó la herramienta “Estampar” sobre el rectángulo de forma que se genera la malla deseada, y se ajusta de forma que su superficie sea coincidente con la forma del terreno (Figura 3-14).



**Figura 3-14 Generación de malla de terreno en un modelo de SketchUp.**

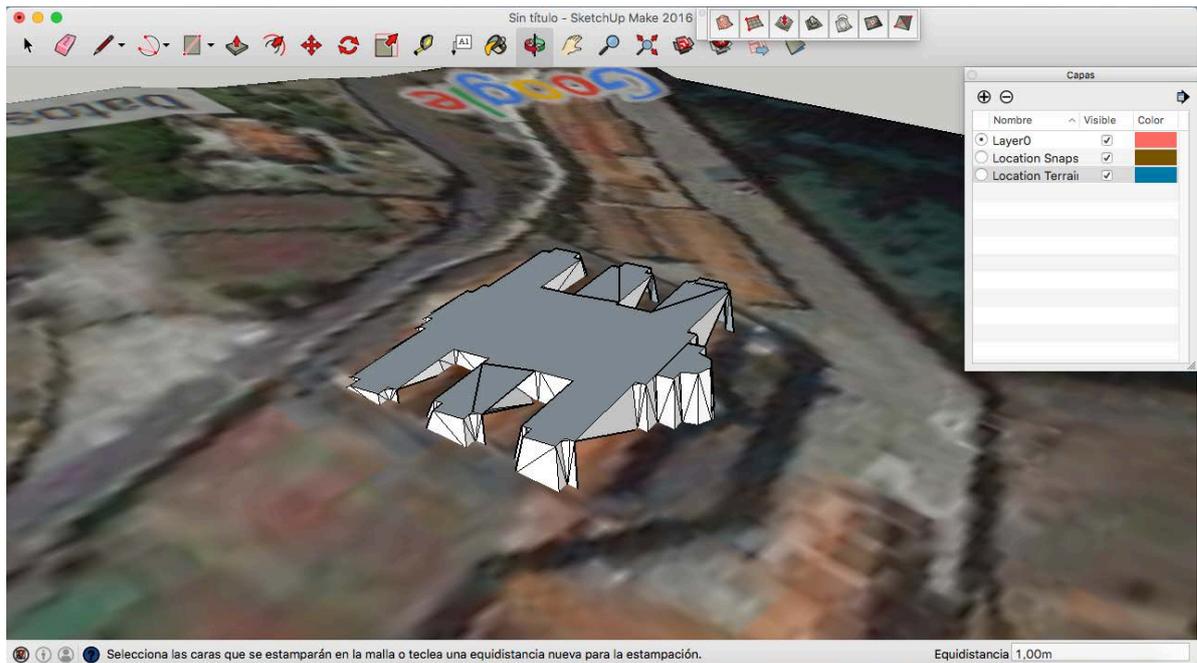
En la Figura 3-15 podemos observar la malla que nos servirá de soporte para importar los edificios, una vez ocultadas las capas de la localización geográfica y la geometría del terreno y borrado el rectángulo inicial.



**Figura 3-15 Malla del terreno de la localización de un modelo de SketchUp.**

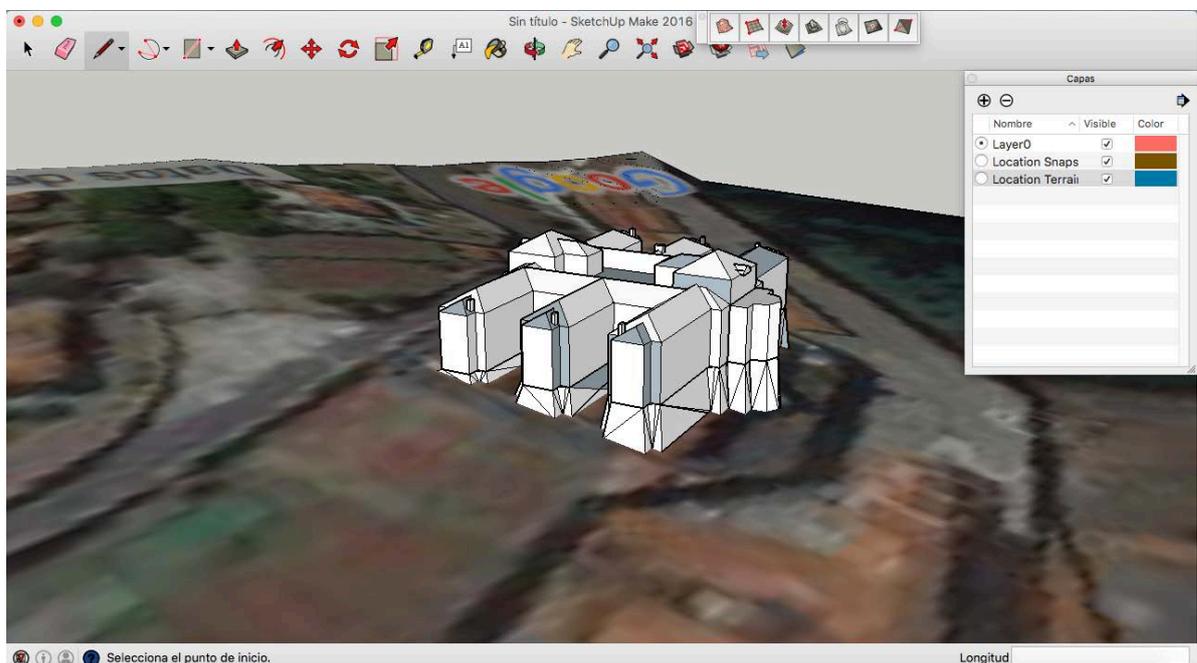
A continuación se volvió a mostrar la capa de la geometría del terreno para visualizar la imagen de la ENM y poder orientar correctamente los edificios al importarlos. Para importar cada edificio se utilizó la opción “Archivo/Importar...” seleccionando después el archivo del edificio deseado. Sin embargo, para situar correctamente los edificios que se encuentran sobre la montaña fue necesario tener en cuenta un factor más. La parte elevada con respecto al resto del terreno corresponde a la montaña, por lo que tiene una determinada inclinación. No obstante, los edificios tienen unos cimientos planos sobre los que se asientan que no están representados en la superficie del terreno. Fue necesario proporcionar dichos cimientos a los edificios para evitar que éstos quedasen inclinados debido a la pendiente de la montaña, lo cual hubiese constituido una situación irreal. Se detallará a continuación el proceso de importación y posicionamiento del “Hospital” de la ENM el cual incluye todos los pasos seguidos para el resto de edificios.

En primer lugar se importó el edificio mediante la opción mencionada anteriormente y se situó sobre su posición en la imagen del terreno. Con la herramienta “Rotar” se giró el modelo importado de forma que coincidía exactamente con la imagen, y posteriormente se elevó en dirección vertical mediante la herramienta “Mover”. A continuación se utilizó la herramienta “Estampar” pinchando primero en el edificio y después sobre la malla, de forma que se genera una superficie con la forma de la base del edificio, que se ajustó de forma que dicha superficie quedase a la altura de la parte más alta de la montaña para el edificio (Figura 3-16).



**Figura 3-16** Cimientos del Hospital de la ENM modelados en SketchUp.

Una vez creados los cimientos, se utilizó la herramienta “Mover” para situar el edificio sobre los mismos, quedando en su posición correcta para la simulación (Figura 3-17).



**Figura 3-17** Hospital de la ENM posicionado sobre el terreno en un modelo de SketchUp.

Este proceso se repitió para todos y cada uno de los edificios objeto del estudio siguiendo una metodología similar, hasta obtener el modelado completo en tres dimensiones de la ENM.

### 3.3 Simulación

#### 3.3.1 Descripción

Una vez obtenido el modelado tridimensional de la ENM, se realizaron una serie de simulaciones con el objetivo de obtener la irradiación solar incidente sobre los tejados de los edificios bajo análisis con el software Skelion v5.1.9. En primer lugar se seleccionó un panel estándar y se simuló la instalación del máximo número de paneles en cada cara de las cubiertas de cada edificio. Posteriormente se añadió un archivo que contiene datos meteorológicos relativos a la zona de interés, en este caso la zona de Pontevedra. Por último, se realizó el cálculo de la irradiación solar incidente en cada edificio mediante la herramienta online PVGIS.

Los datos obtenidos fueron fundamentales para el posterior estudio energético de la hipotética instalación. En el presente apartado se describirá el proceso y métodos utilizados para llevar a cabo la simulación y obtener dichos datos.

#### 3.3.2 Software utilizado

Durante la simulación se utilizaron dos herramientas fundamentales que proporcionaron los datos necesarios para llevar a cabo el estudio energético. Dichas herramientas fueron el Skelion SketchUp v5.1.9 y el PVGIS JRC European Commission. Cada uno realizó funciones distintas, complementándose para llevar a cabo la simulación. Una vez obtenidos los datos, éstos se recogieron ordenadamente en una tabla de Microsoft Office Excel. A continuación se detallarán brevemente las dos herramientas de simulación utilizadas a fin de familiarizarse con las mismas.

##### 3.3.2.1 Skelion SketchUp Plug-in v5.1.9

El software Skelion fue diseñado como un “Plug-in” para Google SketchUp a fin de facilitar el trabajo de los profesionales de la energía solar mediante la inserción automática de paneles solares en superficies modeladas.

Skelion nació en julio de 2011 tras dos años de desarrollo con el objetivo de automatizar el diseño de sistemas solares utilizando Google SketchUp. La aplicación realiza rápidamente lo que en el pasado se realizaba mediante laboriosos e incómodos métodos de cálculo. De este modo, Skelion ha conseguido reducir considerablemente el tiempo promedio que se dedicaba al diseño de la distribución de los paneles, y a la generación de reportes de producción de energía a partir de sistemas solares, además de que ofrece una variedad de estudios preliminares que se pueden llevar a cabo.

La principal función del programa consiste en seleccionar una superficie en la que se quieran insertar paneles solares y utilizar la opción de la celda solar. Se introducen datos de inclinación y orientación de los paneles, tipo de panel y grado de sombra para un día determinado. El tipo de panel debe elegirse de entre los disponibles en la base de datos de Skelion o se puede crear uno propio. Una vez introducidos los datos el plug-in inserta automáticamente los paneles solares en las superficies seleccionadas.

Existen dos versiones de este software, una gratuita y otra de pago. La gratuita incluye la funcionalidad principal de inserción de paneles en superficies, mientras que la versión de pago (Skelion Pro) contiene funcionalidades adicionales como la de generar informes de energía. En este trabajo se empleará la versión gratuita, pues incluye las funciones de interés para la simulación.

Existen diversos tutoriales en internet que muestran paso a paso el modo de empleo de Skelion.

##### 3.3.2.2 PVGIS JRC European Commission

“Photovoltaic Geographical Information System” (PVGIS) es una herramienta online que proporciona un inventario de energía solar basado en mapas, y una estimación de la generación de electricidad de sistemas fotovoltaicos en Europa, África y el Suroeste asiático. Forma parte de la iniciativa SOLAREC, que contribuye a la implementación de la energía renovable en la Unión Europea como una fuente sostenible de energía a largo plazo.

Con este servicio online colaboran diversos organismos de prestigio tales como el “Joint Research Centre” de la “European Commission”, el “Institute for Energy and Transport” o la empresa Mines ParisTech.

A continuación se explicará brevemente el modo de empleo de la herramienta PVGIS. Tras abrir la ventana se puede observar un mapa en la parte izquierda (proporcionado por Google Maps), y en la parte derecha varios parámetros a rellenar. En primer lugar se deberá escribir el lugar en el que deseamos realizar la simulación como se indica en (Figura 3-18).

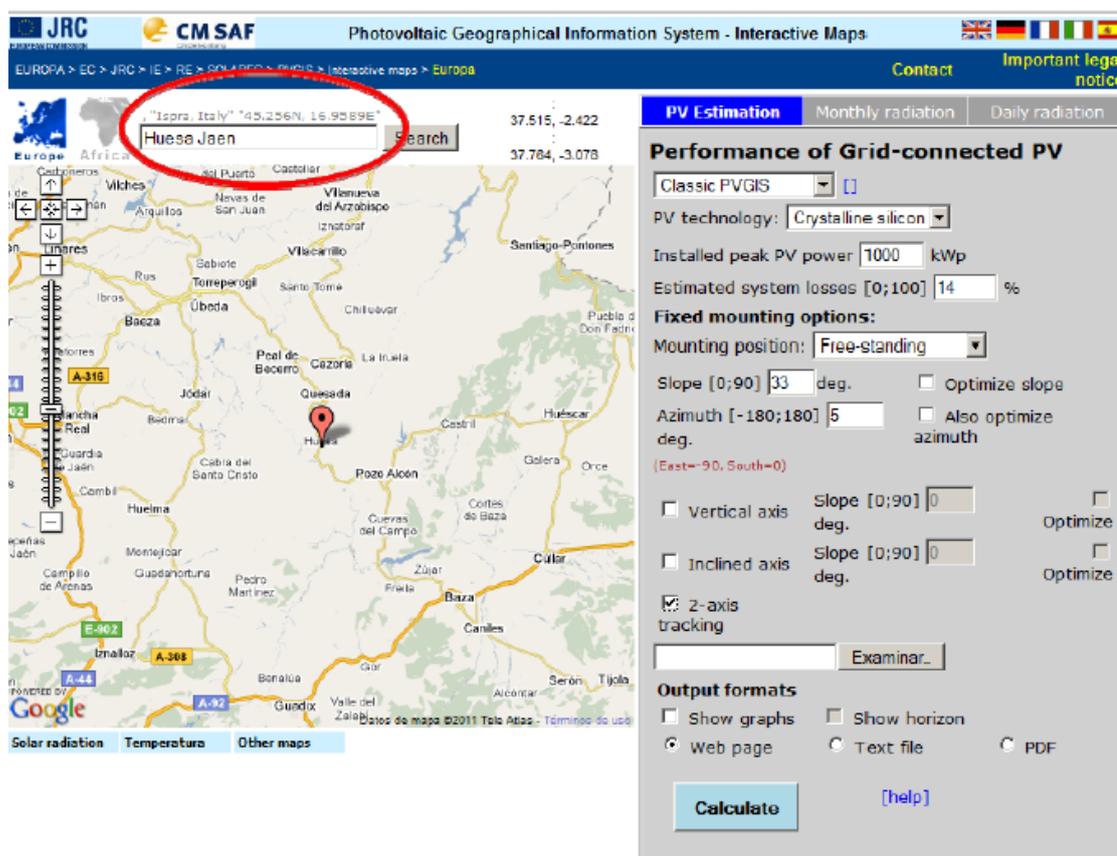


Figura 3-18 Ventana de definición de parámetros de la herramienta PVGIS. Selección de localización [30].

Posteriormente se deben rellenar los parámetros de la parte derecha en función del tipo de instalación que se desea usar, la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos, la base de datos que se desea utilizar etc. En la Figura 3-19 se indica gráficamente qué parámetros deben introducirse y dónde (siendo GFV Generador FotoVoltaico).

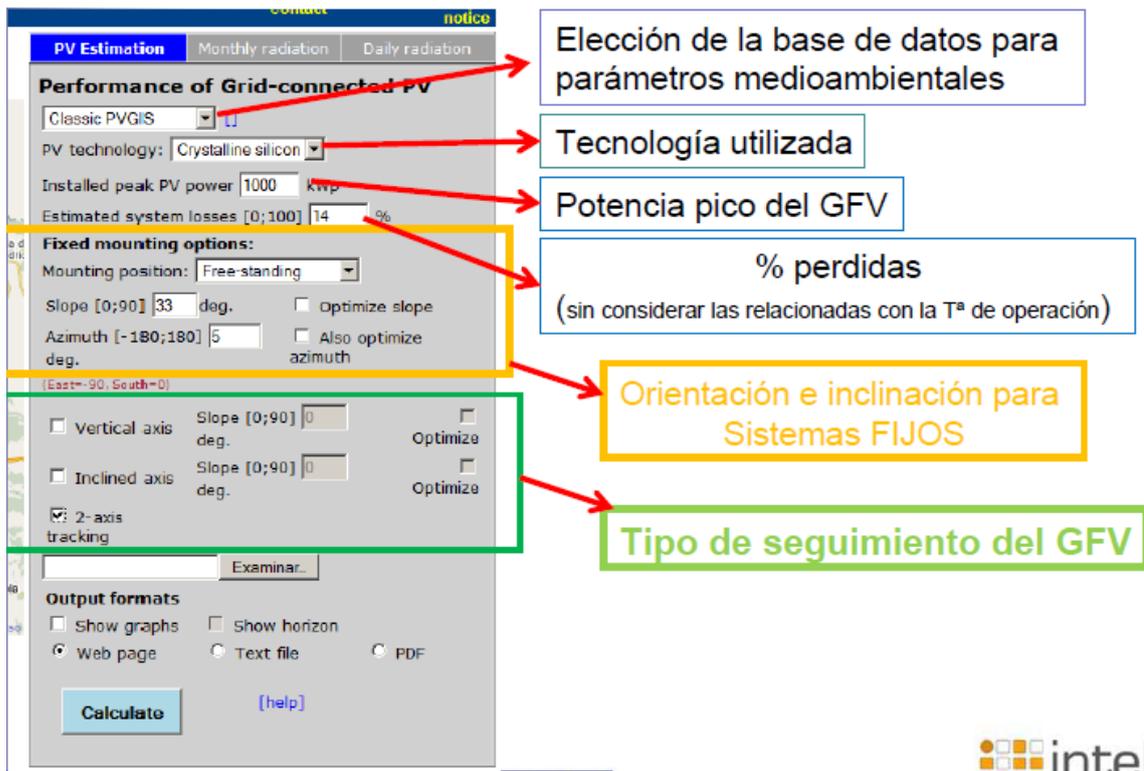


Figura 3-19 Ventana de definición de parámetros de la herramienta PVGIS. Selección de parámetros de la instalación [30].

Una vez rellenados los parámetros se selecciona el tipo de archivo en el que se quieren obtener los resultados (Web page, text file o PDF) y se selecciona la opción “Calculate”. Se genera entonces el archivo deseado, que contiene datos sobre pérdidas, estimaciones de generación de energía eléctrica e irradiación solar incidente por mes y al año y otros datos de interés (Figura 3-20).

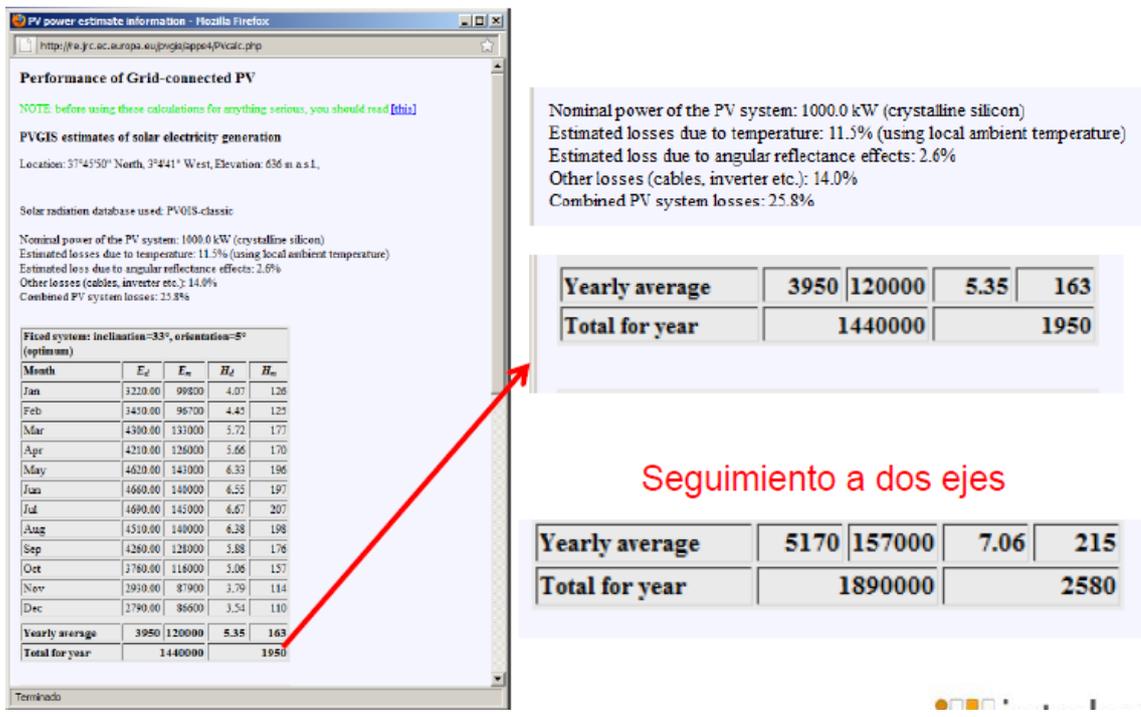


Figura 3-20 Archivo de resultados generados tras una simulación de la herramienta PVGIS [30].

En el presente trabajo se utilizó la herramienta PVGIS para obtener la irradiación solar incidente sobre las cubiertas de los edificios de la ENM a partir de la inserción de paneles solares en dichas cubiertas a través de la herramienta Skelion.

### 3.3.3 Inserción de paneles fotovoltaicos en las cubiertas

El primer paso en la simulación consistió en insertar paneles fotovoltaicos en las cubiertas de los edificios de la ENM a fin de poder analizarlos mediante PVGIS. Para realizar esto, se utilizó el software Skelion como una extensión del programa SketchUp sobre el modelo descrito en 3.2.7. Es necesario puntualizar que esta inserción de paneles no representa la instalación final recomendada, sino que se utilizaron paneles genéricos para poder calcular la irradiación incidente sobre el tejado, la cual es independiente de la instalación integrada en el edificio.

Debido a limitaciones en la potencia del ordenador utilizado, se realizó una simulación por cada cara del tejado de cada edificio. Esto supuso una complicación para el desarrollo de la simulación, pues el número de cálculos que se realizaron fue muy elevado y resultó una tarea laboriosa.

A continuación se describirá el procedimiento seguido para insertar paneles fotovoltaicos en las cubiertas mediante Skelion. Se detallará el proceso para el edificio “Torpedos 1”, habiéndose seguido la misma secuencia para el resto de edificios.

Se realizaron copias del archivo que contiene la localización de la ENM y la importación de los edificios modelados, tantas como caras tienen los tejados de todos los edificios. En cada una de ellas se realizará la simulación para una cara del tejado. Se comenzó con una cara del tejado de “Torpedos 1”, obteniendo el área de la cara que se va a estudiar a través de SketchUp. Seguidamente empleamos la herramienta “Surface azimuth and tilt” (Figura 3-21) de la barra de herramientas de Skelion que proporciona la orientación y la inclinación de la cara.



Figura 3-21 Herramienta “Surface azimuth and tilt” del software Skelion.

Los datos obtenidos (Figura 3-22) se registraron en un documento Excel que recopilará los resultados de toda la simulación.

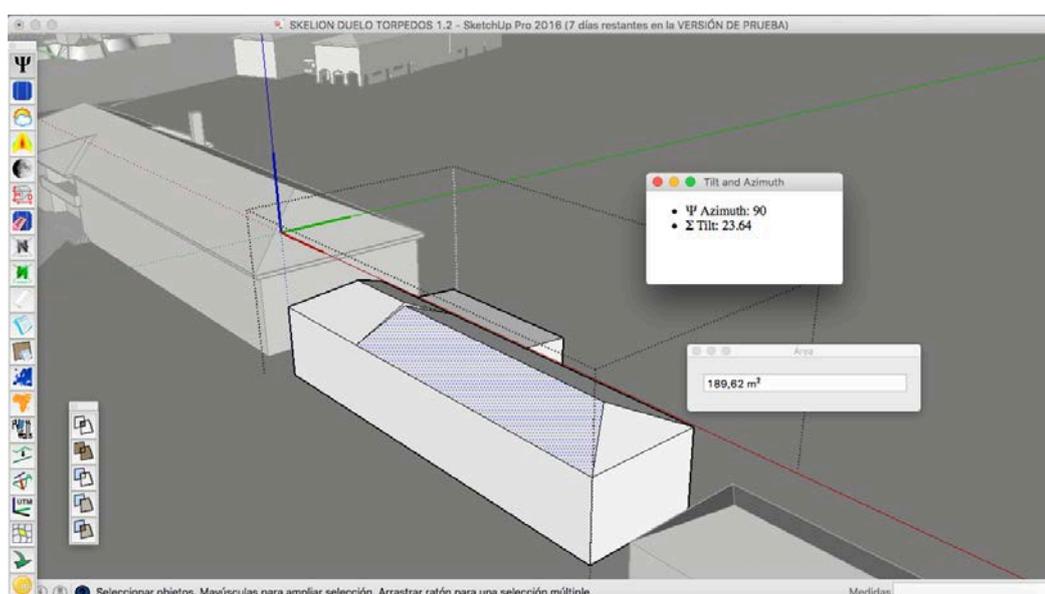


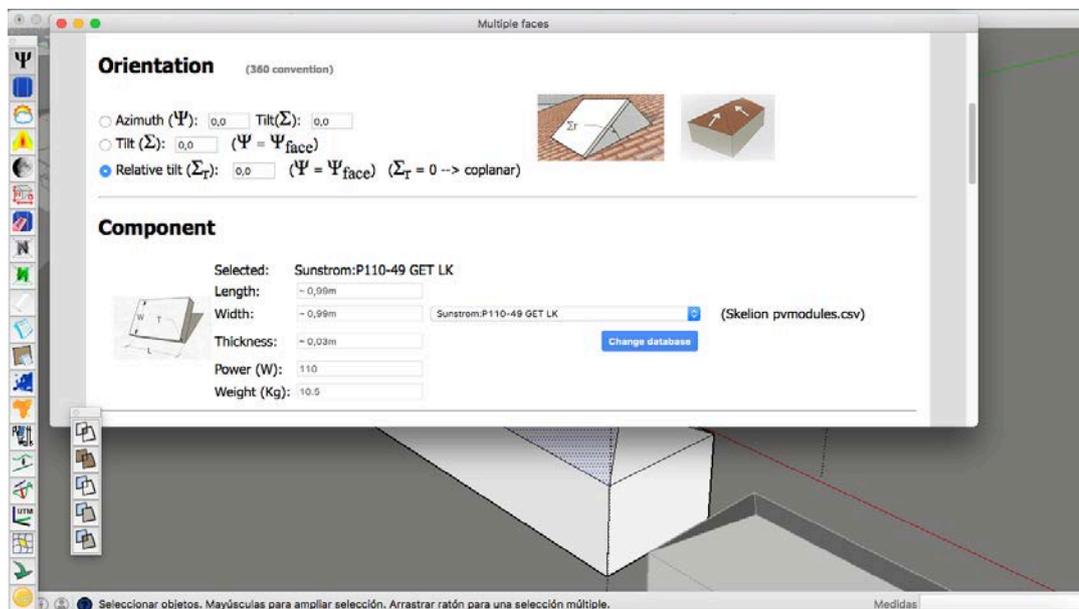
Figura 3-22 Datos de área, orientación y elevación de la cubierta de Torpedos 1.

Posteriormente se procedió a la inserción de los paneles, utilizando la herramienta “Insert solar components” (Figura 3-23).



**Figura 3-23 Herramienta “Insert solar components” del software Skelion.**

Esta herramienta abre una ventana en la que se deben introducir los parámetros necesarios para la distribución correcta de paneles sobre la cubierta. El objetivo es obtener la irradiación incidente sobre el tejado, por lo que la distribución de paneles (sobre la que se realizarán los cálculos posteriores) debe ser lo más parecida posible a la cubierta en superficie, azimut e inclinación. Por lo tanto, en los primeros parámetros a rellenar relativos a la orientación de los paneles se seleccionó la opción “Relative tilt” y se dispuso el valor 0, de forma que los paneles tendrán la misma orientación que la cara y una inclinación relativa de 0 (Figura 3-24). En cuanto al panel, se seleccionó el “Sunstrom P110-49 GET LK” debido a sus dimensiones de un metro de largo por un metro de ancho, que se ajustan de manera óptima para obtener una superficie de paneles lo más parecida posible a la de la cara. Sus características eléctricas carecen de importancia debido a que se desecharán los datos de generación eléctrica de la simulación.



**Figura 3-24 Parámetros de orientación y tipo de panel en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.**

Los siguientes parámetros a introducir hacen referencia a la disposición de los paneles sobre la cubierta. Número máximo de paneles a insertar, separación vertical y horizontal entre grupos de paneles, espacio entre cada panel individual y colocación vertical o apaisada de cada panel. Se necesita el máximo número de paneles que se puedan insertar en el espacio de la cara, por lo que no se limitó el número de paneles a insertar. En cuanto a los espacios entre paneles, se marcó 0 en todos los casos debido a que se desea que cubran la mayor superficie posible. Por último, es indiferente la disposición vertical o apaisada debido a que los paneles genéricos seleccionados tienen forma de cuadrilátero (Figura 3-25).

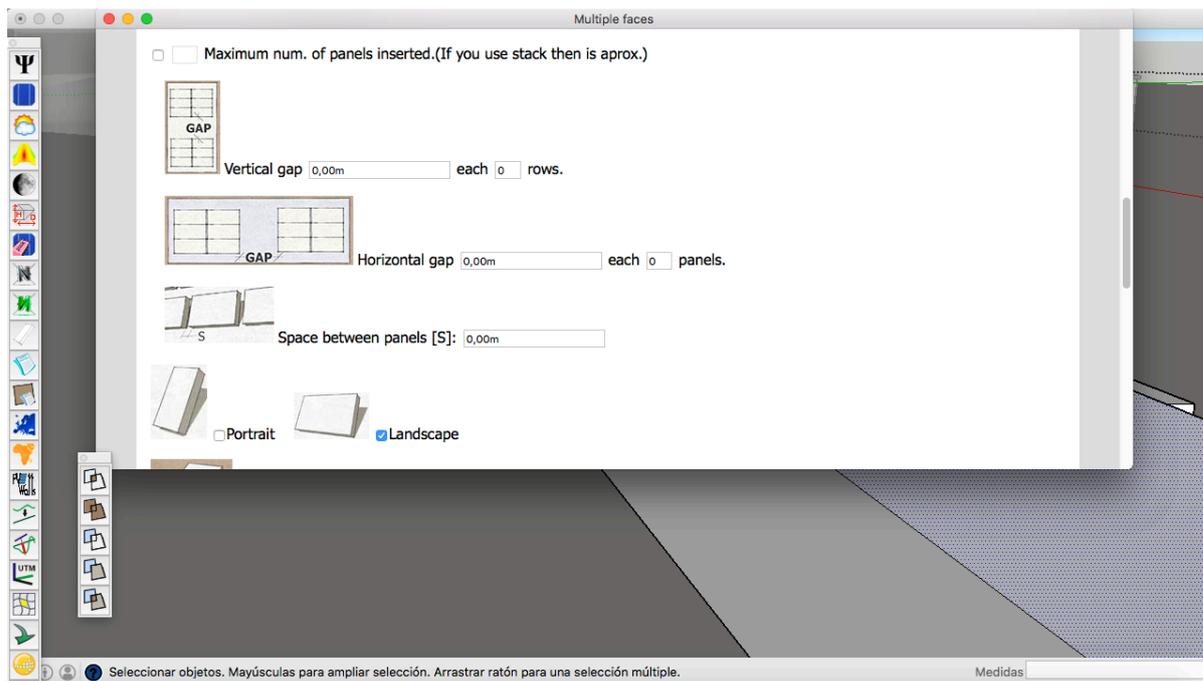


Figura 3-25 Parámetros de disposición de los paneles en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.

El último grupo de parámetros a rellenar para completar la inserción de paneles corresponde a un concepto que Skelion denomina “Pitch” (Figura 3-26). Este concepto hace referencia a las sombras que se generan cuando los paneles tienen inclinación relativa con respecto a la cubierta, las cuales pueden afectar a otros paneles. En este caso la inclinación relativa es 0, por lo que estos parámetros no son de aplicación y se deben ignorar.

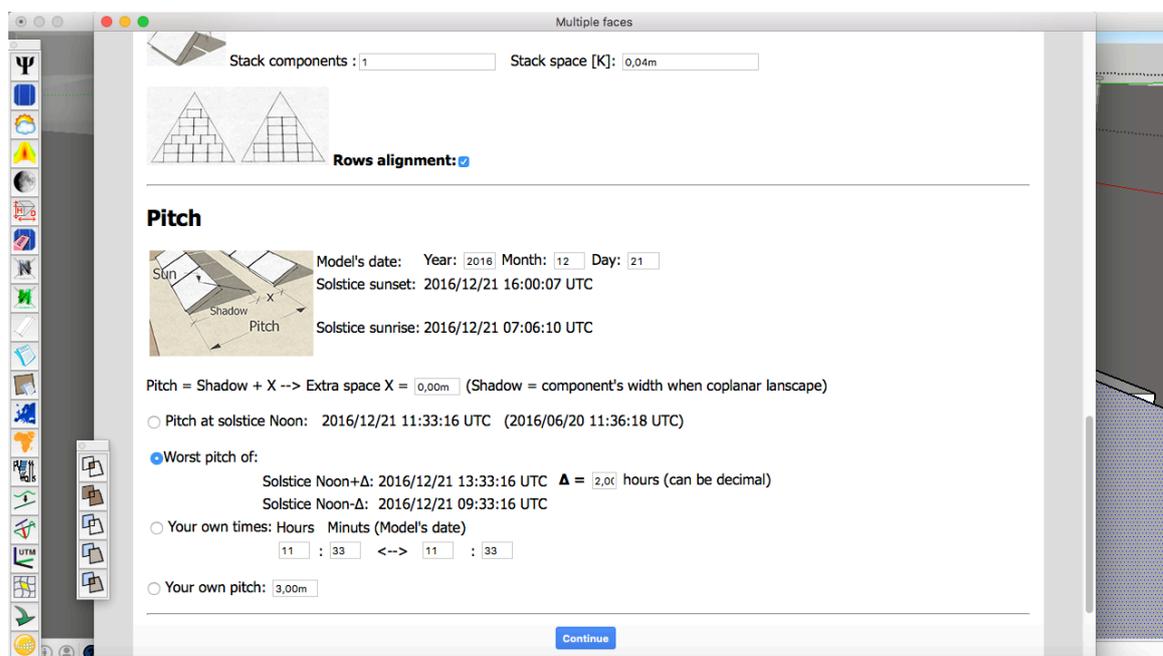
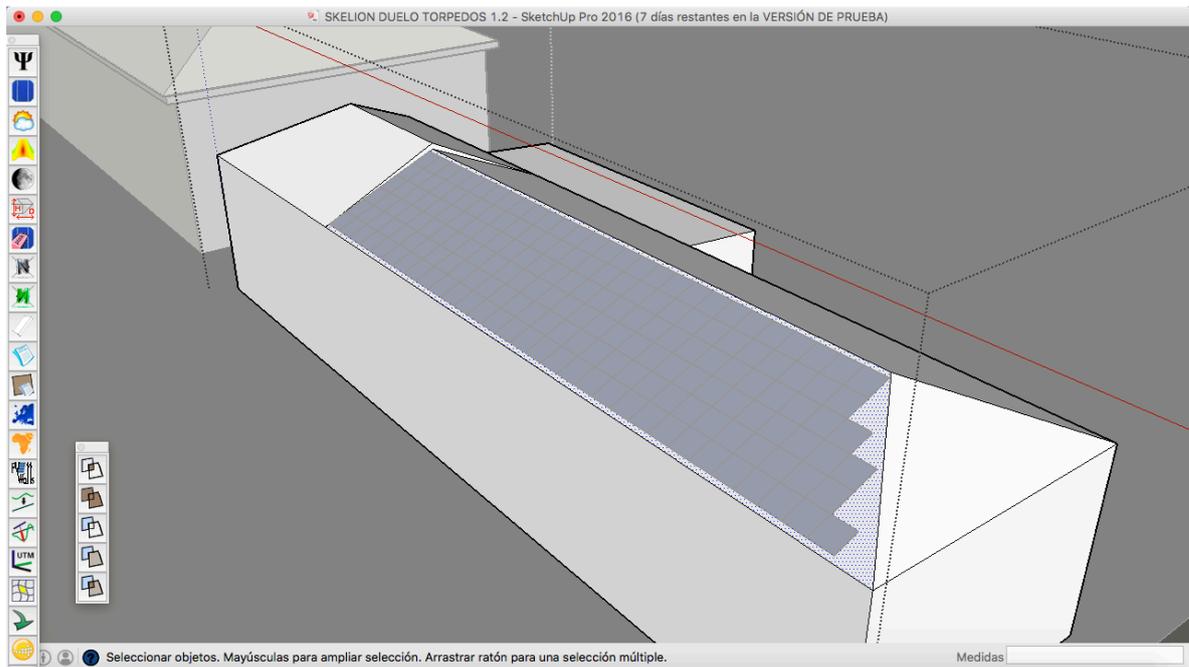


Figura 3-26 Parámetros de sombras entre paneles en la herramienta “Insert solar components” del software Skelion.

Una vez introducidos todos los parámetros correctamente, se pinchó en “Continue” generándose automáticamente la distribución de paneles deseada sobre la cubierta (Figura 3-27).



**Figura 3-27 Paneles insertados sobre una cubierta mediante el software Skelion.**

### 3.3.4 Inserción de datos meteorológicos

Es necesario para el correcto cálculo de la irradiación solar incidente tener en cuenta la meteorología de la zona estudiada debido a que los fenómenos ambientales afectan de manera directa a la radiación solar que reciben los edificios. Skelion incorpora una herramienta para incluir este factor en la simulación, que se denomina “Meteorological data” (Figura 3-28). Esta herramienta permite añadir las variables meteorológicas de distintas maneras: bases de datos del programa, archivos satélite etc. Una de las opciones que ofrece es insertar un archivo tipo TMY2 (Typical Meteorological Year) con la información meteorológica proporcionado por del usuario. Fue esta opción la utilizada para este estudio.



**Figura 3-28 Herramienta “Meteorological data” del software Skelion .**

El archivo TMY2 introducido fue “PONTEVEDRA-hour.tm2”. Este archivo se tomó de [31], y se creó mediante el programa Meteonorm 7. Dicho software contiene datos de balizas meteorológicas en todo el mundo y es capaz de generar archivos TMY2 a partir de ellos. Para la obtención del archivo utilizado en concreto se introdujo en Meteonorm 7 la situación GPS del puerto de Pontevedra a través del programa Google Earth. Meteonorm triangula automáticamente los datos de las tres estaciones meteorológicas más cercanas para obtener el resultado más preciso posible y exporta los resultados en formato TMY2. Dichos archivos contienen datos horarios con valores de radiación solar y temperatura ambiente durante un período determinado para una ubicación concreta. Los períodos vienen dados por el programa y el seleccionado para el archivo en cuestión fue el más reciente, con datos de radiación entre 1991 y 2010 y datos de temperatura entre 2000 y 2009.

En Figura 3-29 se pueden observar las diversas opciones que ofrece la herramienta de Skelion para introducir la información, así como los datos básicos aportados por el archivo “PONTEVEDRA-hour.tm2” una vez introducido.

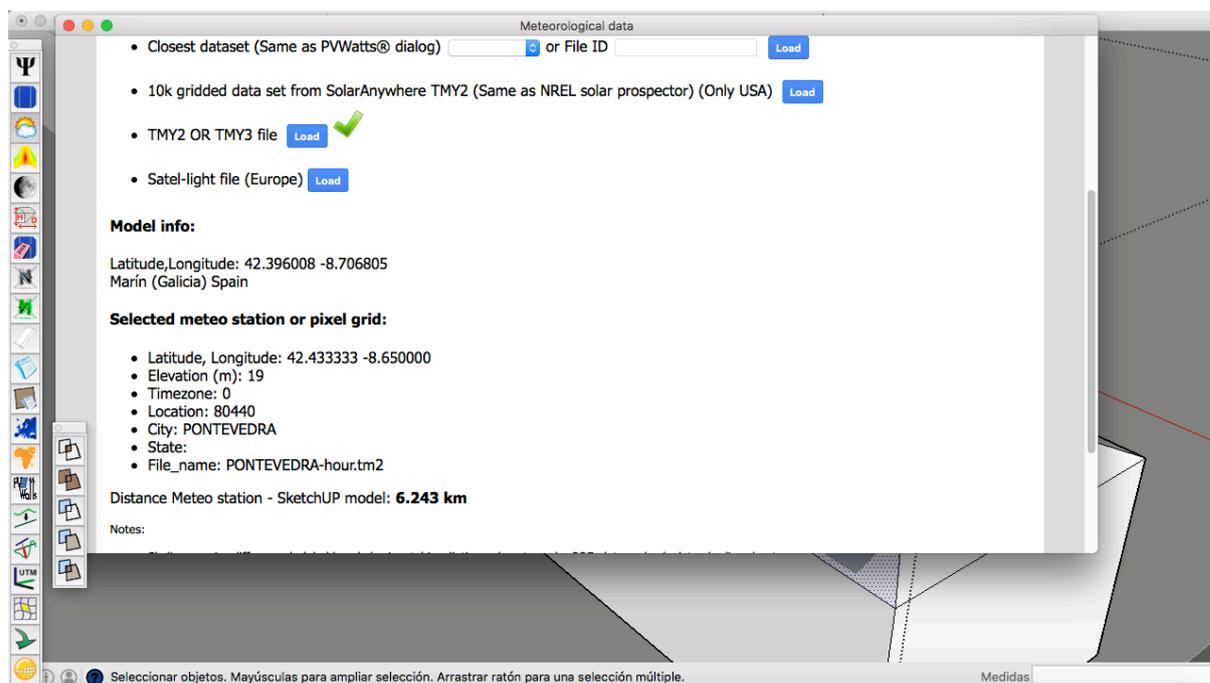


Figura 3-29 Introducción de un archivo meteorológico en la herramienta “Meteorological data” del software Skelion.

### 3.3.5 Simulación con PVGIS

Una vez realizados los pasos anteriores se puede ejecutar la simulación mediante PVGIS (3.3.2.2), al que se tiene acceso a través de la herramienta de Skelion “Report” (Figura 3-30). Dicha herramienta permite acceder directamente desde SketchUp al portal online de PVGIS, desde donde se introducen los parámetros para la obtención de la irradiación solar incidente.



Figura 3-30 Herramienta “Report” del software Skelion.

Previamente a abrirse el portal de PVGIS se deben seleccionar dos parámetros que determinan la información que se envía a PVGIS para la simulación. El primer parámetro es el componente sobre el que se desea realizar la simulación. Se seleccionó “Faces”, para que se analizase la cara deseada. El segundo parámetro consiste en indicar si se desea que se calculen las pérdidas por sombras. Se seleccionó “Yes” para incluirlas en los cálculos (Figura 3-31).

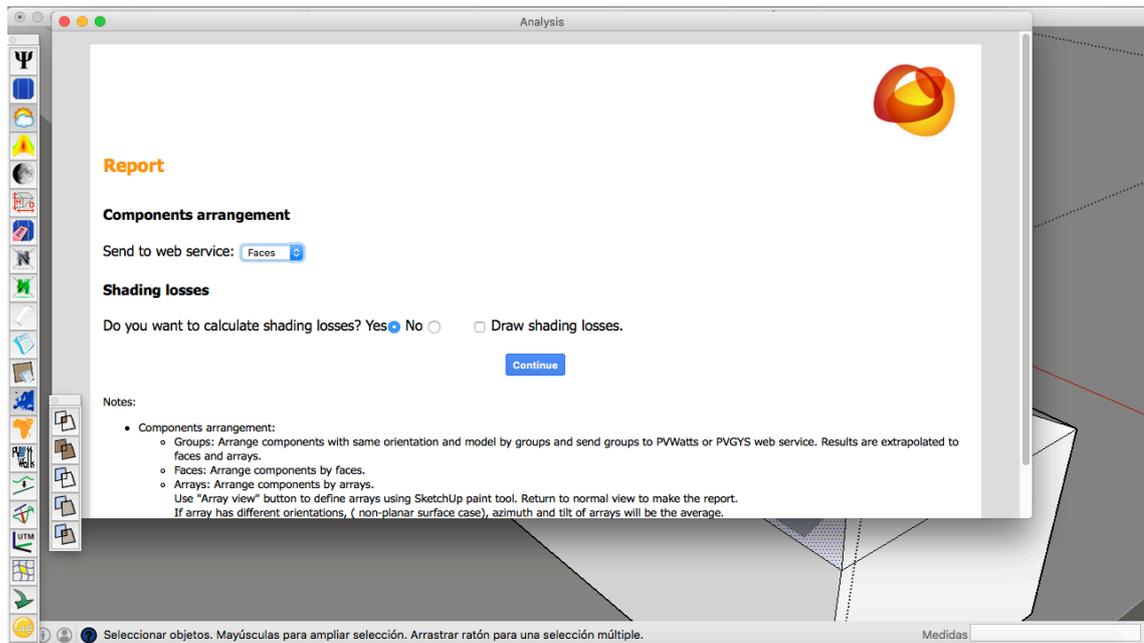


Figura 3-31 Parámetros de configuración de un modelo previos a la simulación con la herramienta PVGIS.

Una vez seleccionada la opción “Continue” se abrió la ventana de PVGIS en la que se introdujeron los parámetros que se pueden observar en Figura 3-32.

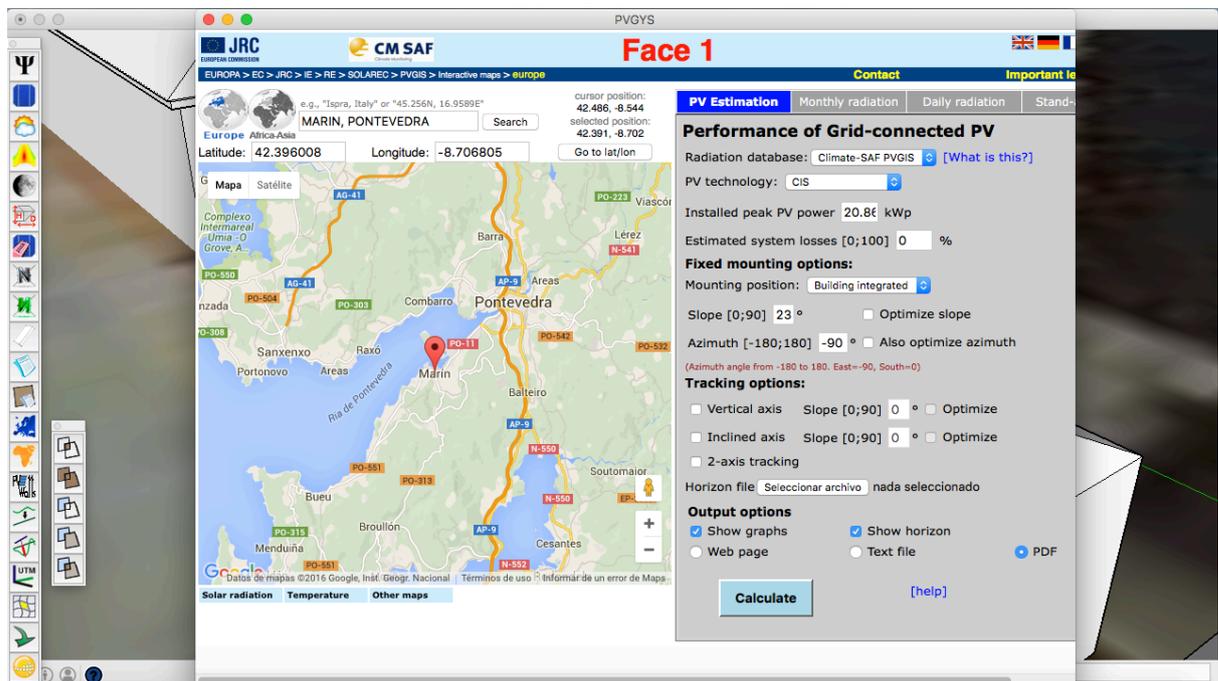


Figura 3-32 Ventana de configuración de la simulación de la herramienta PVGIS.

A continuación se detallarán los criterios empleados para la elección de los parámetros de la simulación.

- Localización. Se seleccionó Marín, Pontevedra por ser la localidad en la que se encuentra la ENM.
- Base de datos de radiación. Existen dos bases de datos disponibles en PVGIS, Climate-SAF PVGIS y Classic PVGIS. Classic PVGIS es la base de datos con la que contaba PVGIS en sus orígenes. En 2010, lanzaron una nueva base de datos llamada Climate-SAF PVGIS, cuyos

datos fueron comparados con los de medidas de campo de alta precisión. Los datos de la nueva base de datos contaban con un error menor del 5% con respecto a los datos reales, lo que indica que se trata de una fuente muy precisa. Classic PVGIS utiliza métodos de interpolación que dan resultados válidos pero menos precisos que su versión moderna. Por esta razón se escogió la base de datos Climate-SAF PVGIS.

- Tecnología fotovoltaica. Es irrelevante para el resultado de la simulación puesto que afectará al cálculo de la energía generada, parámetro que se desechará. No afecta al cálculo de la irradiación incidente.
- Potencia de pico instalada. Al igual que el parámetro anterior, es irrelevante para el cálculo de la irradiación solar.
- Pérdidas estimadas del sistema: No afectó al cálculo de la irradiación incidente.
- Montaje. PVGIS ofrece dos opciones de montaje para la instalación, “Free-standing” (instalación de suelo) o “Building integrated” (integrada en la edificación). Se seleccionó “Building integrated” por corresponderse con la naturaleza de la instalación estudiada en este trabajo.

En cuanto a los datos de azimut e inclinación de los paneles y “Tracking options”, éstos se ajustan automáticamente al disponer PVGIS de la información de la cubierta. Por último, se seleccionó el formato PDF para la generación del archivo que contiene los resultados de la simulación.

Tras introducir los parámetros se pinchó en “Calculate” y se generó un archivo en formato PDF que contenía datos de pérdidas, generación eléctrica e irradiación solar por días, meses y al año (Figura 3-33). El dato de interés para el posterior estudio energético es la irradiación total global por cada mes y total al año (columna Hm en la Figura 3-33)

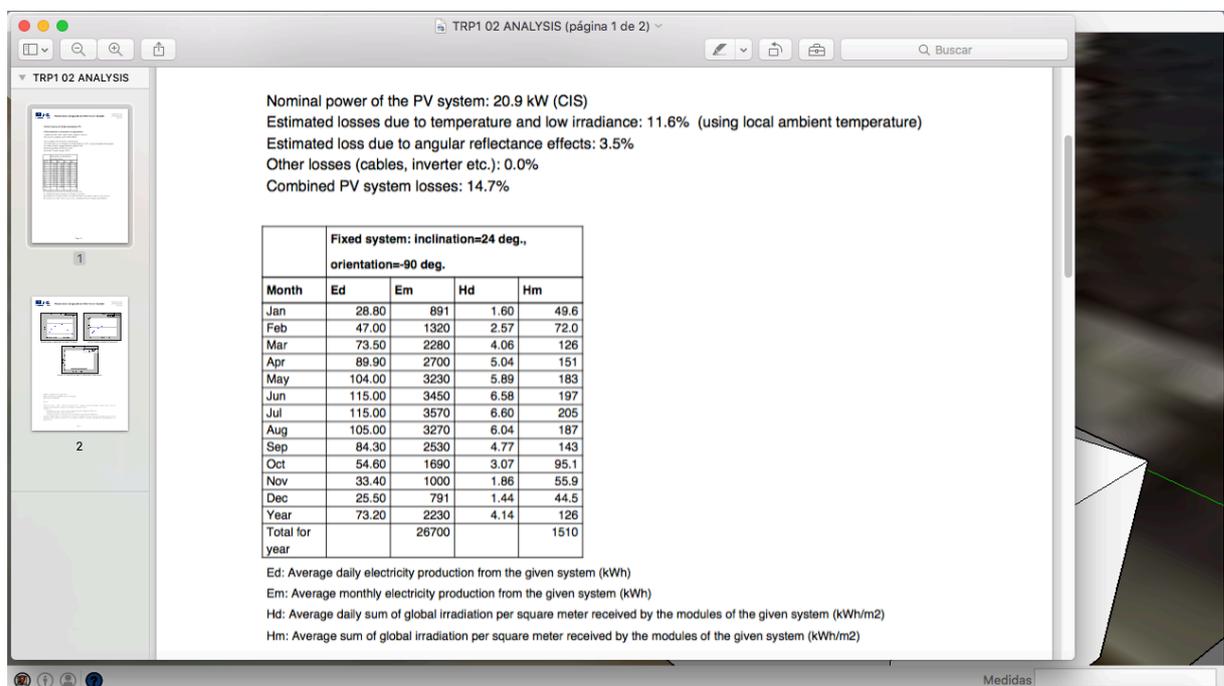


Figura 3-33 Informe de resultados de la simulación de la herramienta PVGIS.

Los datos de irradiación mencionados se registraron en un documento Excel para su posterior análisis.

El proceso descrito se realizó de forma similar para cada cara de los tejados de todos los edificios, hasta obtener la irradiación incidente sobre todos ellos recopilada en el ya mencionado documento Excel.

### 3.4 Estudio energético

#### 3.4.1 Descripción

Tras la realización de los cálculos y simulaciones anteriores, se dispuso de los datos necesarios para realizar un estudio energético sobre la instalación fotovoltaica en los edificios de la ENM. En el presente apartado se analizaron en primer lugar los datos de irradiación solar obtenidos de la simulación. Posteriormente, y teniendo en cuenta las características, necesidades y localización de la instalación, se llevó a cabo una selección del sistema fotovoltaico adecuado para la ENM. Una vez conocida la instalación se calculó la generación de energía de la misma, para por último estimar los consumos eléctricos de cada edificio y sus ratios de autoabastecimiento.

El presente estudio energético sirvió para proporcionar una estimación de la cantidad de energía que una instalación estándar puede generar para la ENM, y para comparar dicha generación con los consumos habituales de los edificios.

#### 3.4.2 Análisis de la irradiación solar

##### 3.4.2.1 Irradiación solar anual por edificio

La simulación dio como resultado la irradiación solar incidente por mes y al año de cada cara del tejado de cada edificio en kWh/m<sup>2</sup>. A continuación se describirán los cálculos realizados para procesar esta información y obtener la irradiación incidente anual estimada sobre cada edificio y la total para la ENM.

En un primer momento se podría pensar que la irradiación solar incidente anual en un edificio se puede calcular sencillamente realizando la suma de las irradiaciones de las caras que ya se conocen. Sin embargo, las unidades de irradiación están divididas por área, de forma que en los valores obtenidos de la simulación no se tiene en cuenta la superficie de la cara del tejado. En otras palabras, los valores de radiación obtenidos dependen de la localización, orientación e inclinación de la cara, pero si estos parámetros son iguales tendrá la misma radiación una cara determinada que otra diez veces más extensa. Es evidente que debe tenerse en cuenta para el estudio el tamaño de los tejados, pues a mayor superficie disponible, mayor capacidad para captar energía solar. Por ello, se decidió aplicar un coeficiente a la irradiación solar de cada cara que ponderase el tamaño de las mismas. El cálculo de la irradiación de cada cara se realizó siguiendo la Ecuación 3-1:

$$H'_{cara} = H_{cara} \cdot \frac{S_{cara}}{S_{tejado}}$$

**Ecuación 3-1 Cálculo de la irradiación solar incidente en cada cara de un edificio.**

Donde

- $H'_{cara}$  es la irradiación anual ponderada de la cara.
- $H_{cara}$  es la irradiación anual obtenida de la simulación
- $S_{cara}$  es la superficie de la cara
- $S_{tejado}$  es la superficie del tejado del edificio calculada como la suma de las superficies de todas las caras del tejado

De esta manera se tiene en cuenta en el cálculo el tamaño de las caras, siendo la irradiación menor cuanto menor sea la superficie de la cara calculada.

Una vez obtenidos los valores de irradiación ponderados para cada cara, solo restó sumarlos para obtener la irradiación total anual del edificio.

Para mostrar con claridad el proceso seguido se expondrá a continuación un ejemplo del cálculo descrito para el edificio de aulas “Isaac Peral (Tabla 3-3).

| Cara del tejado    | $S_{cara} (m^2)$ | $\frac{S_{cara}}{S_{tejado}}$ | $H_{cara} (\frac{kWh}{m^2})$    | $H'_{cara} (\frac{kWh}{m^2})$ |
|--------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| IPL 01             | 130,55           | 0,058                         | 1090                            | 63,47                         |
| IPL 02             | 929,85           | 0,415                         | 1500                            | 622,08                        |
| IPL03              | 957,64           | 0,427                         | 1500                            | 640,67                        |
| IPL 04             | 60,57            | 0,027                         | 1500                            | 40,52                         |
| IPL 05             | 30,73            | 0,014                         | 1500                            | 20,56                         |
| IPL 06             | 101,69           | 0,045                         | 1810                            | 82,09                         |
| IPL 07             | 31,08            | 0,014                         | 1800                            | 24,95                         |
| $S_{tejado} (m^2)$ | 2242,11          |                               | $H'_{tejado} (\frac{kWh}{m^2})$ | 1494,35                       |

**Tabla 3-3 Cálculo de la irradiación solar incidente anual para el edificio de aulas “Isaac Peral”.**

En los cálculos se puede apreciar que no existe diferencia en los valores de  $H_{cara}$  en función de la superficie de la cara, mientras que en  $H'_{cara}$  tras aplicar el coeficiente de la columna 3 esta diferencia es evidente. Tras obtener todos los valores de  $H'_{cara}$  éstos se suman para obtener  $H'_{tejado}$ , objetivo final de este análisis. El mismo proceso se siguió en todos los edificios analizados obteniendo la  $H'_{tejado}$  para cada uno de ellos.

### 3.4.2.2 Irradiación solar mensual por edificio

A continuación se llevó a cabo un análisis sobre la irradiación solar mensual en los edificios de la ENM. Este análisis consistió en estudiar cómo varía la irradiación en un mes concreto para diferentes edificios y como varía la irradiación para un mismo edificio en diferentes meses. Para visualizar dichas variaciones un diagrama de cajas y bigotes constituye una herramienta muy útil, por lo que se decidió crear uno usando los datos mensuales de irradiación para los edificios.

El primer paso para la realización de este diagrama fue realizar el cálculo de la irradiación total por edificio para cada mes. Este cálculo es similar al realizado anteriormente en la Tabla 3-3 pero en lugar de utilizar la  $H_{cara}$  anual sumando la irradiación de los doce meses del año, se realiza el cálculo para la  $H_{cara}$  de cada mes desde enero hasta diciembre. De esta manera obtenemos doce  $H'_{tejado}$  por edificio, un valor de irradiación para cada mes. Este cálculo se realizó para todos los edificios y se agruparon los resultados como se muestra en la Tabla 3-4 para el edificio de aulas “Isaac Peral”.

| Edificio de aulas "Isaac Peral" |  |
|---------------------------------|--|
| Mes del año                     | $H'_{tejado} \left(\frac{kWh}{m^2}\right)$ |
| Enero                           | 49,28                                      |
| Febrero                         | 71,09                                      |
| Marzo                           | 124,80                                     |
| Abril                           | 149,21                                     |
| Mayo                            | 180,27                                     |
| Junio                           | 195,22                                     |
| Julio                           | 202,16                                     |
| Agosto                          | 185,03                                     |
| Septiembre                      | 141,16                                     |
| Octubre                         | 94,28                                      |
| Noviembre                       | 55,85                                      |
| Diciembre                       | 44,96                                      |

**Tabla 3-4 Irradiación solar mensual incidente en el edificio de aulas "Isaac Peral".**

Una vez obtenidos estos datos, se calcularon, para cada edificio, los parámetros que se representan en un diagrama de cajas y bigotes: la media, el cuartil 1, el cuartil 3, el rango intercuartil, la mediana, el valor máximo, el valor mínimo y los límites superior e inferior (Tabla 3-5). El conjunto de valores para dichos parámetros fueron las irradiaciones mensuales de cada edificio. Siguiendo el procedimiento para la creación de un diagrama de cajas y bigotes en Excel se llevó a cabo la misma y se analizaron los resultados.

| Edificio de aulas "Isaac Peral" |        |
|---------------------------------|--------|
| Media                           | 124,44 |
| Cuartil 1 (Q1)                  | 67,28  |
| Cuartil 3 (Q3)                  | 181,46 |
| Rango intercuartil (Q3-Q1)      | 114,18 |
| Mediana                         | 132,98 |
| Valor Mínimo                    | 44,96  |
| Valor Máximo                    | 202,16 |
| Límite inferior                 | 44,96  |
| Límite superior                 | 202,16 |

**Tabla 3-5 Parámetros del diagrama de cajas y bigotes del edificio de aulas "Isaac Peral".**

### *3.4.3 Selección de la instalación fotovoltaica*

En este apartado se describió el razonamiento seguido para elegir un determinado tipo de instalación fotovoltaica que se considera el más adecuado para las condiciones y necesidades existentes en la ENM. En primer lugar se detalló el tipo de instalación escogido (instalación aislada o conectada a red) y posteriormente se explicó razonadamente cual es la tecnología fotovoltaica más adecuada para la instalación.

Se debe destacar que en este estudio no se escogió un panel fotovoltaico concreto, sino que se recomendó un tipo de instalación y una tecnología fotovoltaica que se consideran óptimos para este caso, y se realizaron los cálculos energéticos posteriores en base a datos genéricos propios de dicha tecnología. La selección de los elementos comerciales concretos de la instalación quedará a cargo de un estudio más exhaustivo destinado a la ejecución real de la instalación.

Comenzando con el tipo de instalación fotovoltaica, se decidió que la más conveniente para la ENM es una instalación fotovoltaica de conexión a red. Como se menciona en el apartado 2.4, las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red se encuentran conectadas a la red general de distribución, de forma que cuando se produce electricidad se abastece a los propios edificios y se vende la energía sobrante a las compañías eléctricas, mientras que cuando no se genera electricidad ésta se toma de la red general. Esta opción es idónea para la ENM puesto que asegura el abastecimiento continuo de electricidad, a la vez que se consigue un ahorro considerable en el gasto energético. Las instalaciones aisladas, que constituyen la alternativa a las de conexión a red, no se consideran adecuadas para este caso puesto que dichas instalaciones dependen completamente de la generación eléctrica de la instalación. Para cubrir las necesidades de la ENM con este tipo de instalación se necesitaría un número muy alto de baterías, cuya instalación sería muy complicada y a un elevado coste. Las instalaciones aisladas tienen su aplicación principal en construcciones pequeñas que se encuentran alejadas de la red general de distribución eléctrica (2.4.2). Por lo tanto, en el caso de la ENM, que se encuentra conectada a la red eléctrica general, la instalación adecuada será de conexión a red.

En cuanto a la tecnología fotovoltaica más adecuada, tras valorar las distintas tecnologías existentes y sus principales ventajas e inconvenientes, se decidió recomendar la tecnología de capa delgada de CdTe (Cadmio Teluro). Las principales razones de su elección son sus bajos costes de producción (factor de gran importancia), su buen comportamiento ante altas temperaturas y luz indirecta o difusa y por último la versatilidad de sus módulos, los cuales son idóneos para la integración arquitectónica. A pesar de las importantes ventajas mencionadas, esta tecnología también presenta algunos inconvenientes que se deben tener en cuenta. Éstos son su relativamente baja eficiencia en comparación con las tecnologías de silicio cristalino y su menor madurez en el mercado. Sin embargo, se están realizando actualmente numerosas investigaciones y mejoras sobre esta tecnología, que para muchos expertos constituirá el futuro de la energía fotovoltaica. Además, el factor de la máxima integración arquitectónica y la estética se consideran prioritarios sobre la pequeña pérdida de eficiencia de los módulos. Teniendo todos los factores en consideración, ventajas, inconvenientes y proyección de futuro, se ha decidido recomendar la tecnología de CdTe.

En resumen, tras el estudio correspondiente de los distintos tipos de instalaciones y tecnologías fotovoltaicas, se recomienda utilizar una instalación fotovoltaica de conexión a red con tecnología de capa delgada de CdTe.

### 3.4.4 Cálculo de la energía eléctrica entregada a red

Habiéndose seleccionado el tipo de instalación de la que se dispone, se puede estimar la cantidad de energía eléctrica que será capaz de producir en la ENM. Se supuso para el estudio que, al tratarse de una instalación de capa delgada, tendrá una eficiencia del 15%. Las tecnologías de capa delgada alcanzaban en 2010 eficiencias del 17% (Figura 2-33), por lo que se escogió un 15% para adoptar una postura conservadora.

En primer lugar se calculará la electricidad que producirá cada edificio, para posteriormente calcular la producción total de energía eléctrica sumando la de todos los edificios. La electricidad generada por cada edificio se calculará a través de la Ecuación 3-2:

$$E_{\text{año}} = P^* \cdot PR \cdot HES_{\text{año}}$$

**Ecuación 3-2 Cálculo de la electricidad generada por cada edificio.**

A continuación se explicarán detalladamente los distintos parámetros que intervienen en la fórmula.

$P^*$  se corresponde con la potencia de pico de la instalación. Se define como la máxima potencia que la instalación puede generar en Condiciones Estándar de Medida (CEM), las cuales son ([6]):

- Irradiancia: 1000 W/m<sup>2</sup>
- Distribución espectral: AM 1,5 G
- Incidencia normal
- Temperatura de célula: 25°C

La potencia de pico de una instalación se calcula mediante la Ecuación 3-3:

$$P^* = P_{\text{panel}} \cdot \frac{S_{\text{tejado}}}{S_{\text{panel}}}$$

**Ecuación 3-3 Cálculo de la potencia de pico de una instalación fotovoltaica.**

Donde

- $P_{\text{panel}}$  es la potencia de pico del panel utilizado en la instalación. La potencia de pico, como ya se ha mencionado, está referida a las CEM, es decir, a una irradiancia de 1000  $\frac{W}{m^2}$ . La eficiencia del panel es de un 15%, lo que significa que es capaz de transformar en energía eléctrica un 15% de la energía solar que recibe. Por lo tanto, al recibir 1000  $\frac{Wp}{m^2}$  cada panel producirá 150  $\frac{Wp}{m^2}$ . Esto significa que si se tiene un panel de 1 m<sup>2</sup> de superficie producirá 150 Wp, si se tiene un panel de 2 m<sup>2</sup> producirá 300 Wp y así sucesivamente. Para el presente estudio se supondrá que el panel utilizado tiene 1 m<sup>2</sup> de área como medida estándar. Por lo tanto en la instalación fotovoltaica de todos los edificios la  $P_{\text{panel}}$  será de 150 Wp.
- $S_{\text{tejado}}$  es la superficie total del tejado del edificio estudiado.
- $S_{\text{panel}}$  es la superficie del panel de la instalación, que como ya se ha mencionado se supondrá que equivale a 1 m<sup>2</sup>.

La fórmula descrita multiplica la  $P_{\text{panel}}$  por el número de paneles que caben en la superficie del tejado del edificio en cuestión, obteniendo la potencia de pico de la instalación completa en el edificio.

En cuanto al parámetro PR, o “Performance Ratio”, consiste en un coeficiente que engloba las pérdidas que sufre la instalación completa (sombreado, fallos en las conexiones de los módulos, baja eficiencia del inversor, potencia real de los módulos ligeramente inferior a la nominal, etc.). Se determina de manera experimental, y para seleccionar el valor que usaremos en el presente trabajo se han tomado datos de estudios previos (Tabla 3-6).

| MES         | PR EUITI (*) | PR IDAE (**) |
|-------------|--------------|--------------|
| Enero       | 0,833        | 0,851        |
| Febrero     | 0,844        | 0,844        |
| Marzo       | 0,821        | 0,801        |
| Abril       | 0,812        | 0,802        |
| Mayo        | 0,781        | 0,796        |
| Junio       | 0,767        | 0,768        |
| Julio       | 0,764        | 0,753        |
| Agosto      | 0,778        | 0,757        |
| Septiembre  | 0,802        | 0,769        |
| Octubre     | 0,784        | 0,807        |
| Noviembre   | 0,806        | 0,837        |
| Diciembre   | 0,813        | 0,850        |
| Valor medio | 0,800        | 0,802        |

\* Monitorización sistema fotovoltaico cubierta EUITI 2001-2004

\*\* Pliego de condiciones técnicas de sistemas fotovoltaicos conectados a red IDAE 2002

**Tabla 3-6 Valores de PR a lo largo del año para un sistema fotovoltaico según estudios de EUITI y el IDAE [32].**

Como se puede apreciar en la Tabla 3-6, los valores de PR según ambas instituciones se mantienen durante todo el año siempre por encima de 0,7 y por debajo de 0,9. Continuando con la línea conservadora del estudio, tomaremos el caso más desfavorable para la producción eléctrica y asumiremos 0,7 como el valor de PR en todos los cálculos.

Por último, la variable  $HES_{año}$  se corresponde con las Horas de Sol Equivalentes al año para un edificio y proporciona una relación entre la energía eléctrica producida por el sistema y la potencia del generador fotovoltaico. Este parámetro se obtiene a partir de la irradiación solar incidente calculada en el apartado 3.4.2., dividiéndola entre la irradiancia correspondiente a las CEM. Por lo tanto:

$$\frac{H'_{tejado} \left( \frac{kWh}{m^2} \right)}{1 \left( \frac{kWp}{m^2} \right)} = HES_{año} \left( \frac{kWh}{kWp} \right)$$

**Ecuación 3-4 Cálculo de las Horas Equivalentes de Sol de un edificio.**

Se debe destacar que el valor de  $HES_{año}$  en la práctica es el mismo que el de  $H'_{tejado}$ , pero las unidades son distintas.

Una vez definidas las variables necesarias para el cálculo de  $E_{año}$ , se procedió a calcular los resultados para todos los edificios mediante un documento Excel. A modo de ejemplo se expondrá a continuación el cálculo realizado para el cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria”. En primer lugar se procedió a calcular la potencia de pico de la instalación ( $P^*$ ). Ésta se calculó como:

$$P^* = P_{panel} \cdot \frac{S_{tejado}}{S_{panel}} = 150 \text{ Wp} \cdot \frac{2696,67 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 404500 \text{ Wp} = 404,5 \text{ kWp}$$

El valor de PR es constante e igual a 0,7 en todos los casos, por lo que  $PR = 0,7$ .  $HES_{año}$  se calculó como:

$$HES_{año} = \frac{H'_{tejado} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kWp}}{\text{m}^2}} = \frac{1466 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kWp}}{\text{m}^2}} = 1466 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$$

Por lo tanto,

$$E_{año} = P^* \cdot PR \cdot HES_{año} = 404,5 \text{ kWp} \cdot 0,7 \cdot 1466 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} = 415234 \text{ kWh}$$

Este cálculo se llevó a cabo de forma similar para todos los edificios estudiados, calculando posteriormente la generación total de la ENM sumando las producciones de todos los edificios.

### 3.4.5 Consumos eléctricos y ratio de autoabastecimiento

A fin de comparar la producción eléctrica de la instalación global con la demanda eléctrica de la ENM, se solicitaron al Taller Eléctrico de la misma los consumos eléctricos de los últimos cinco años. Dichos consumos están registrados mensualmente como consumos globales de la ENM y el sector 7 (residencia de oficiales y viviendas de autoridades).

Para obtener la demanda eléctrica de la ENM y su tendencia a lo largo de los años, se calculó en primer lugar las demandas anuales sumando las demandas mensuales desde el 2011 al 2015 mediante una hoja de cálculo de Excel. Posteriormente se representaron los consumos eléctricos de los cinco años analizados sobre un diagrama de dispersión de puntos. Para obtener la tendencia del consumo, se representó en el diagrama una línea de tendencia lineal. Con la fórmula que define dicha recta, podremos estimar la demanda de años futuros de manera bastante precisa.

Una vez conocidos los consumos anuales y su tendencia, se procedió a realizar una comparación entre la electricidad que se produce y la que se consume. En esta comparación se supuso la producción eléctrica invariable en el tiempo, mientras que la demanda iría aumentando en función de la recta de tendencia calculada anteriormente. Por lo tanto, se comparó la generación eléctrica anual con el consumo eléctrico en el 2015 (último consumo conocido) y con la demanda prevista para el año 2041 (que se corresponde con el final del ciclo de vida del sistema fotovoltaico suponiendo que se instalase en el año 2016). Para el cálculo de la demanda eléctrica en el año 2041, se utilizó la Ecuación 3-5 de la línea de tendencia proporcionada por Excel y expuesta a continuación:

$$Y = 14496,2X - 26167246,8$$

**Ecuación 3-5 Fórmula que define la línea de tendencia de la demanda eléctrica de la ENM.**

Esta fórmula define el comportamiento de la línea de tendencia, de forma que si colocamos el año en el que deseamos conocer la demanda en la variable “X”, obtendremos como variable “Y” la propia demanda en unidades de kWh:

$$Y = 14496,2 \cdot 2041 - 26167246,8 = 3419497,4 \text{ kWh}$$

La comparación se llevó a cabo de dos maneras distintas:

- Diagrama de barras. Se representó en un diagrama de barras proporcionado por Excel la demanda eléctrica en 2015, la demanda eléctrica estimada en 2041 y la producción eléctrica anual de la instalación. De esta manera se puede apreciar visualmente los tamaños relativos entre las variables estudiadas y sacar conclusiones sobre las dimensiones de la producción.
- Ratio de autoabastecimiento. Se define como la fracción de la demanda eléctrica que cubre la generación eléctrica de la instalación fotovoltaica. Se calculó tanto para el año 2015 como para el 2041 mediante la Ecuación 3-6:

$$RAA = \frac{\text{Producción eléctrica fotovoltaica anual}}{\text{Consumo eléctrico anual}}$$

**Ecuación 3-6 Cálculo del ratio de autoabastecimiento eléctrico.**

Este parámetro es indicativo del porcentaje del consumo total de electricidad que la instalación es capaz de satisfacer sin necesitar energía procedente de la red general de distribución.

## **3.5 Estudio económico**

### *3.5.1 Descripción*

En el marco actual, la evaluación de los costes y la viabilidad de cualquier proyecto es uno de los factores determinantes en la toma de decisiones. En las Fuerzas Armadas dicho factor llega a ser primordial a la hora de decidir si un proyecto debe materializarse. El objetivo de este apartado es llevar a cabo un estudio económico que proporcione elementos de juicio para determinar si la instalación debe ejecutarse o no.

En primer lugar se realizó una estimación de la inversión inicial necesaria para poner en operación la instalación en cada edificio y posteriormente en la totalidad de la ENM. Luego se estimaron los gastos de mantenimiento y operación que aparecerán durante el ciclo de vida de la instalación, y por último se añadieron los gastos asociados al polémico “impuesto del sol”. A continuación se calcularon dos parámetros económicos, el Net Present Value (NPV) y el Saving-to-Investment Ratio (SIR), que presentan características interesantes para el estudio. Por último, sobre estos parámetros se realizó un análisis de sensibilidad, que consiste en determinar cómo se comportan frente a variaciones en distintas variables y se calculó el tiempo estimado de amortización del desembolso.

### *3.5.2 Inversión inicial necesaria de la instalación*

Se comenzó el estudio económico realizando una estimación de la inversión inicial que supondría llevar a cabo la instalación descrita en el apartado 3.4. Este dato es de gran importancia, pues puede determinar la viabilidad del proyecto.

La estimación de los costes iniciales se realizó utilizando los datos proporcionados por la Figura 2-34, los cuales son recientes y están actualizados por ser del año 2015. En dicha figura, el autor expone los precios dependiendo del tipo de instalación de que se trate. En el caso de la instalación propuesta, se encuadró dentro de la categoría de “Industrial” por tratarse de una instalación relativamente grande e incluir aplicaciones más demandantes que las de una instalación residencial o comercial.

El precio referente a España para instalaciones industriales es de  $1,6 \frac{\$}{Wp}$ , por lo que se tomará el valor de  $1,6 \frac{\text{€}}{Wp}$  para continuar con la línea conservadora del estudio.

Dicho valor sacado de la Figura 2-34 se denomina “precio llave en mano de la instalación”, debido a que incluye todos los costes asociados a los materiales, instalación, conexiones, impuestos etc. (todos los gastos necesarios para disponer de la instalación totalmente operativa).

Habiendo obtenido dicho dato, resultó sencillo a continuación calcular el precio inicial de la instalación por edificio a través de la Ecuación 3-7:

$$C_{inicial} = C_{llave} \cdot P^*$$

**Ecuación 3-7 Cálculo del coste inicial de una instalación fotovoltaica en un edificio.**

Donde

- $C_{inicial}$  es el coste inicial total de la instalación para un edificio.
- $C_{llave}$  es el precio llave en mano de una instalación genérica ( $1,6 \frac{\text{€}}{Wp}$ ).
- $P^*$  es la potencia de pico instalada en el edificio.

Aplicando esta fórmula a cada edificio se calcularon los costes iniciales asociados a cada uno de ellos mediante un documento Excel. A modo de ejemplo se expondrá a continuación el cálculo realizado para el edificio de Jefatura de Instrucción “Príncipe de Asturias”:

$$C_{edificio} = C_{llave} \cdot P^* = 1,6 \frac{\text{€}}{Wp} \cdot 143964 Wp = 230342 \text{ €}$$

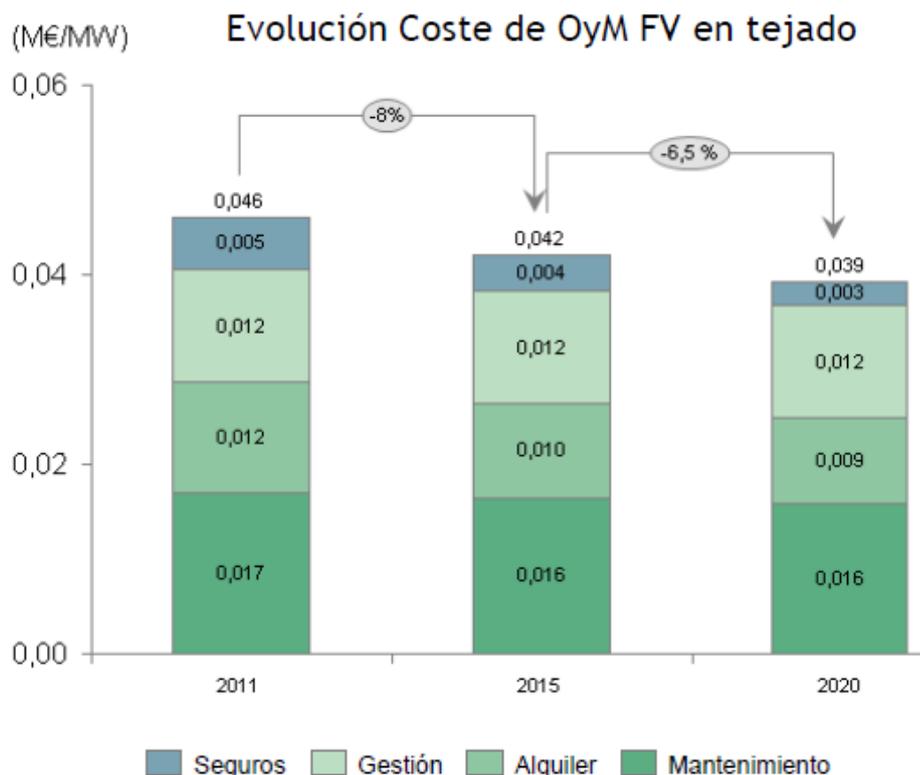
Por lo tanto, el precio inicial de la instalación en el edificio “Príncipe de Asturias” será de 230.342 € Debe destacarse que dicho precio no constituye un resultado exacto, sino una estimación en base a los datos del estudio consultado ([27]). Por esta razón se decidió tomar un valor conservador para no obtener un valor erróneamente positivo.

Una vez calculado el coste inicial de la instalación en cada edificio, se calculó la inversión inicial global sumando todos los valores obtenidos.

### 3.5.3 Costes de mantenimiento y operación

Además de los gastos asociados con la inversión inicial, que se corresponden con los necesarios para obtener, instalar y poner en operación el sistema fotovoltaico, deben tenerse en cuenta los gastos que aparecen durante la vida útil de la instalación. Éstos se denominan costes de mantenimiento y operación, y engloban los gastos derivados del mantenimiento del sistema, seguros, gestión y alquiler.

Según un estudio realizado por la EOI (Escuela de Organización Industrial), la evolución de los costes anuales de mantenimiento y operación para instalaciones de tejado seguirá la tendencia apreciable en la Figura 3-34 [21].



**Figura 3-34 Evolución de los costes de operación y mantenimiento de una instalación fotovoltaica en tejado [21].**

La Figura 3-34 ofrece dos datos que sirvieron para estimar los gastos de operación y mantenimiento de todos los edificios. El primero de ellos es el precio por Wp (eje vertical), que permitió calcular el coste tras multiplicarlo por la potencia de pico de la instalación. El segundo dato es la tendencia que siguen los costes. Al no ser un dato continuo en el tiempo sino que va disminuyendo anualmente, no sería una estimación válida que calculásemos los costes teniendo en cuenta su valor en el año 2015. Suponiendo que el sistema se instalase en el año 2016, se estima que su vida útil será de 25 años y por lo tanto dure hasta el año 2041. Consecuentemente, en los cálculos se usó el valor de los costes para la mitad de su vida media, es decir, los costes de operación y mantenimiento en el año 2028. Representando los costes en 2011, 2015 y 2020 en un diagrama de dispersión de puntos en una hoja de cálculo de Excel, pudo obtenerse una línea de tendencia lineal que permitió estimar el coste del mantenimiento en años futuros.

Tras realizar el diagrama mencionado, se obtuvo la Ecuación 3-8 para la recta de tendencia:

$$y = -0,0007704918x + 1,5951311475$$

**Ecuación 3-8 Fórmula de la línea de tendencia del coste de operación y mantenimiento de una instalación fotovoltaica.**

Sustituyendo en dicha fórmula la variable “X” por el año 2028, obtendremos en la variable “Y” el coste de operación y mantenimiento medio estimado de la instalación durante todo su ciclo de vida.

$$y = -0,0007704918 \cdot 2028 + 1,5951311475 = 0,033 \frac{\text{€}}{\text{Wp}}$$

Una vez hallado este valor, se repitió el procedimiento seguido para el cálculo de la inversión inicial. Se calculó el coste de mantenimiento y operación para cada edificio mediante la Ecuación 3-9:

$$C_{OyP\text{edificio}} = C_{OyP} \cdot P^*$$

**Ecuación 3-9 Cálculo del coste de operación y mantenimiento de una instalación fotovoltaica.**

Donde

- $C_{OyP\text{edificio}}$  es el coste de mantenimiento y operación de la instalación para un edificio.
- $C_{OyP}$  es el coste de mantenimiento y operación de una instalación genérica ( $0,033 \frac{\text{€}}{\text{Wp}}$  según la estimación realizada sobre la Figura 3-34).
- $P^*$  es la potencia de pico instalada en el edificio.

Aplicando esta fórmula a cada edificio se calcularon los costes anuales de mantenimiento y operación asociados a cada uno de ellos mediante un documento Excel. A modo de ejemplo se expondrá a continuación el cálculo realizado para el edificio de Jefatura de Instrucción “Príncipe de Asturias”:

$$C_{OyP\text{edificio}} = C_{OyP} \cdot P^* = 0,033 \frac{\text{€}}{\text{Wp}} \cdot 215946 \text{ Wp} = 7126 \text{ €}$$

Por lo tanto, el precio anual estimado de operación y mantenimiento de la instalación en el edificio “Príncipe de Asturias” será de 7126 €

Una vez calculado el coste anual de operación y mantenimiento de la instalación en cada edificio, se calculó el coste global sumando todos los valores obtenidos.

Posteriormente, se multiplicó dicho coste anual global por 25 para obtener el coste de mantenimiento total de la instalación a lo largo de su vida útil, la cual se estima será de 25 años.

### 3.5.4 Cargos debidos al Real Decreto 900/2015

A continuación se tuvo en cuenta el peaje que establece el Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las nuevas condiciones administrativas, técnicas y económicas de las instalaciones fotovoltaicas. Esta normativa, de reciente aprobación, ha creado una gran polémica en torno a la energía fotovoltaica, pues ha originado un régimen de impuestos considerablemente más duro que el existente previamente como medida disuasoria para preservar el buen funcionamiento económico de la electricidad tradicional. En este apartado se aplicará dicha normativa a la instalación propuesta, de forma que se conozca el impacto económico que supondría además de los gastos ya calculados anteriormente.

El Real Decreto (RD) establece dos modalidades de autoconsumo diferenciadas entre sí, que tendrán dos regulaciones distintas en cuanto a impuestos. Las características de cada modalidad se exponen a continuación:

- Modalidad de autoconsumo de tipo 1. Las instalaciones en esta modalidad no deberán superar los 100 kWp de potencia, y la suma de las potencias instaladas de generación será igual o inferior a la potencia contratada por el consumidor. Además, deberán cumplir los requisitos técnicos especificados en el resto de normativas, y no requieren darse de alta en el registro como instalación de producción. En esta modalidad de autoconsumo, la energía eléctrica vertida a la red no será retribuida económicamente.
- Modalidad de autoconsumo de tipo 2. No existirá límite de potencia instalada en esta modalidad de autoconsumo. Sin embargo, la suma de las potencias instaladas de las instalaciones de producción será igual o inferior a la potencia contratada por el consumidor. En

el caso de que existan varias instalaciones, el titular de todas y cada una de ellas deberá ser la misma persona física o jurídica. Además, deberán cumplir los requisitos técnicos contenidos en la normativa del sector eléctrico y en la reglamentación de calidad y seguridad industrial que se aplique en cada caso, y se deberán inscribir en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica. En esta modalidad de autoconsumo, la energía vertida a la red por excedentes de producción se pagará según la normativa en vigor.

Según las características expuestas, la instalación propuesta se encuadraría en la modalidad de autoconsumo de tipo 2, puesto que la potencia instalada es significativamente mayor que 100 kWp, y puede cumplir todos los requisitos de la modalidad de tipo 2.

El RD establece entonces dos cargos de distinta índole que deberán calcularse para cada instalación, un cargo fijo y un cargo variable. A continuación se expone la aplicación de cada uno en relación a la instalación propuesta:

- Cargo variable por el autoconsumo horario. Su cuantía depende de la energía eléctrica generada y autoconsumida por la instalación. Quedan exentas únicamente las instalaciones aisladas, por lo que la instalación propuesta (de conexión a red) deberá abonar dicho cargo. El cálculo del cargo variable se hizo según la Tabla 3-7, contenida en el RD en cuestión. En dicha tabla se pueden observar distintas tarifas (columna de la izquierda) que dependen de la potencia contratada por el consumidor. En el caso del presente trabajo se aplicará la tarifa 3.0, al necesitar una potencia contratada superior a 15 kW.

| Peaje de acceso                    | Cargo transitorio por energía autoconsumida (€/kWh) |           |           |           |           |           |
|------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                    | Periodo 1   | Periodo 2 | Periodo 3 | Periodo 4 | Periodo 5 | Periodo 6 |
| 2.0 A (Pc ≤ 10 kW) .....           | 0,049033  |           |           |           |           |           |
| 2.0 DHA (Pc ≤ 10 kW) .....         | 0,063141  | 0,008907  |           |           |           |           |
| 2.0 DHS (Pc ≤ 10 kW) .....         | 0,063913  | 0,009405  | 0,008767  |           |           |           |
| 2.1 A (10 < Pc ≤ 15 kW) .....      | 0,060728  |           |           |           |           |           |
| 2.1 DHA (10 < Pc ≤ 15 kW) .....    | 0,074079  | 0,018282  |           |           |           |           |
| 2.1 DHS (10 < Pc ≤ 15 kW) .....    | 0,074851  | 0,021301  | 0,014025  |           |           |           |
| 3.0 A (Pc > 15 kW) .....           | 0,029399  | 0,019334  | 0,011155  |           |           |           |
| 3.1A(1 kV a 36 kV) .....           | 0,022656  | 0,015100  | 0,014197  |           |           |           |
| 6.1A (1 kV a 30 kV) .....          | 0,018849  | 0,016196  | 0,011534  | 0,012518  | 0,013267  | 0,008879  |
| 6.1B (30 kV a 36 kV) .....         | 0,018849  | 0,013890  | 0,010981  | 0,011905  | 0,012871  | 0,008627  |
| 6.2 (36 kV a 72,5 kV) .....        | 0,020138  | 0,016194  | 0,011691  | 0,011696  | 0,011996  | 0,008395  |
| 6.3 (72,5 kV a 145 kV) .....       | 0,022498  | 0,017414  | 0,012319  | 0,011824  | 0,011953  | 0,008426  |
| 6.4 (Mayor o igual a 145 kV) ..... | 0,018849  | 0,013138  | 0,010981  | 0,011104  | 0,011537  | 0,008252  |

**Tabla 3-7 Cargo variable sobre el autoconsumo horario de aplicación a partir del año 2016 [33].**

Además, los distintos períodos que se observan (del 1 al 6) se corresponden con diferentes franjas horarias en diferentes tipos de días (laborables, festivos, etc.) que vienen recogidos en la Circular 3/2014, de 2 de julio, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (Figura 3-35 y Tabla 3-8).

- i. Tipo A: De lunes a viernes no festivos de temporada alta.
- ii. Tipo B: De lunes a viernes no festivos de temporada media.
- iii. Tipo C: De lunes a viernes no festivos de temporada baja.
- iv. Tipo D: Sábados, domingos, festivos y 6 de enero.

**Figura 3-35 Tipos de días a efectos de la aplicación de los peajes de los peajes del sector eléctrico [34].**

| Periodo Horario | Tipo de día                                 |   |             |             |
|-----------------|---|---|-------------|-------------|
|                 | Tipo A                                      | Tipo B                                      | Tipo C      | Tipo D      |
| P1              | De 10h a 14h<br>De 18h a 22h                | -   | -           | -           |
| P2              | De 8h a 10h<br>De 14h a 18h<br>De 22h a 24h | -   | -           | -           |
| P3              | -   | De 10h a 14h<br>De 18h a 22h                | -           | -           |
| P4              | -   | De 8h a 10h<br>De 14h a 18h<br>De 22h a 24h | -           | -           |
| P5              | -   | -   | De 8h a 24h | -           |
| P6              | De 0h a 8h                                  | De 0h a 8h                                  | De 0h a 8h  | De 0h a 24h |

**Tabla 3-8 Horarios a aplicar por tipo de día en la Península, Baleares y Canarias a efectos de la aplicación de los peajes del sector eléctrico [34].**

El cálculo exacto del importe del cargo variable para la instalación propuesta no es posible si se desea tener en cuenta todos los períodos que se contemplan, pues no se dispone del número de días de cada tipo que se darán. Por lo tanto, para el presente estudio se hizo una estimación conservadora, que en ningún caso será menor que el importe real del impuesto. Dicha estimación se realizó suponiendo que el cargo transitorio por energía autoconsumida será en todos los casos el correspondiente al Período 1, el cual cuenta con el cargo más alto. De esta forma, de la Tabla 3-7 se pudo extraer el dato que permitió el cálculo del cargo variable anual:  $0,029399 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ .

Conocido este dato, bastó realizar un sencillo cálculo mediante la Ecuación 3-10 expuesta a continuación para obtener el importe del impuesto por término variable:

$$I_{variable} = CT_{variable} \cdot E_{año}$$

**Ecuación 3-10 Cálculo del cargo variable derivado del RD 900/2015.**

Donde

- $I_{variable}$  es el importe correspondiente al cargo variable anual para la instalación propuesta en la ENM (€).
- $CT_{variable}$  es el cargo transitorio por energía autoconsumida correspondiente al cargo variable de aplicación para la instalación propuesta en la ENM ( $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ).
- $E_{año}$  es la energía eléctrica producida por la instalación propuesta en el período de un año, calculada en el apartado 3.4.4 (kWh).

Si se desea obtener el coste total que supondría el cargo variable para la totalidad de la vida útil de la instalación, bastaría con multiplicar el coste anual obtenido por 25, teniendo en cuenta que el ciclo de vida de este tipo de instalaciones suele durar 25 años.

- Cargo fijo de potencia. Además del cargo variable, el RD especifica un cargo fijo por potencia en su Disposición Transitoria Primera. Dicho cargo se detalla en la Tabla 3-9 Cargo fijo de

potencia derivado del RD 900/2015 [33]. contenida en la página 94900 del RD, en función de la tarifa contratada y del período de tarificación.

| NT | Peaje de acceso                            | Cargo fijo (€/kW) |           |           |           |           |           |
|----|--|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|    |  | Periodo 1         | Periodo 2 | Periodo 3 | Periodo 4 | Periodo 5 | Periodo 6 |
| BT | 2.0 A ( $P_c \leq 10$ kW) . . . . .        | 8,989169          |           |           |           |           |           |
|    | 2.0 DHA ( $P_c \leq 10$ kW) . . . . .      | 8,989169          |           |           |           |           |           |
|    | 2.0 DHS ( $P_c \leq 10$ kW) . . . . .      | 8,989169          |           |           |           |           |           |
|    | 2.1 A ( $10 < P_c \leq 15$ kW) . . . . .   | 15,390453         |           |           |           |           |           |
|    | 2.1 DHA ( $10 < P_c \leq 15$ kW) . . . . . | 15,390453         |           |           |           |           |           |
|    | 2.1 DHS ( $10 < P_c \leq 15$ kW) . . . . . | 15,390453         |           |           |           |           |           |
|    | 3.0 A ( $P_c > 15$ kW) . . . . .           | 32,174358         | 6,403250  | 14,266872 |           |           |           |
| AT | 3.1 A (1 kV a 36 kV) . . . . .             | 36,608828         | 7,559262  | 5,081433  | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000  |
|    | 6.1A (1 kV a 30 kV) . . . . .              | 22,648982         | 8,176720  | 9,919358  | 11,994595 | 14,279706 | 4,929022  |
|    | 6.1B (30 kV a 36 kV) . . . . .             | 16,747077         | 5,223211  | 7,757881  | 9,833118  | 12,118229 | 3,942819  |
|    | 6.2 (36 kV a 72,5 kV) . . . . .            | 9,451587          | 1,683097  | 4,477931  | 6,402663  | 8,074908  | 2,477812  |
|    | 6.3 (72,5 kV a 145 kV) . . . . .           | 9,551883          | 2,731715  | 3,994851  | 5,520499  | 6,894902  | 1,946805  |
|    | 6.4 (Mayor o igual a 145 kV) . . . . .     | 3,123313          | 0,000000  | 1,811664  | 3,511473  | 4,991205  | 1,007911  |

**Tabla 3-9 Cargo fijo de potencia derivado del RD 900/2015 [33].**

Sin embargo, al contrario de lo que se podría pensar, el cargo fijo indicado en la Tabla 3-9 no debe multiplicarse por la potencia pico de la instalación para obtener el importe. La potencia que debe utilizarse es el resultado de restar la llamada potencia de aplicación de cargos y la potencia a facturar a efectos de aplicación de peajes de acceso.

La potencia a facturar a efectos de la aplicación de peajes de acceso es la potencia que se factura en el suministro, por lo que en la inmensa mayoría de los casos coincide con la potencia contratada.

La potencia de aplicación de cargos es un concepto nuevo que se explica en el Anexo I del citado RD. En dicho anexo se exponen tres supuestos, de los cuales el que incumbe al presente trabajo es el supuesto A. El supuesto A engloba aquellas instalaciones que cuenten con un contador que registre la energía consumida total por el consumidor asociado. Las instalaciones de más de 100 kWp están obligadas por ley a contar con dicho contador, por lo que la instalación propuesta pertenece a este grupo. En este supuesto, el RD especifica que la potencia de aplicación de cargos coincide con la potencia contratada, de forma que el cálculo del cargo fijo de potencia para la instalación de la ENM será:

$$P_{cargos\ fijos} = P_{aplicación\ cargos} - P_{a\ facturar} = P_{contratada} - P_{contratada} = 0$$

**Ecuación 3-11 Cálculo del cargo fijo de potencia derivado del RD 900/2015.**

Por lo tanto, el cargo fijo de potencia en el caso de la instalación de la ENM es nulo.

De los cálculos anteriores se desprende que el impuesto correspondiente a la instalación del presente estudio es equivalente al importe del cargo variable por autoconsumo horario. Debe destacarse que el modo en que se calculan los cargos tanto fijos como variables se especifica en el RD como “transitorio”, lo que significa que puede cambiar a lo largo del tiempo.

### 3.5.5 Amortización de la instalación

Una vez calculados los costes, se procedió al cálculo del tiempo de retorno de la inversión realizada. Dicho cálculo resulta de un gran interés debido a que constituye el principal indicador para determinar si el proyecto es rentable económicamente.

Para el estudio de la amortización se utilizarán dos parámetros ampliamente utilizados por todo tipo de empresas para determinar la viabilidad de proyectos. Estos parámetros son el Valor Actual Neto (NPV de sus siglas en inglés) y la Tasa de Ahorro-Inversión (SIR de sus siglas en inglés). El NPV consiste en un balance de gastos e ingresos en el que se tiene en cuenta la inflación y los intereses de un hipotético préstamo para hacer frente a la inversión. El SIR es un coeficiente asociado al anterior parámetro que relaciona también los gastos y los beneficios [35].

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Beneficios}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Costes}{(1+i)^t}$$

**Ecuación 3-12 Cálculo del parámetro Valor Actual Neto.**

$$SIR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Beneficios}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Costes}{(1+i)^t}}$$

**Ecuación 3-13 Cálculo del parámetro Saving-to-Investment ratio.**

Donde

- Costes son los gastos calculados anualmente para los 25 años de vida de la instalación.
- Beneficios son los ingresos recibidos anualmente durante 25 años gracias a la instalación.
- t es el año correspondiente a los gastos y beneficios calculados, contados desde 0 a 25.
- i es el “real discount rate”, factor que tiene en cuenta la inflación y por lo tanto permitirá actualizar al presente el valor de los costes e ingresos de años futuros.

En primer lugar es necesario definir lo que se ha considerado como costes y beneficios para el cálculo de los parámetros económicos:

- Costes. Consisten en la inversión inicial, contabilizada únicamente en el año 0, y los costes de mantenimiento y operación y los impuestos, los cuales se contabilizaron anualmente a partir del año 1.
- Beneficios. Son los ingresos procedentes de la venta de la electricidad producida y vertida a red contabilizados anualmente a partir del año 1. Es necesario puntualizar que se asume que toda la electricidad producida se vende, siendo el consumo eléctrico de la ENM independiente del cálculo de la amortización de la instalación. Otra opción podría ser asumir que parte de la electricidad producida se utiliza para satisfacer la demanda de la ENM, debiendo considerar entonces el ahorro conseguido (lo que se deja de pagar por comprar esa electricidad, la cual ahora se produce en la propia ENM) como un coste negativo, es decir, un beneficio. Como el precio de compra de la electricidad es igual al precio de venta, el balance final sería el mismo. Como existe la posibilidad de que en el futuro el precio de venta se incremente, se tomó el primer supuesto en el que toda la electricidad producida se vende. Los ingresos se calcularon multiplicando el precio de la luz por la electricidad anual producida en kWh. El precio de la electricidad se sitúa actualmente en torno a los  $0,18 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ , aunque dicho precio fluctúa

dependiendo de la hora del día. Para la realización de cálculos se ha tomado como valor medio 0,18 más un 21% de IVA, por lo que el valor final fue  $0.21 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  ([36]).

El “real discount rate” o  $i$  se calculó mediante la Ecuación 3-14:

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+i_f)} - 1$$

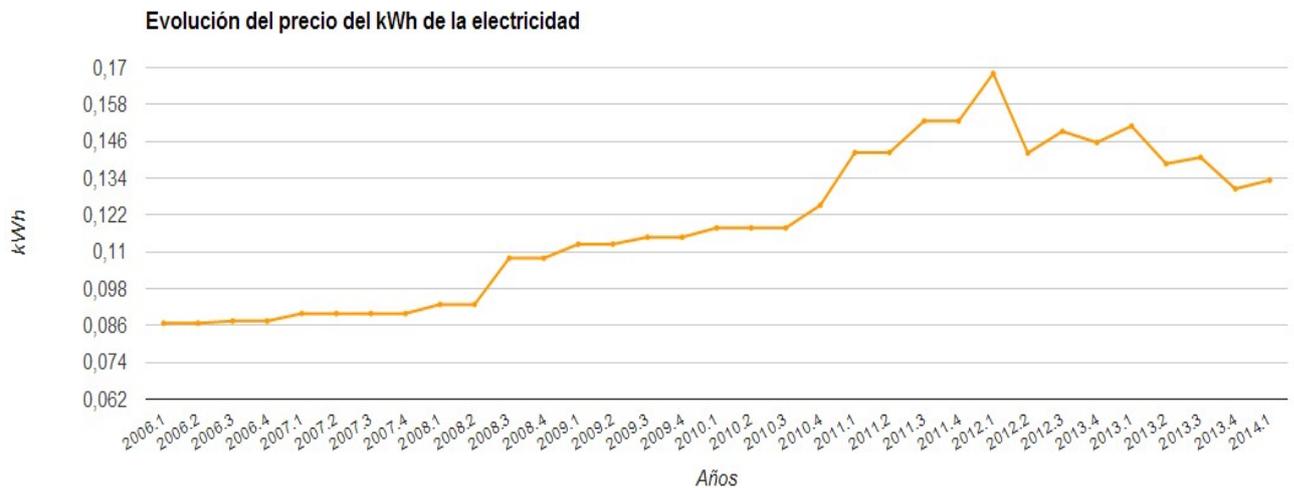
**Ecuación 3-14 Cálculo del “real discount rate”.**

Donde

- $i_n$  es el tipo de interés correspondiente al préstamo destinado a hacer frente a los gastos. En este caso es 0 debido a que se supuso que el proyecto sería financiado por el Ministerio de Defensa y por tanto no se contrataría un préstamo a una entidad bancaria.
- $i_f$  es el valor de la inflación del país. Se tomó el valor de la media de las inflaciones obtenidas en España cada año desde 2009 hasta 2015, obteniendo como resultado una inflación del 1,18% [37].

Tras la aplicación de la fórmula se obtuvo que  $i = -0,01166$ .

Para el cálculo de los parámetros no se tuvo en cuenta la tendencia del precio de la electricidad, que es ascendente como se observa en la Figura 3-36. El aumento del precio favorecería la rentabilidad de la instalación pues se aumentarían los beneficios, pero adoptando una postura conservadora se consideró que se mantendrá constante durante los 25 años.



**Figura 3-36 Evolución del precio del kWh de la electricidad [38].**

El valor del NPV indicará cuánto dinero se habrá ganado al terminar la vida útil de la instalación. Si el valor es negativo, significará que se ha perdido dinero y por lo tanto el proyecto no es rentable. Si es positivo, la inversión es rentable. Además de calcularlo para el año 25, se calculó el NPV y el SIR para cada año teniendo en cuenta los costes y beneficios hasta ese momento, de forma que el año en el que el NPV pase de ser negativo a positivo será el año en el que la instalación estará amortizada. Dichos cálculos se realizaron mediante una hoja de cálculo de Excel.

Tras obtener los valores de NPV y SIR se realizó un gráfico de líneas de tiempo frente a dinero, en el que se representan los costes con una línea roja y los beneficios con una verde a lo largo de los 25 años de vida útil. El punto en el que se cortan ambas líneas es el punto de amortización, a partir del cual se ha recuperado la inversión.

### 3.5.6 *Análisis de sensibilidad*

Una vez realizado el cálculo de la amortización y rentabilidad del proyecto, se pasó a efectuar un análisis de sensibilidad, que consiste en variar diversos parámetros que influyen en los resultados económicos de la instalación de forma que se pueda estimar como afecta cada variable a los resultados y qué pasaría si alguna de ellas se modifica en el futuro.

Por lo tanto se realizó dicho análisis observando la variación del NPV y del SIR, para apreciar si la instalación deja de ser rentable o si aumenta o disminuye sus beneficios tras las variaciones.

Las variables seleccionadas para dicho análisis fueron las que afectan directamente a los resultados y además son susceptibles de sufrir cambios durante la vida útil de la instalación. Fueron:

- El precio de venta de la electricidad. Afecta a los beneficios obtenidos y, como ya se ha indicado anteriormente, sufre fluctuaciones, además de tener una tendencia ascendente en el tiempo.
- Rendimiento del panel ( $\eta_{panel}$ ). Se ha supuesto un panel con eficiencia del 15% como valor genérico para paneles de capa delgada, aunque es posible que en una hipotética instalación real se escoja un panel con otro valor de eficiencia. Un cambio en la eficiencia modifica la potencia de pico y por tanto la energía eléctrica producida, lo que afecta tanto a costes como a beneficios.
- Precio “llave en mano” de la instalación. Este parámetro tiene una tendencia descendente en el tiempo, y su valor se ha estimado en función del mercado actual. Sin embargo en el futuro se irá reduciendo cada vez más, a un ritmo difícil de predecir. Afecta a la inversión inicial necesaria para instalar el sistema fotovoltaico.
- Costes de operación y mantenimiento. Al igual que el parámetro anterior, los costes asociados al mantenimiento y operación de la instalación tienen una tendencia descendente y se reducen cada año.
- Real discount rate ( $i$ ). Esta variable depende de la inflación de España a lo largo de la vida útil de la instalación. Afecta al valor actual de las ganancias previstas para años futuros.

Tras seleccionar las variables, se empleó la hoja de cálculo de Excel utilizada para el cálculo descrito en el apartado 3.5.5 para calcular las variaciones en el NPV y SIR al modificar las variables. Cada una de las variables se redujo y se aumentó en un 25, 50 y 75 % y se anotaron los valores obtenidos para NPV y SIR. Tras esto, se representaron todas las tendencias del NPV según las cinco variables en un gráfico, repitiendo después el proceso para el SIR.

## 4 RESULTADOS

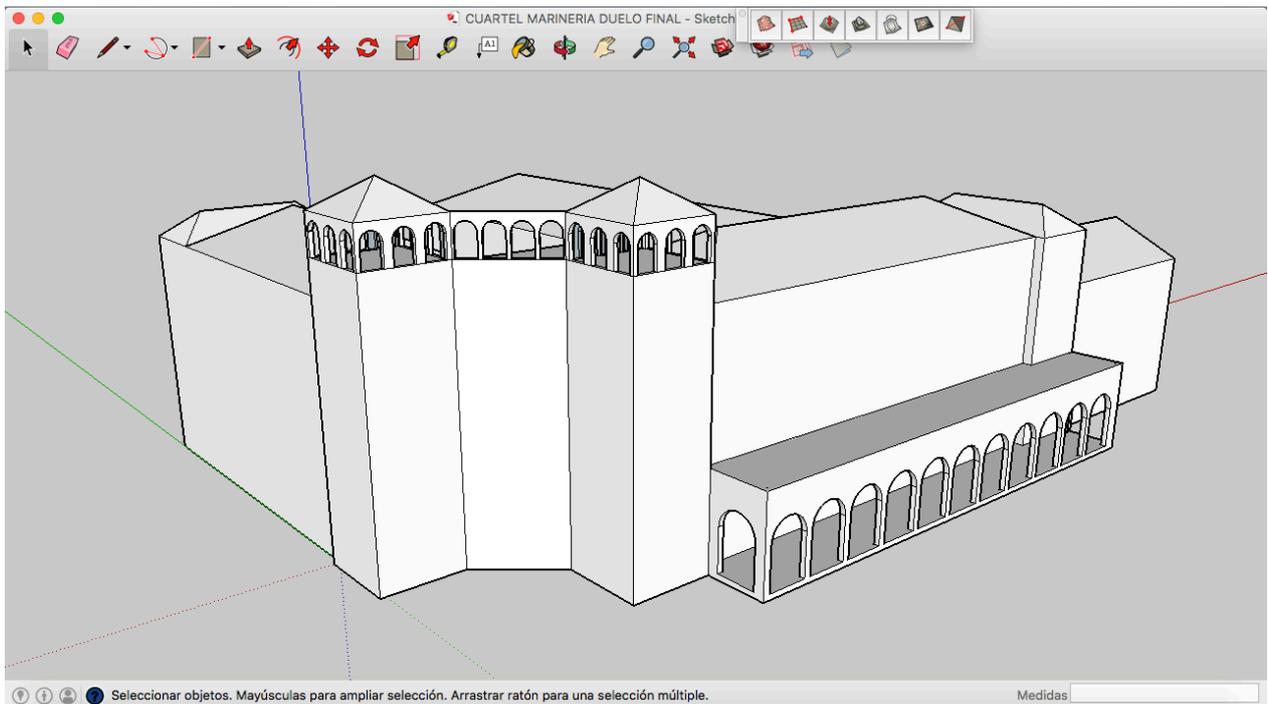
### 4.1 Comentarios generales

Tras describir detalladamente en el Desarrollo los diferentes procedimientos, métodos, mediciones, simulaciones y cálculos realizados a lo largo del trabajo, se expondrán en el presente apartado los resultados obtenidos a partir de todos esos procesos. Se procederá a interpretar y analizar dichos resultados, para posteriormente poder sacar unas conclusiones finales del trabajo.

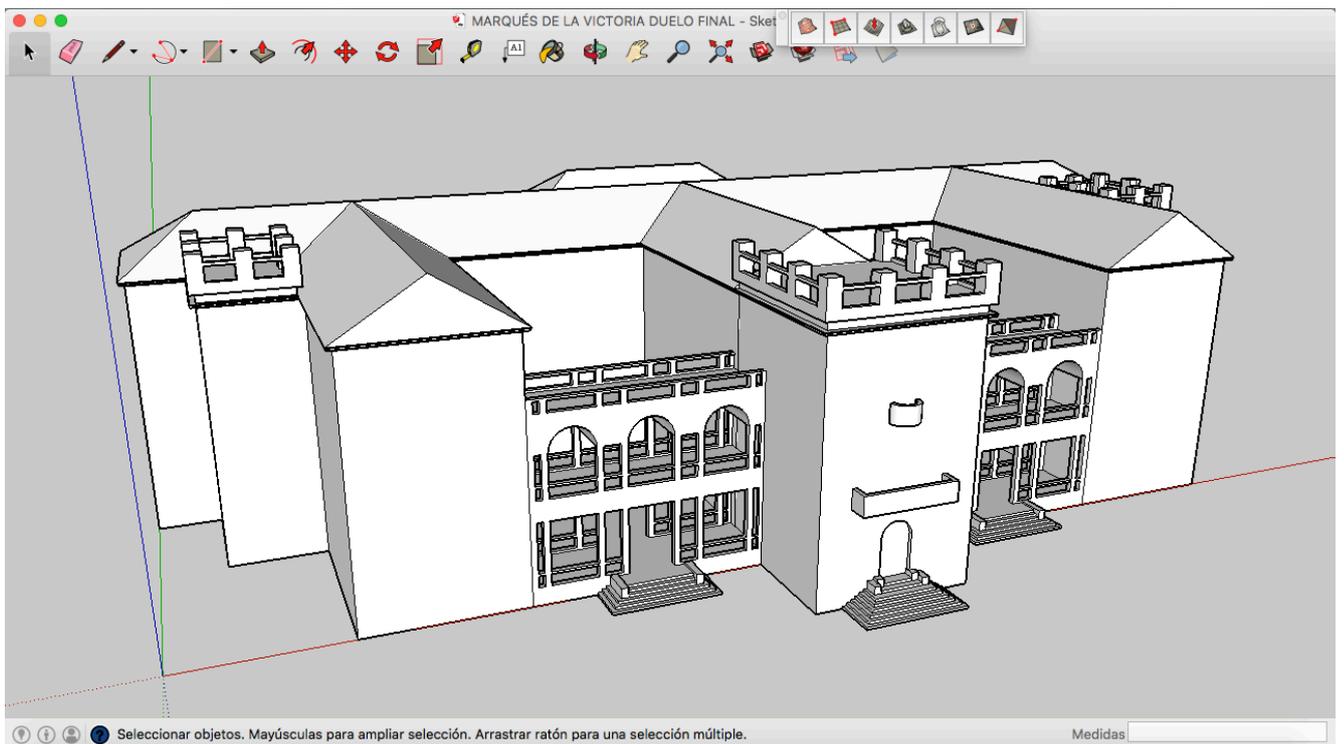
### 4.2 Diseño 3D

#### *4.2.1 Modelado de edificios*

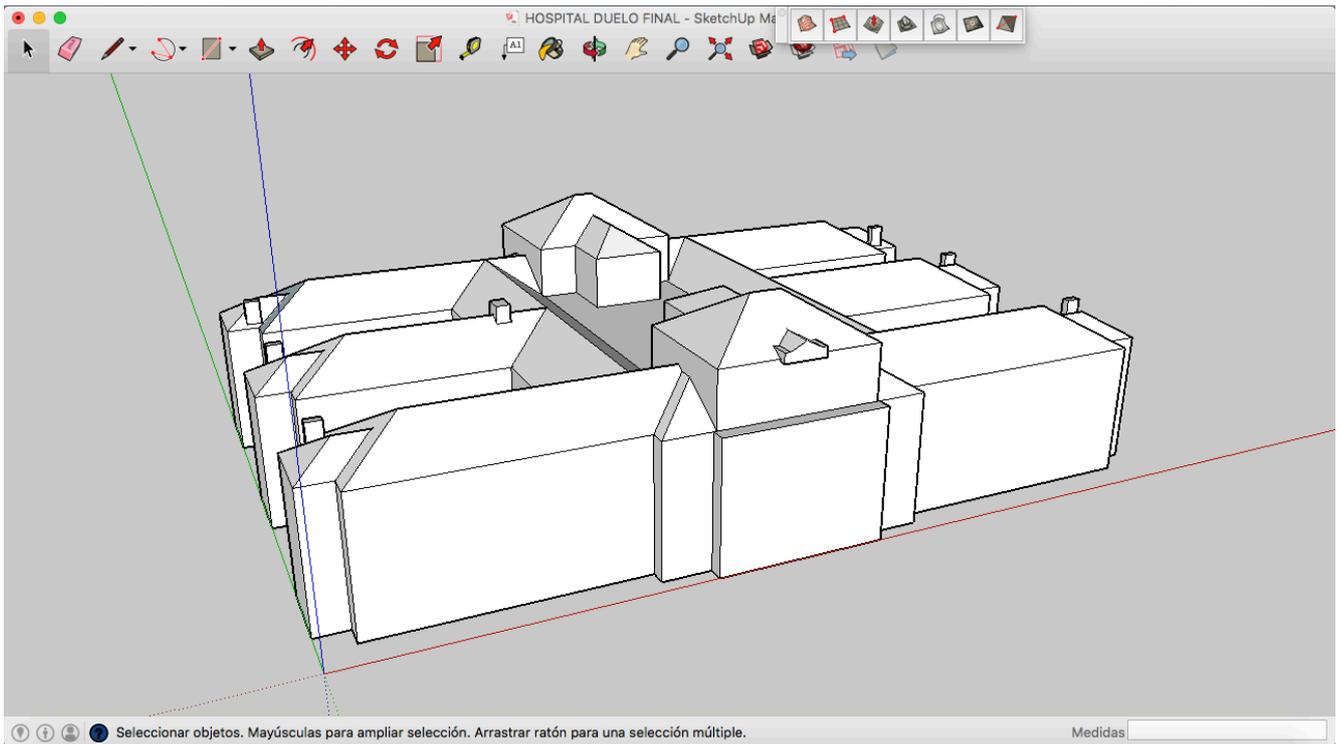
Como resultado del proceso de modelado descrito en el apartado 3.2.6, se expondrán a continuación los modelados tridimensionales finales de los edificios seleccionados para la estimación del potencial fotovoltaico que se usaron posteriormente para efectuar la simulación (Figura 4-1 a Figura 4-8). Debe señalarse que en este apartado solo se expondrán los modelados llevados a cabo por el autor de este trabajo, mientras que los modelados correspondientes al autor de [39] se utilizarán en la simulación posterior pero no se muestran aquí por no haberse realizado en el desarrollo de este trabajo.



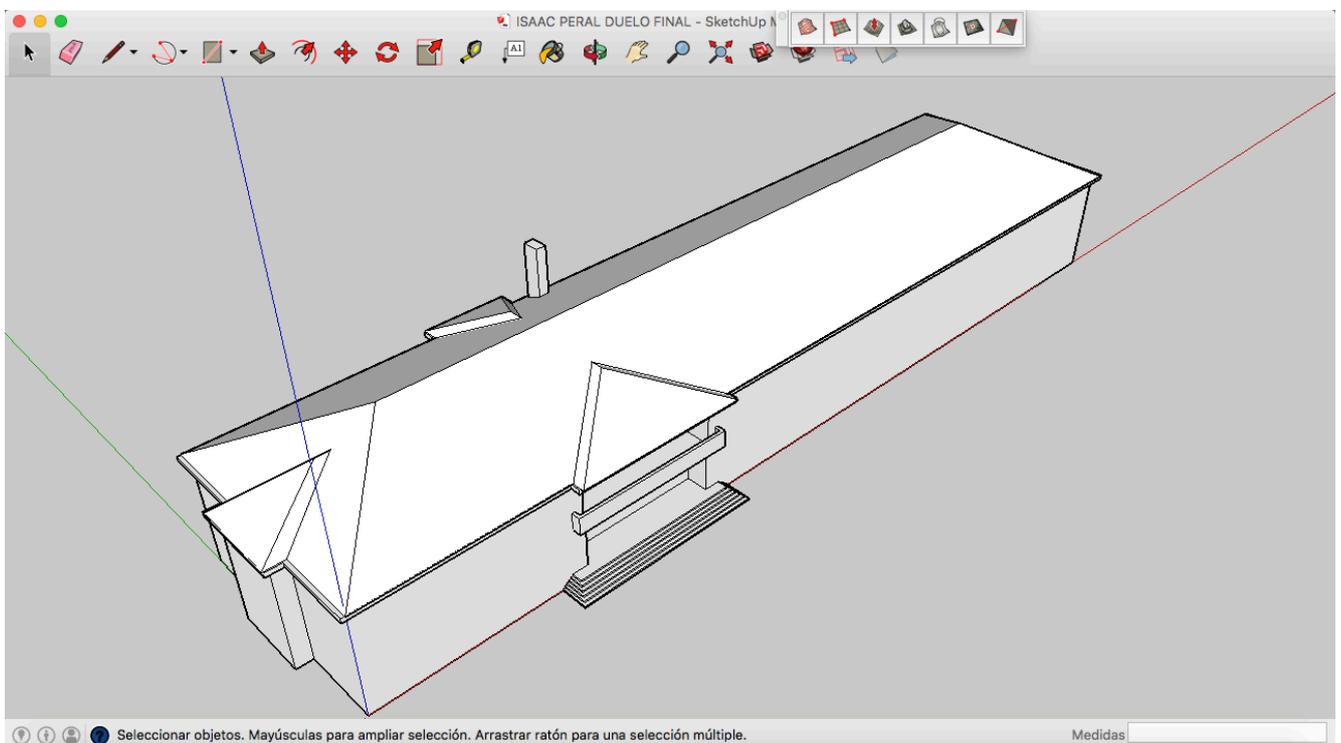
**Figura 4-1 Modelado tridimensional del Cuartel de marinería “Méndez Núñez” de la Escuela Naval Militar.**



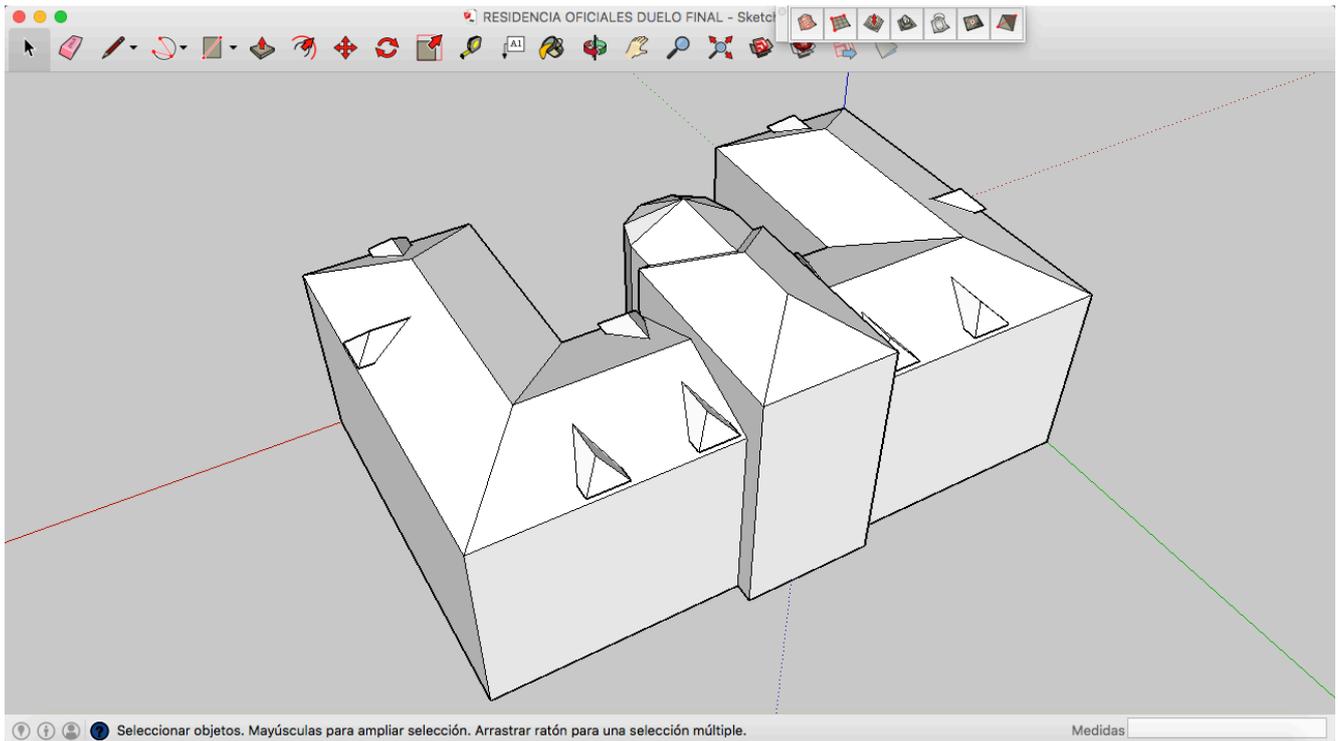
**Figura 4-2 Modelado tridimensional del Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria” de la Escuela Naval Militar.**



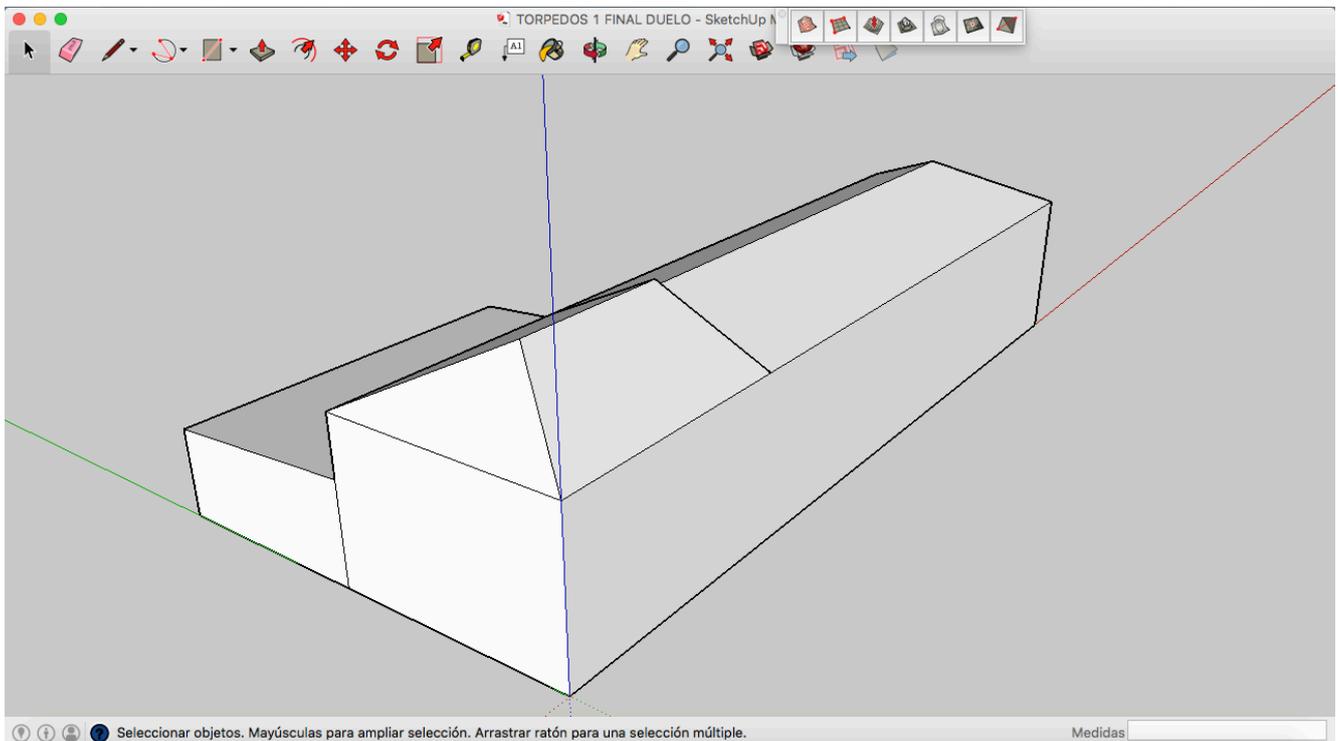
**Figura 4-3 Modelado tridimensional del Hospital de la Escuela Naval Militar.**



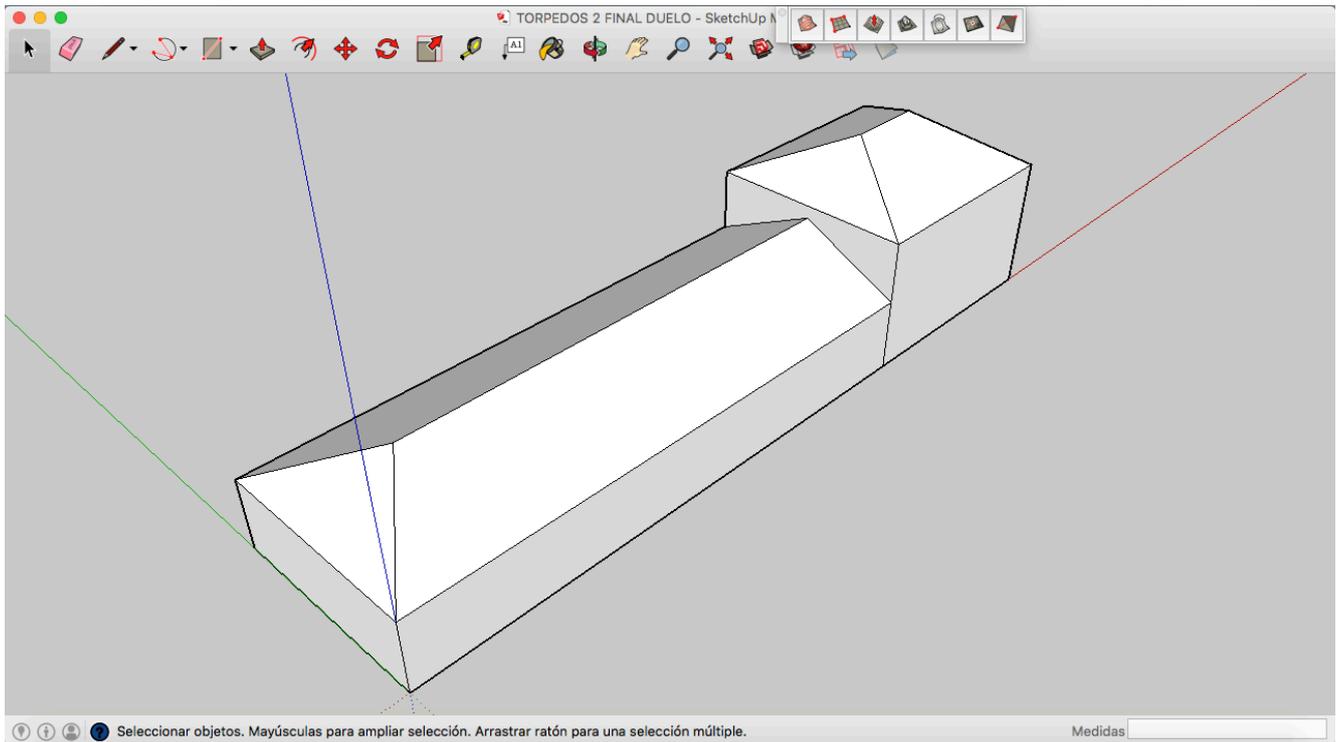
**Figura 4-4 Modelado tridimensional del Edificio de aulas "Isaac Peral" de la Escuela Naval Militar.**



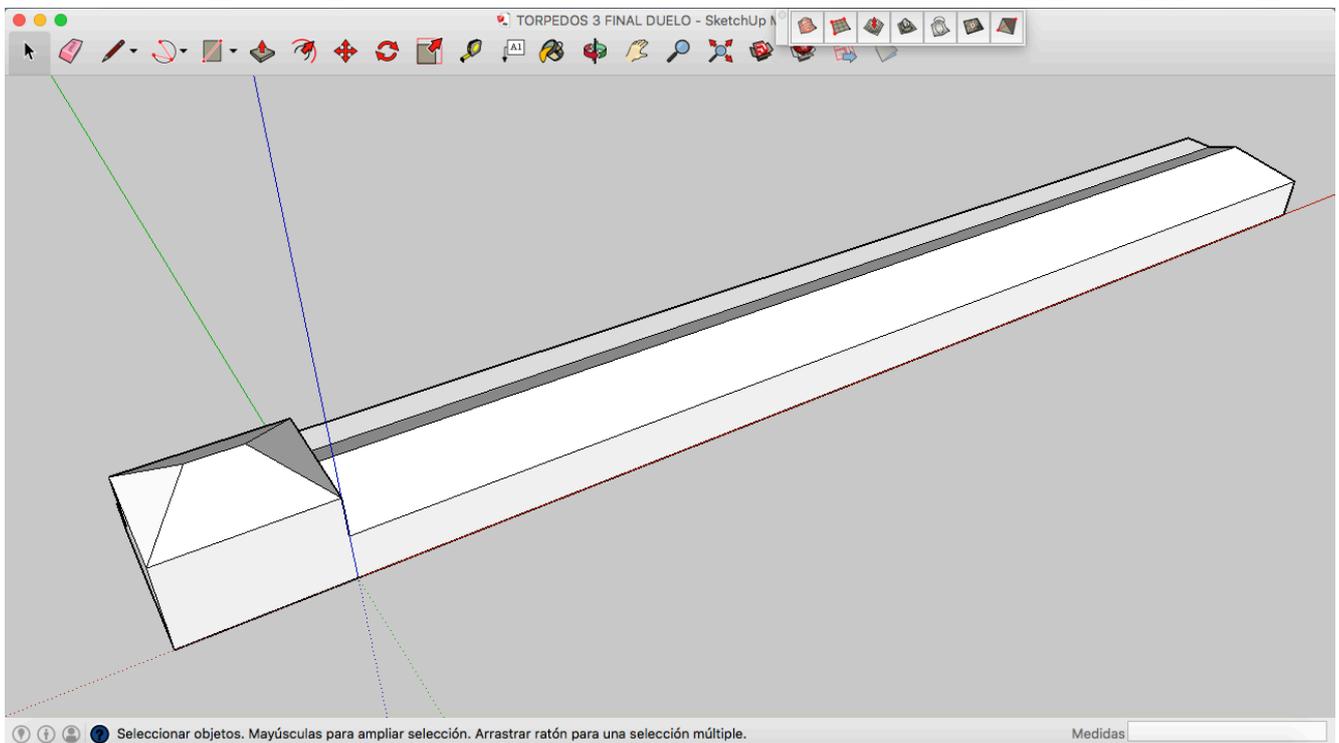
**Figura 4-5 Modelado tridimensional de la Residencia de oficiales “Javier Quiroga” de la Escuela Naval Militar.**



**Figura 4-6 Modelado tridimensional del Edificio 1 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.**



**Figura 4-7 Modelado tridimensional del Edificio 2 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.**



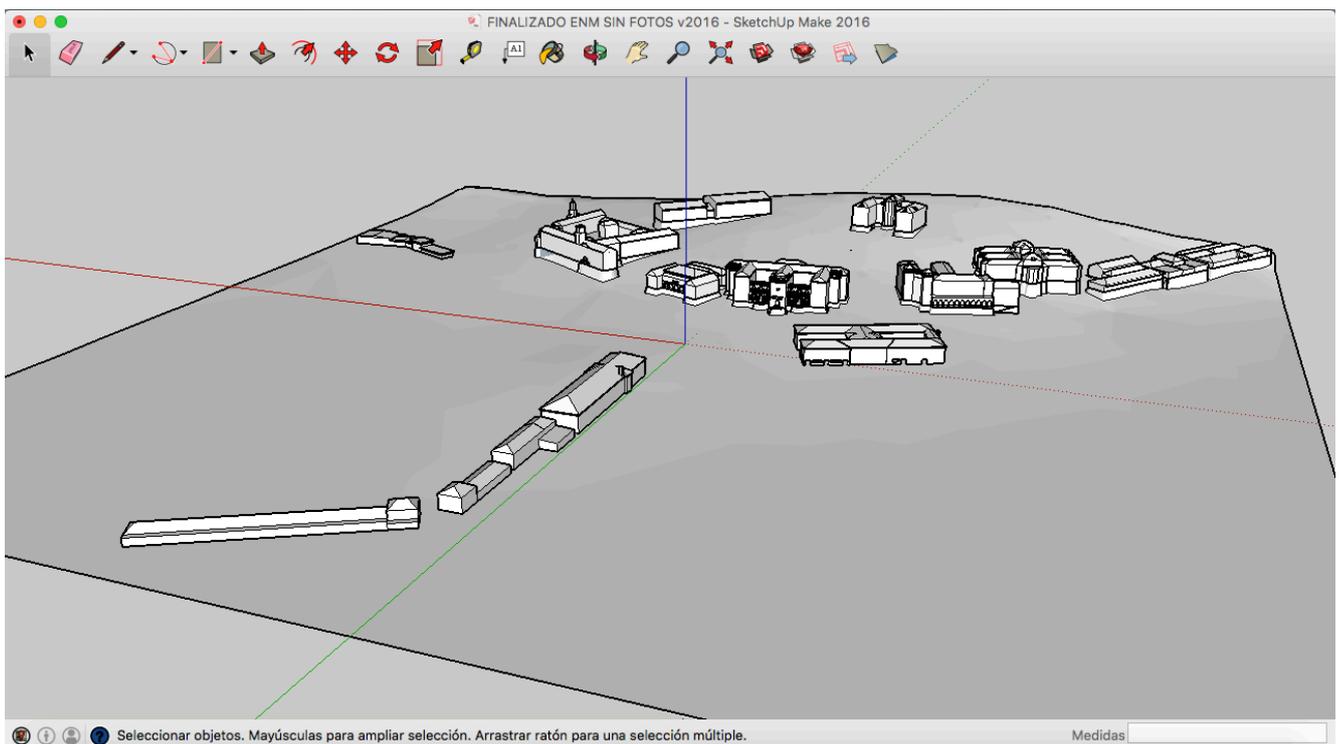
**Figura 4-8 Modelado tridimensional del Edificio 3 del muelle de torpedos de la Escuela Naval Militar.**

### 4.2.2 Geolocalización y geometría del terreno

En la Figura 4-9 se puede observar el resultado del proceso llevado a cabo para añadir la localización geográfica al modelo, así como para añadir la geometría del terreno.

La opción añadir localización de SketchUp permitió la colocación y orientación de los edificios de manera precisa, y se consiguió proporcionar la altura correcta a cada edificio mediante la geometría del terreno, que reprodujo con exactitud la montaña que nace en la zona sur de la ENM.

El resultado es apto para la simulación en la que se obtuvo la irradiación solar incidente sobre los edificios.

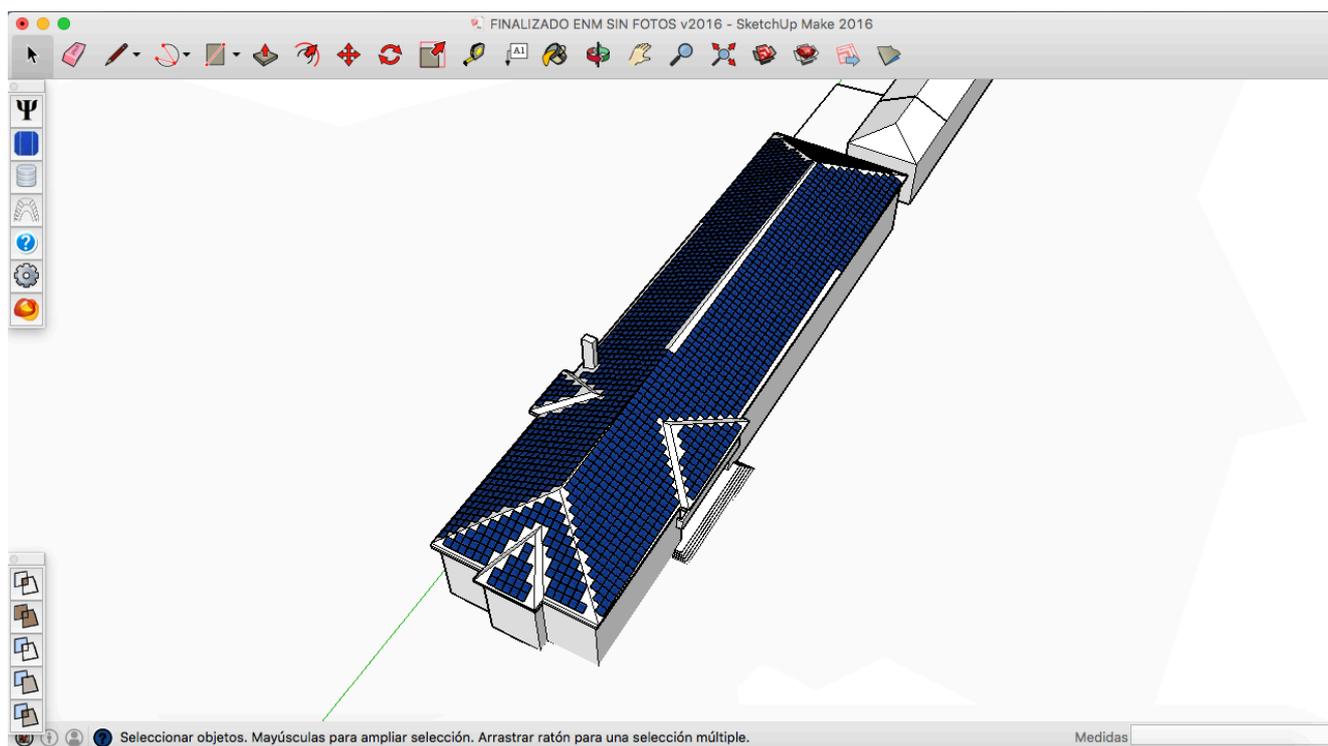


**Figura 4-9** Modelo tridimensional de la Escuela Naval Militar, incorporando localización geográfica y geometría del terreno.

## 4.3 Simulación

### 4.3.1 Inserción de paneles fotovoltaicos en las cubiertas

El software Skelion permitió la inserción de paneles fotovoltaicos sobre los tejados de los edificios de manera satisfactoria. El objetivo era poder simular la irradiación incidente sobre las cubiertas, por lo que se necesitaba que la distribución de paneles ocupase la máxima superficie posible de tejado. Como se puede observar en la Figura 4-10, en el caso del edificio de aulas “Isaac Peral” así como en los demás, los paneles ocupan la inmensa mayoría de la superficie del tejado, permitiéndonos realizar una simulación bastante precisa. La elección de un panel genérico de  $1 \text{ m}^2$  de área se demostró acertada, así como los parámetros elegidos para definir la distribución, ya que la distribución de paneles fue uniforme y completa.



**Figura 4-10** Resultado de la inserción de paneles en el tejado del Edificio de aulas “Isaac Peral” mediante el software Skelion.

### 4.3.2 Simulación con PVGIS

La herramienta online PVGIS, según el procedimiento descrito en el apartado 3.3.5, permitió simular correctamente los datos de irradiación necesarios para el estudio energético. Dichos datos se recopilaban en una hoja de cálculo de Excel que contiene la irradiación mensual de cada cara del tejado de cada edificio, así como la irradiación total anual. En los Anexos II y III se pueden consultar estos datos.

## 4.4 Estudio energético

### 4.4.1 Superficie de tejado

Para el cálculo tanto de la irradiación solar ponderada como de la potencia de pico de la instalación era necesario calcular previamente la superficie de tejado de cada edificio como se indica en el apartado 3.4.4. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4-1.

Cabe destacar las considerables diferencias existentes entre los edificios de mayor superficie y los de menor área de tejado. A menor superficie, menor espacio para la instalación de paneles por lo que la capacidad para producir energía eléctrica será menor. Sin embargo la irradiación solar global, a pesar de calcularse mediante un coeficiente que incluye la superficie de tejado, no dependerá del tamaño del edificio puesto que se expresa en  $\frac{kWh}{m^2}$ .

| Superficie total de tejado de cada edificio |                    |
|---|--------------------|
| Edificio                                    | $S_{tejado} (m^2)$ |
| Aula 14                                     | 128,87             |
| Barrio Industrial Sur                       | 317,04             |
| Barrio Industrial Talleres                  | 1392,48            |
| Bazar                                       | 132,4              |
| Casino de alumnos                           | 1856,03            |
| Cuartel Francisco Moreno                    | 3135,27            |
| Cuartel Marinería                           | 2202,84            |
| Cuartel Marqués de la Victoria              | 2696,67            |
| Edificio correos                            | 645,88             |
| Edificio CUD                                | 1554,51            |
| Edificio Dep. Táctica                       | 858,72             |
| Hospital                                    | 2171,89            |
| Imprenta                                    | 350,3              |
| Isaac Peral                                 | 2242,11            |
| Jefatura de Estudios                        | 677,9              |
| Jefatura de Instrucción                     | 1439,64            |
| Lavandería                                  | 513,4              |
| Polideportivo                               | 2463,22            |
| Residencia Oficiales                        | 1212,79            |
| Sección de Obras                            | 1207,56            |
| Taller de automóviles 1                     | 414,66             |
| Taller de automóviles 2                     | 1138,28            |
| Torpedos 1                                  | 771,12             |
| Torpedos 2                                  | 604,67             |
| Torpedos 3                                  | 1885,02            |
| Túnel del Viento                            | 247,05             |

**Tabla 4-1 Superficie de tejado de cada edificio analizado de la ENM.**

#### 4.4.2 Análisis de la irradiación solar

##### 4.4.2.1 Irradiación solar anual por edificio

Tras los cálculos para obtener los valores de irradiación solar anual ponderados para cada edificio, se obtuvieron los resultados visibles en la Tabla 4-2, ordenados de mayor a menor irradiación.

| Edificio                       | Irradiación solar anual incidente ( $\frac{kWh}{m^2}$ ) |
|--------------------------------|---|
| Túnel del Viento               | 1615  |
| Jefatura de Instrucción        | 1566  |
| Polideportivo                  | 1543  |
| Cuartel Francisco Moreno       | 1527  |
| Torpedos 1                     | 1516  |
| Torpedos 2                     | 1512  |
| Taller de automóviles 2        | 1507  |
| Sección de Obras               | 1505  |
| Edificio CUD                   | 1504  |
| Imprenta                       | 1498  |
| Cuartel Marinería              | 1495  |
| Isaac Peral                    | 1494  |
| Residencia Oficiales           | 1493  |
| Edificio correos               | 1487  |
| Barrio Industrial Talleres     | 1486  |
| Edificio Dep. Táctica          | 1485  |
| Lavandería                     | 1485  |
| Torpedos 3                     | 1474  |
| Cuartel Marqués de la Victoria | 1466  |
| Taller de automóviles 1        | 1456  |
| Hospital                       | 1443  |
| Casino de alumnos              | 1441  |
| Jefatura de Estudios           | 1437  |
| Bazar                          | 1410  |
| Aula 14                        | 1402  |
| Barrio Industrial Sur          | 1391  |

**Tabla 4-2 Irradiación solar anual incidente sobre los tejados de los edificios de la ENM.**

Como se puede ver, los valores oscilan entre los 1350 y los 1650  $\frac{kWh}{m^2}$  aproximadamente, los cuales constituyen valores habituales para la zona en la que se ubica la ENM y las características de tamaño y orientación de los edificios. Incluso podría afirmarse que los valores obtenidos para los edificios como el Túnel del viento, Jefatura de instrucción o el Polideportivo son considerablemente altos. Para comparar entre sí las irradiaciones recibidas por los distintos edificios, se han realizado dos diagramas de barras, en los que aparece cada edificio con su correspondiente irradiación ordenados por orden alfabético y posteriormente ordenados de mayor a menor irradiación (Figura 4-11 y Figura 4-12). Como se puede apreciar, en general no existen grandes disparidades en los edificios, aunque resulta llamativa la alta irradiación recibida en el Túnel del Viento, teniendo en cuenta que se encuentra muy próximo al edificio de Jefatura de estudios y orientado de forma similar, y su radiación es significativamente superior.

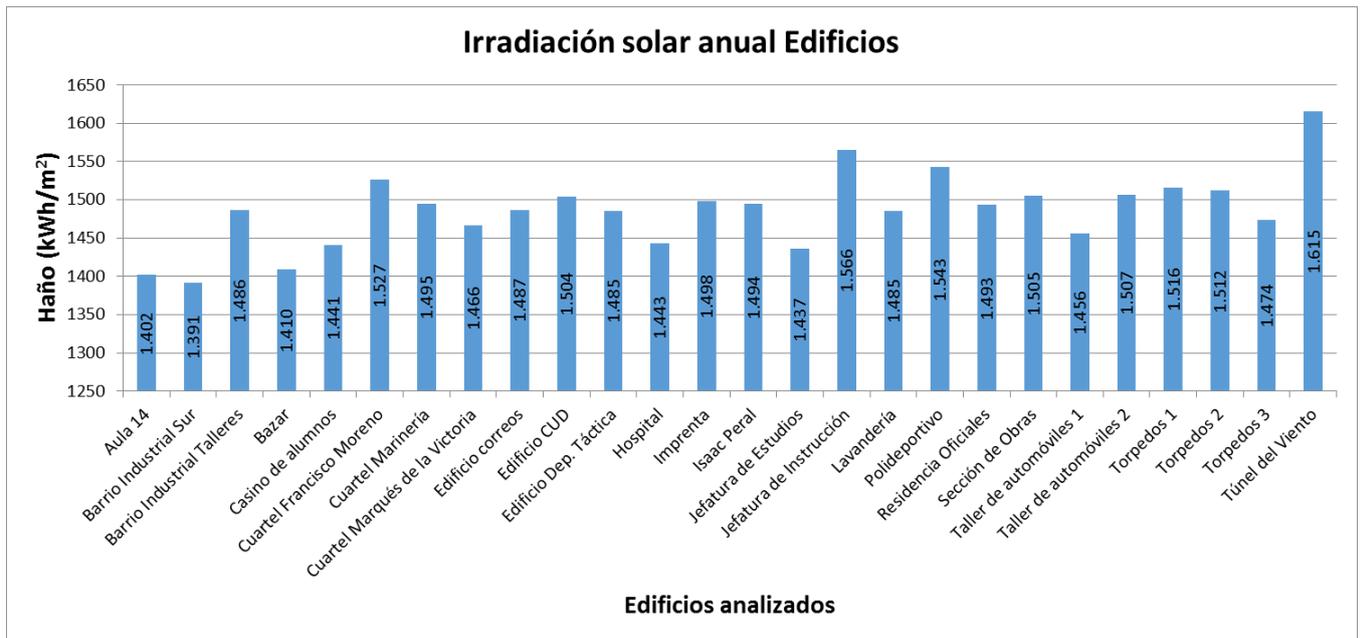


Figura 4-11 Diagrama de barras mostrando la irradiación solar anual incidente sobre cada edificio de la ENM.

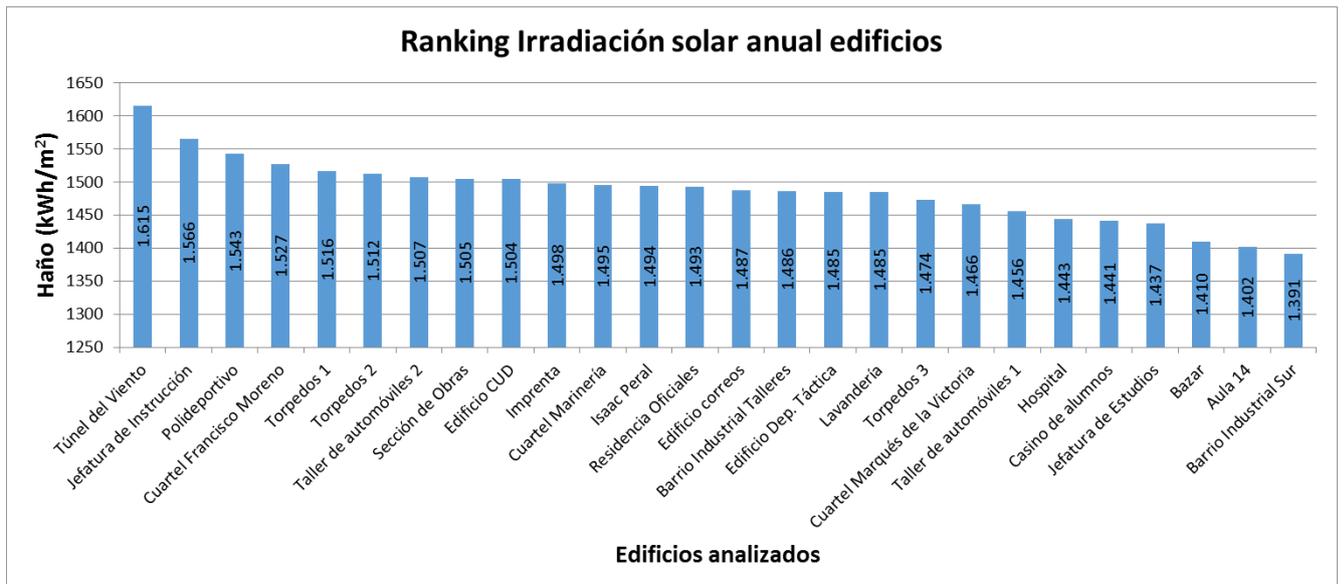


Figura 4-12 Diagrama de barras mostrando la irradiación solar anual incidente sobre cada edificio de la ENM, ordenados de mayor a menor irradiación recibida.

Otro aspecto llamativo de los resultados de la simulación es que no parece que éstos dependan de las zonas de la ENM en las que se encuentran los edificios. Los edificios están distribuidos por toda la

extensión de la ENM sin que exista una zona donde se concentren los de mayor o menor irradiación. En la Figura 4-14 se muestran los edificios analizados coloreados según una escala que denota la irradiación solar anual que reciben, y como se puede observar los valores de irradiación no dependen de la ubicación de los edificios. De este hecho puede extraerse la conclusión de que no existe ningún obstáculo que origine una zona “ciega”, ni ninguna zona que esté particularmente expuesta al sol con respecto a las demás. Por lo tanto, las diferencias en la irradiación solar que reciben los edificios tendrán su origen principalmente en la orientación e inclinación de los tejados. En la Figura 4-13 se muestra la escala de colores aplicada en la Figura 4-14 para apreciar visualmente la independencia de la irradiación recibida de los edificios respecto a su ubicación.

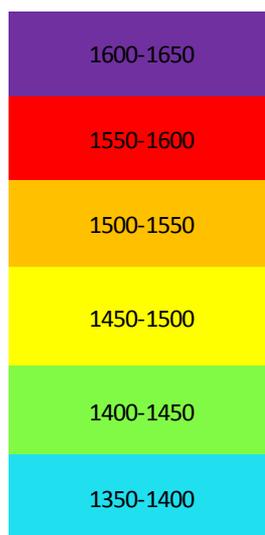


Figura 4-13 Escala de colores aplicada a la irradiación solar anual incidente en  $\frac{kWh}{m^2}$  sobre los edificios.

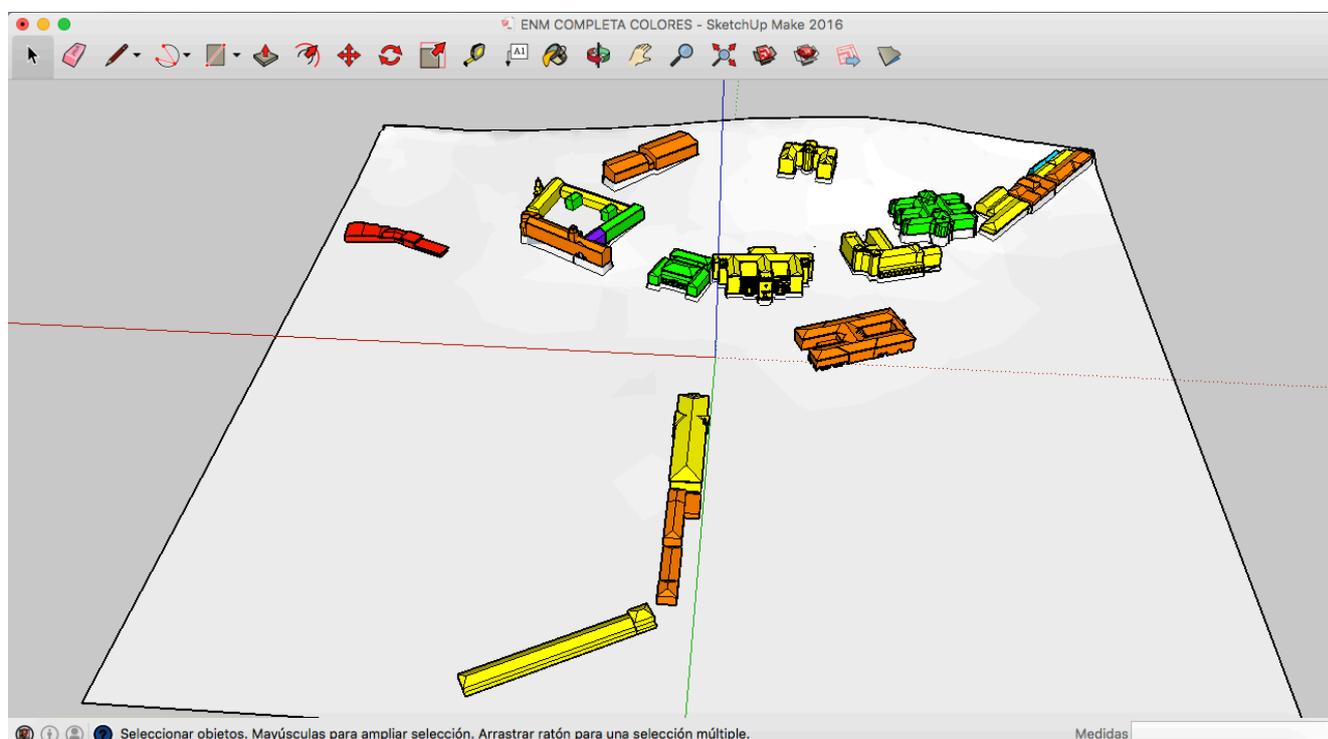


Figura 4-14 Distribución de los edificios analizados coloreados según los valores de irradiación solar incidente.

Además del análisis de los resultados de irradiación solar anual, se calcularon y representaron en un diagrama de barras las Horas Equivalentes de Sol (HES), que constituyen un parámetro

fundamental para el cálculo de la producción eléctrica de la instalación como se indica en el apartado 3.4.4. En la Figura 4-15 se pueden observar los resultados, destacando que, a pesar de tener el mismo valor numérico que la irradiación solar, sus unidades son diferentes.

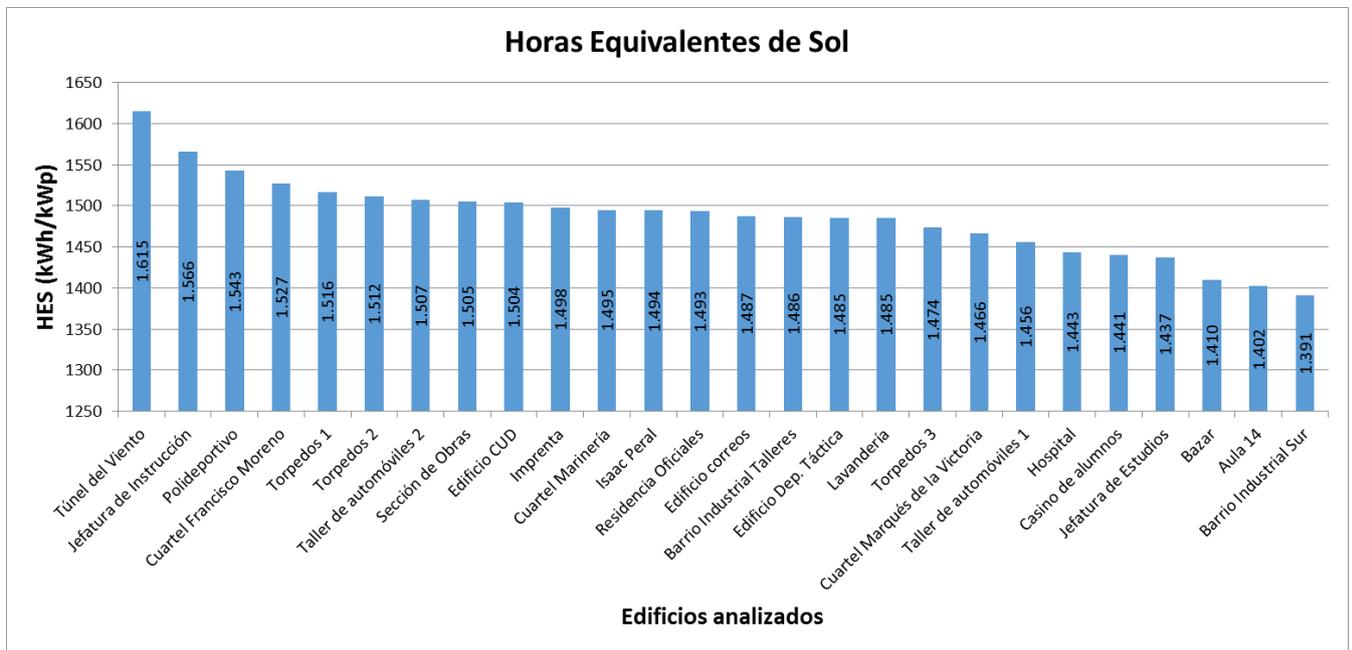


Figura 4-15 Diagrama de barras mostrando las Horas Equivalentes de Sol de cada edificio analizado de la ENM.

#### 4.4.2.2 Irradiación solar mensual por edificio

Tras el cálculo de las irradiaciones incidentes en los edificios por meses, se agruparon los resultados en una hoja de Excel recogida en el Anexo III. Los resultados muestran las diferencias en la irradiación solar que recibe cada edificio según el mes, de forma que como era de esperar, durante los meses de verano los valores de irradiación fueron mayores y durante los meses de invierno menores. En concreto, el mes durante el cual todos los edificios recibieron la mayor cantidad de irradiación fue julio, mientras que diciembre siempre fue el mes de menor irradiación recibida. Los valores de irradiación mensual más altos varían entre los 185 y los 213  $\frac{kWh}{m^2}$  en el mes de julio dependiendo del edificio, y los más bajos oscilan entre los 44 y los 53  $\frac{kWh}{m^2}$  en el mes de diciembre.

A fin de realizar una comparativa entre los edificios y visualizar entre qué valores se mantienen las irradiaciones mensuales, se representaron los datos obtenidos sobre un diagrama de cajas y bigotes. En la Figura 4-16 se observa que los edificios de mayor irradiación anual (apartado 4.4.2.1) cuentan como es lógico con unos valores de irradiación mensual mayores a los demás, lo que demuestra que los resultados son coherentes. Además, se concluye de este diagrama que la distribución de la irradiación por meses es similar en todos los edificios. Cabe destacar también que la irradiación mensual media (punto amarillo en la Figura 4-16) se mantiene en todos los edificios entre los 125 y los 135  $\frac{kWh}{m^2}$ .

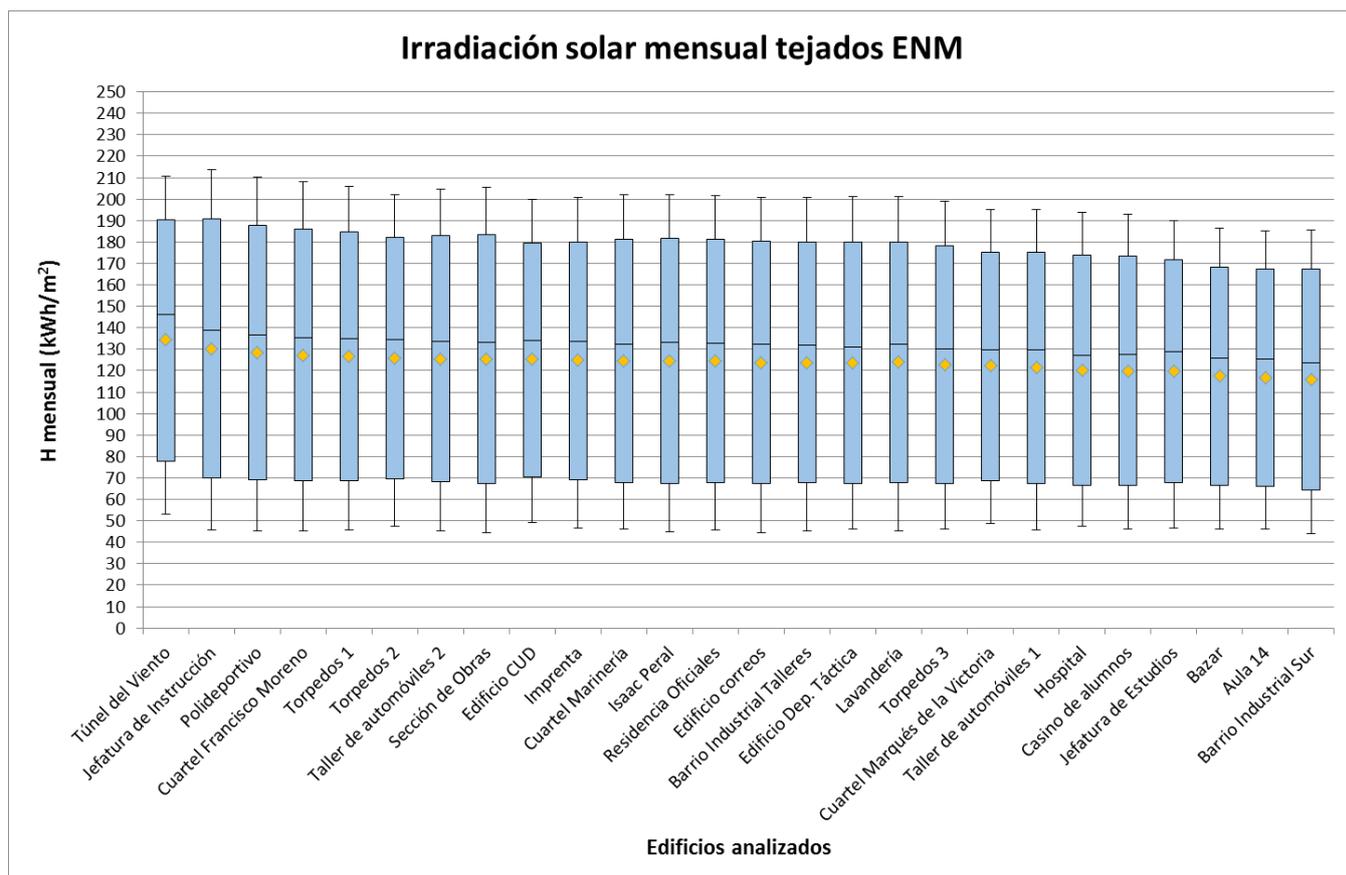


Figura 4-16 Diagrama de cajas y bigotes representando la irradiación mensual incidente sobre los edificios analizados de la ENM.

#### 4.4.3 Potencia de pico de la instalación

Tras la realización del cálculo correspondiente a la potencia de pico de la instalación de cada edificio, se recogieron los resultados en la Tabla 4-3. Se observa que la potencia de pico varía mucho de un edificio a otro. Esto se debe fundamentalmente a la superficie de los tejados, de forma que los edificios que tienen mucha superficie disponible para la instalación contarán con mayor potencia de pico, pues se podrán instalar más paneles sobre él.

Las potencias de pico de los edificios oscilan entre los 19 y los 470 kWp, siendo el edificio con mayor potencia de pico el cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno” y el edificio con menor potencia de pico el Aula 14 (Figura 4-17).

Sumando las potencias de pico de cada edificio obtenemos la potencia de pico de la instalación propuesta para la ENM. El resultado es una potencia de pico de 4839 kWp o, lo que es lo mismo, 4,8 MWp. Se debe destacar que esta potencia es considerablemente alta teniendo en cuenta la postura conservadora adoptada durante los cálculos, y constituye un indicador de que la instalación puede dar un resultado satisfactorio. Sin embargo, debe tenerse en cuenta también que este valor corresponde al que se obtendría suponiendo que la instalación se llevase a cabo en los 26 edificios analizados y todos funcionasen a su máxima capacidad simultáneamente.

| Potencia de pico (P*) instalada en cada edificio |          |
|--|----------|
| Edificio   | P* (kWp) |
| Aula 14  | 19,3305  |
| Barrio Industrial Sur                            | 47,556   |
| Barrio Industrial Talleres                       | 208,872  |
| Bazar  | 19,86    |
| Casino de alumnos                                | 278,4045 |
| Cuartel Francisco Moreno                         | 470,2905 |
| Cuartel Marinería                                | 330,426  |
| Cuartel Marqués de la Victoria                   | 404,5005 |
| Edificio correos                                 | 96,882   |
| Edificio CUD                                     | 233,1765 |
| Edificio Dep. Táctica                            | 128,808  |
| Hospital   | 325,7835 |
| Imprenta   | 52,545   |
| Isaac Peral                                      | 336,3165 |
| Jefatura de Estudios                             | 101,685  |
| Jefatura de Instrucción                          | 215,946  |
| Lavandería                                       | 77,01    |
| Polideportivo                                    | 369,483  |
| Residencia Oficiales                             | 181,9185 |
| Sección de Obras                                 | 181,134  |
| Taller de automóviles 1                          | 62,199   |
| Taller de automóviles 2                          | 170,742  |
| Torpedos 1                                       | 115,668  |
| Torpedos 2                                       | 90,7005  |
| Torpedos 3                                       | 282,753  |
| Túnel del Viento                                 | 37,0575  |

**Tabla 4-3 Potencia de pico de la instalación fotovoltaica de cada edificio.**

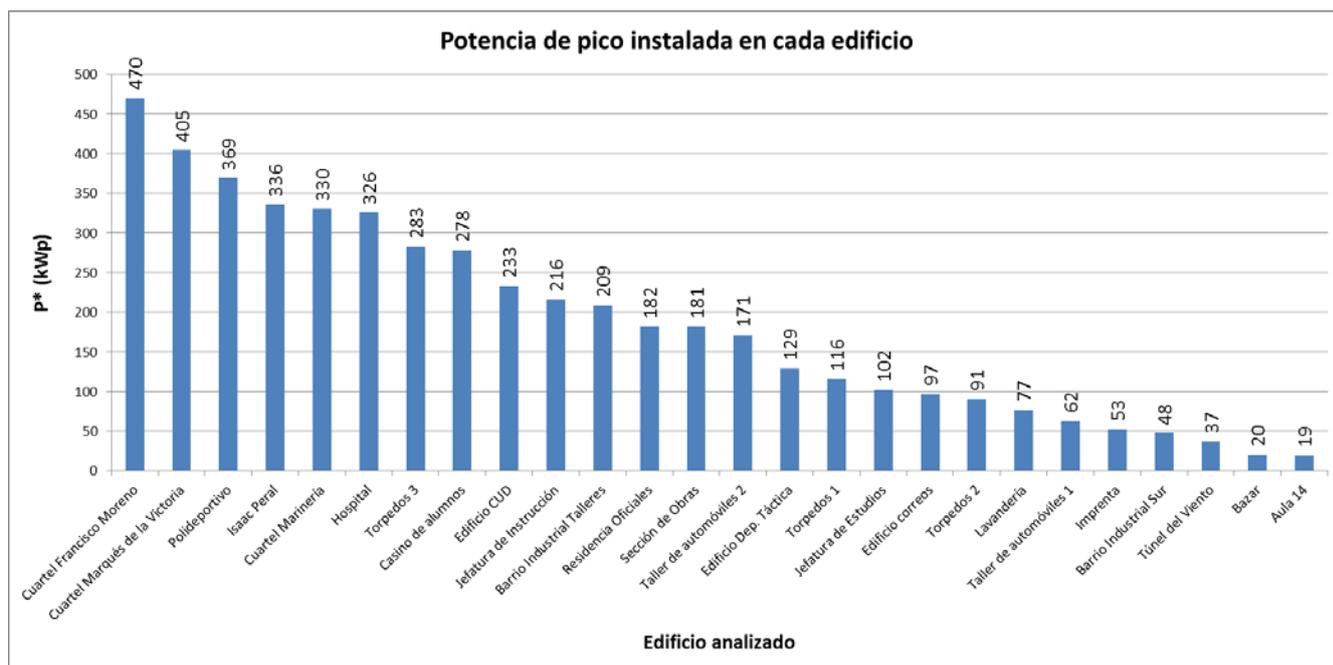


Figura 4-17 Diagrama de barras mostrando la potencia de pico instalada en cada edificio analizado.

#### 4.4.4 Producción anual de energía eléctrica

Una vez conocidas las variables necesarias para calcular la energía eléctrica producida, se aplicó la fórmula descrita en el apartado 3.4.4 obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4-4 relativos a la electricidad producida por cada edificio en el período de un año.

Se puede apreciar cómo de nuevo los valores obtenidos para distintos edificios varían considerablemente. Esto se debe principalmente a dos factores: la potencia de pico de cada edificio y la irradiación solar incidente. Los diferentes valores de estas variables determinan las diferencias en la producción de electricidad para cada edificio.

La generación eléctrica varía entre los 502.583 kWh al año para el edificio más productivo (Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”) y los 18.976 kWh al año para el edificio menos productivo (Aula 14). En la Figura 4-18 se muestra un diagrama de barras representando la producción eléctrica de todos los edificios ordenados de mayor a menor generación. Llama la atención que el orden seguido en el caso de la producción eléctrica es el mismo que el orden seguido en la Figura 4-17 en la que se ordena los edificios de mayor a menor potencia de pico. Este hecho demuestra que la variable determinante para la producción eléctrica de la instalación fotovoltaica es la potencia de pico de la misma, siendo un factor secundario la irradiación solar incidente. Por lo tanto, la generación eléctrica de una instalación fotovoltaica dependerá fundamentalmente de la cantidad de paneles fotovoltaicos (potencia de pico), y en menor medida de la ubicación y la orientación (irradiación solar).

Para conocer la generación eléctrica total anual de la instalación fotovoltaica completa de la ENM se sumaron las producciones eléctricas de cada edificio, obteniendo una producción eléctrica total de 5.057.527,825 kWh o, lo que es lo mismo, 5.057,53 MWh. Como era de esperar dado el resultado de la potencia de pico total expuesta en el apartado anterior, la producción eléctrica anual de la ENM mediante la instalación propuesta es destacablemente alta.

| Generación eléctrica anual por edificio |                 |
|---|-----------------|
| Edificio                                | $E_{año}$ (kWh) |
| Aula 14                                 | 18975,5263      |
| Barrio Industrial Sur                   | 46310,17071     |
| Barrio Industrial Talleres              | 217334,7415     |
| Bazar                                   | 19596,69016     |
| Casino de alumnos                       | 280754,9022     |
| Cuartel Francisco Moreno                | 502583,2323     |
| Cuartel Marinería                       | 345715,4058     |
| Cuartel Marqués de la Victoria          | 415234,0421     |
| Edificio correos                        | 100851,7981     |
| Edificio CUD                            | 245495,2378     |
| Edificio Dep. Táctica                   | 133895,916      |
| Hospital                                | 329155,5547     |
| Imprenta                                | 55091,88242     |
| Isaac Peral                             | 351801,2516     |
| Jefatura de Estudios                    | 102268,499      |
| Jefatura de Instrucción                 | 236681,9123     |
| Lavandería                              | 80051,895       |
| Polideportivo                           | 398951,8556     |
| Residencia Oficiales                    | 190142,1258     |
| Sección de Obras                        | 190800,8318     |
| Taller de automóviles 1                 | 63393,2208      |
| Taller de automóviles 2                 | 180130,5562     |
| Torpedos 1                              | 122760,4032     |
| Torpedos 2                              | 95988,64753     |
| Torpedos 3                              | 291657,8533     |
| Túnel del Viento                        | 41903,67233     |

**Tabla 4-4 Generación eléctrica anual por edificio analizado en la ENM.**

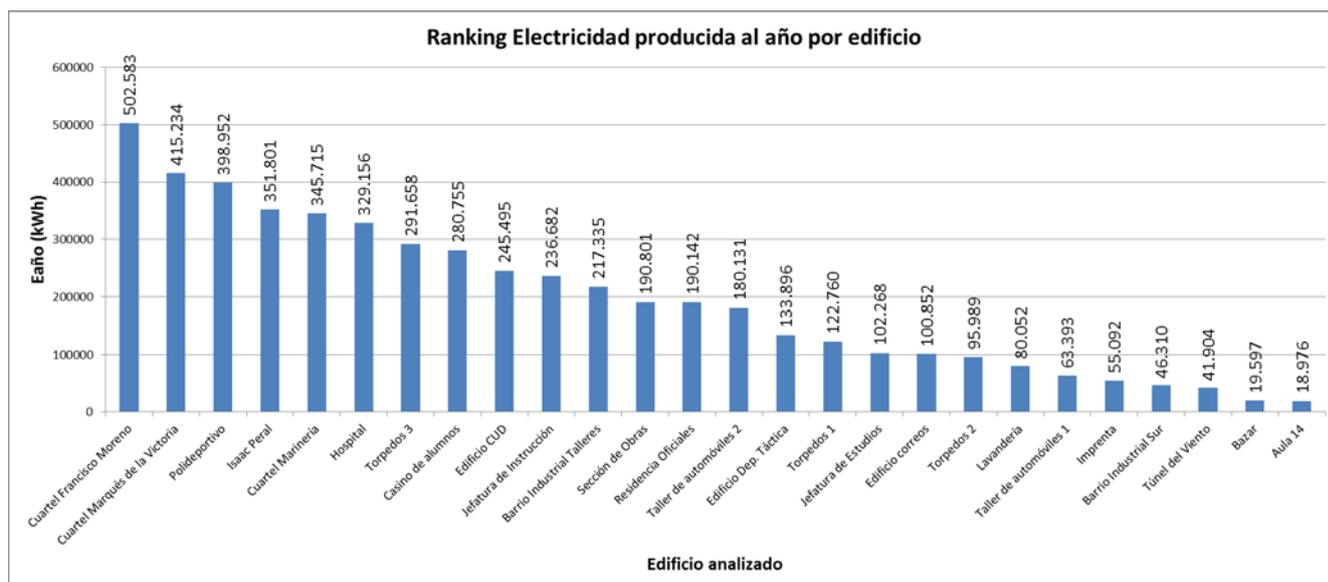


Figura 4-18 Diagrama de barras mostrando la producción eléctrica anual de cada edificio analizado.

#### 4.4.5 Consumos eléctricos y ratio de autoabastecimiento

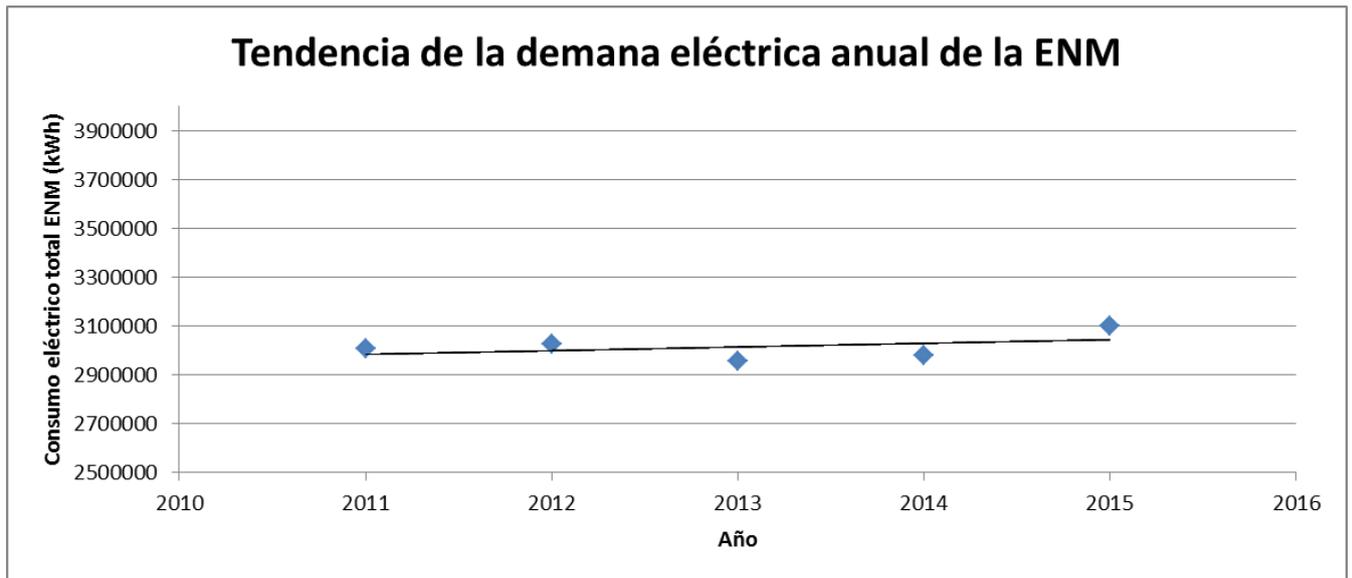
Conocida la cantidad de energía eléctrica producida por la instalación propuesta, se procedió a compararla con el consumo existente en la ENM, para conocer en qué grado la instalación satisface la demanda eléctrica. En primer lugar se calcularon los consumos anuales de los últimos 5 años a partir de los datos proporcionados por el Taller Eléctrico de la ENM, como se observa en la Tabla 4-5.

| Demanda eléctrica anual de la ENM |                    |
|-----------------------------------|--------------------|
| Año                               | $DE_{anual}$ (kWh) |
| 2011                              | 3005260            |
| 2012                              | 3024582            |
| 2013                              | 2958117            |
| 2014                              | 2980056            |
| 2015                              | 3100004            |

Tabla 4-5 Demanda eléctrica anual de la ENM para los últimos 5 años.

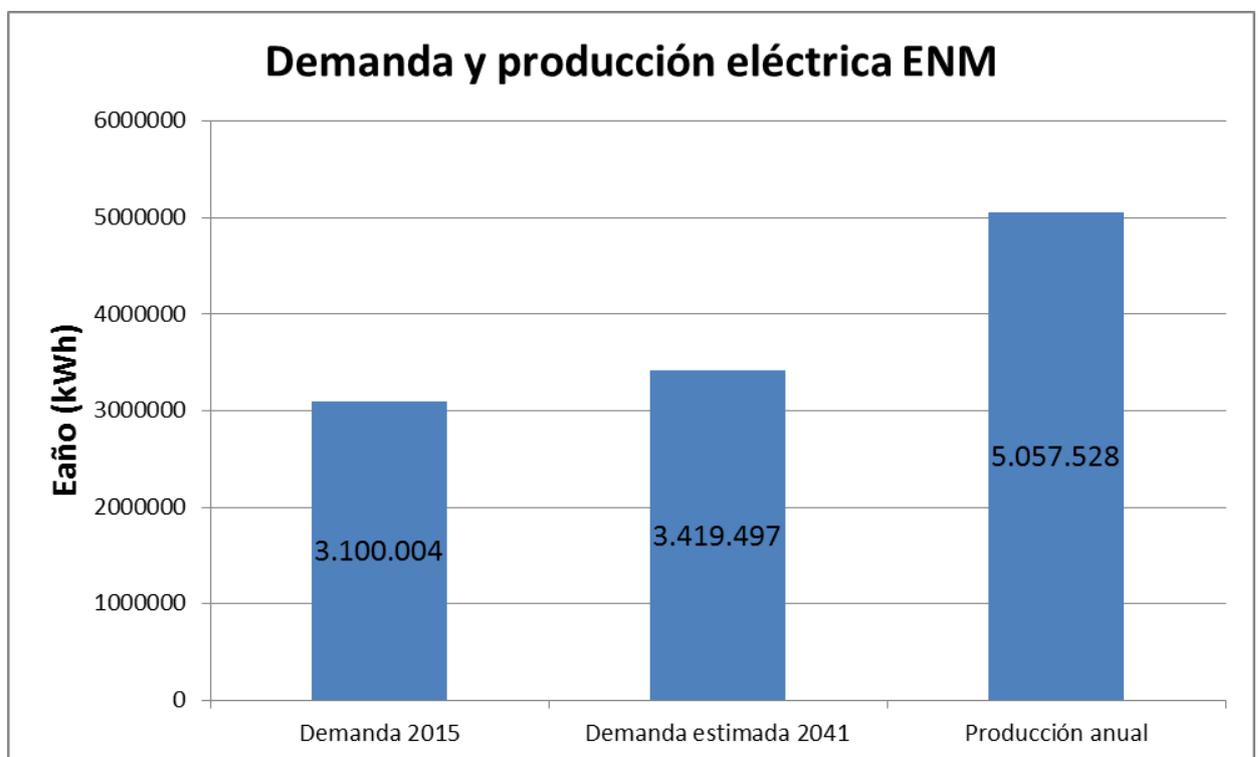
Estos datos sirvieron para estimar la tendencia que sigue la demanda eléctrica de la ENM a lo largo del tiempo a través de un diagrama de dispersión de puntos (Figura 4-19). En este diagrama se generó una línea de tendencia que tiene una ligera pendiente ascendente, por lo que la demanda experimentará pequeños aumentos cada año. La fórmula que define dicha recta y nos permite estimar la demanda en años futuros es:

$$y = 14.496,2x - 26.167.246,8$$



**Figura 4-19** Diagrama de dispersión de puntos mostrando la tendencia de la demanda eléctrica anual de la ENM.

La vida útil de la instalación, como ya se ha señalado anteriormente, se estima de unos 25 años. Por lo tanto, suponiendo que la instalación se ejecutase en el año 2016, la instalación terminaría su ciclo de vida en el año 2041. En la Figura 4-20 se muestra un diagrama de barras en el que se compara el último consumo registrado (año 2015), la demanda estimada en 2041 y la producción eléctrica anual de la instalación, a fin de saber en qué medida la producción cubre la demanda.



**Figura 4-20** Diagrama de barras mostrando la demanda eléctrica de la ENM y la producción de la instalación FV.

En el diagrama se observa que la generación eléctrica supera al consumo eléctrico actual y futuro de la ENM holgadamente. Este dato es fundamental puesto que indica que la instalación propuesta

sería capaz de abastecer por completo a la ENM en cuanto a energía eléctrica. Debe tenerse en cuenta que esta producción de electricidad sería la máxima que podría darse, pero aun así el ahorro energético sería indudablemente alto.

Los ratios de autoabastecimiento calculados ratifican esta conclusión:

- $RAA_{2015} = 1,6314$
- $RAA_{2041} = 1,4790$

Debe señalarse también que, debido a la tendencia ascendente de la demanda, el RAA irá disminuyendo progresivamente en el tiempo, aunque la disminución será lenta y prácticamente despreciable puesto que el RAA al final de la vida útil de la instalación será de 1,4790.

## 4.5 Estudio económico

### 4.5.1 Inversión inicial necesaria de la instalación

Tras aplicar el procedimiento descrito en el apartado 3.5.2 se obtuvieron los costes asociados a la puesta en funcionamiento de la instalación en cada edificio. En la Tabla 4-6 se relacionan dichos costes.

| Estimación coste inicial de la instalación por edificio |                      |
|---|----------------------|
| Edificio  | Estimación coste (€) |
| Aula 14   | 30928,8              |
| Barrio Industrial Sur                                   | 76089,6              |
| Barrio Industrial Talleres                              | 334195,2             |
| Bazar   | 31776                |
| Casino de alumnos                                       | 445447,2             |
| Cuartel Francisco Moreno                                | 752464,8             |
| Cuartel Marinería                                       | 528681,6             |
| Cuartel Marqués de la Victoria                          | 647200,8             |
| Edificio correos  | 155011,2             |
| Edificio CUD  | 373082,4             |
| Edificio Dep. Táctica                                   | 206092,8             |
| Hospital  | 521253,6             |
| Imprenta  | 84072                |
| Isaac Peral   | 538106,4             |
| Jefatura de Estudios                                    | 162696               |

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| Jefatura de Instrucción | 345513,6 |
| Lavandería              | 123216   |
| Polideportivo           | 591172,8 |
| Residencia Oficiales    | 291069,6 |
| Sección de Obras        | 289814,4 |
| Taller de automóviles 1 | 99518,4  |
| Taller de automóviles 2 | 273187,2 |
| Torpedos 1              | 185068,8 |
| Torpedos 2              | 145120,8 |
| Torpedos 3              | 452404,8 |
| Túnel del Viento        | 59292    |

**Tabla 4-6 Estimación de la inversión inicial necesaria para la instalación propuesta en un supuesto optimista y otro pesimista.**

A fin de visualizar las diferencias de precio entre distintos edificios, se ha realizado un diagrama de barras en el que se representa el coste inicial de cada instalación ordenado de mayor a menor (Figura 4-21).

Los precios oscilan entre los 30.900 y los 752.500 € De nuevo, el factor determinante en el precio es la potencia de pico de la instalación, por lo que a mayor potencia, mayor inversión inicial necesaria. Por lo tanto, el edificio de mayor potencia (Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”) será el de mayor coste inicial y el de menor potencia (Aula 14) el de menor coste inicial.



**Figura 4-21 Diagrama de barras mostrando la estimación del coste inicial de los edificios.**

Sumando los costes calculados, obtendríamos como coste inicial total una suma de 7.742.476 €

#### 4.5.2 Costes de mantenimiento y operación

Los costes de mantenimiento y operación anuales van reduciéndose a lo largo de los años, por lo que se han representado sus valores en 2011, 2015 y el estimado en 2020 en un diagrama de dispersión de puntos (Figura 4-22) de forma que se pueda generar una línea de tendencia para poder estimar los costes de años futuros. La fórmula de dicha línea de tendencia es la siguiente:

$$y = -0,0007704918x + 1,5951311475$$

Los costes de operación y mantenimiento son anuales, y van decreciendo año a año. Por tanto, para estimar estos costes de la manera más precisa posible se ha calculado su valor en el momento de la media vida de la instalación, de forma que el precio se encuentre en un punto medio entre el inicio de la vida útil (precio más caro) y el final de la vida útil (precio más barato). La media vida de la instalación se alcanzará en el 2028, por lo que se utilizará el coste estimado de operación y mantenimiento para ese momento. Dicho coste es  $0,033 \frac{\text{€}}{\text{Wp}}$ . Multiplicando por la potencia de pico se obtiene el coste medio anual de operación y mantenimiento para cada edificio, mostrado en la Tabla 4-7.

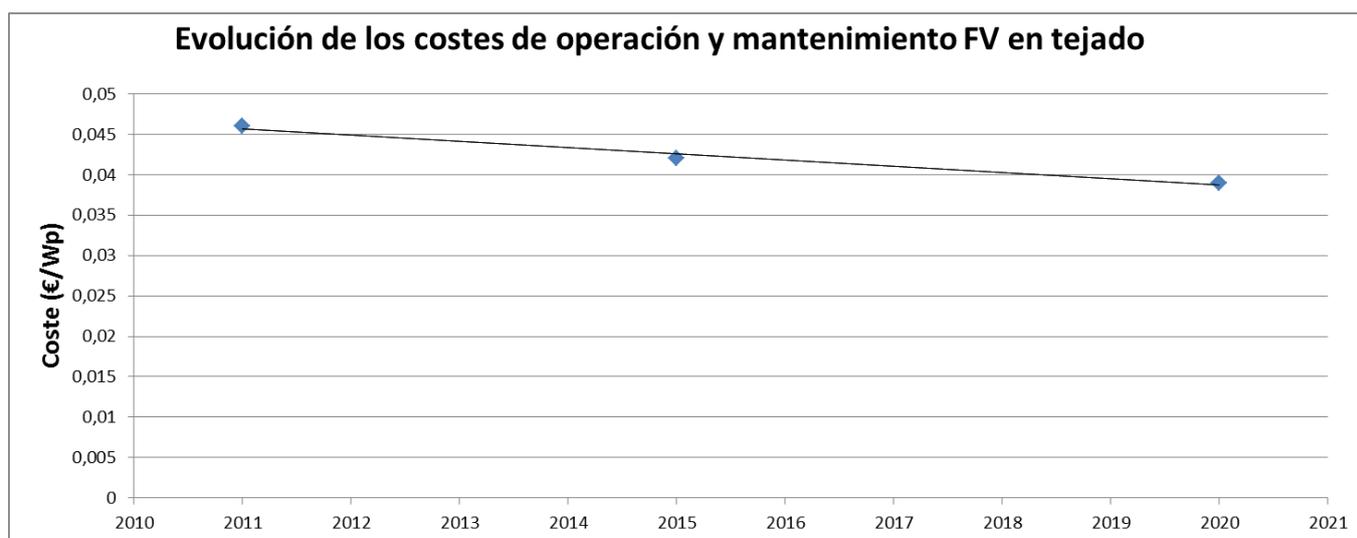


Figura 4-22 Diagrama de dispersión mostrando la evolución de los costes de operación y mantenimiento en tejados.

| Coste medio anual de operación y mantenimiento por edificio |                          |
|---|--------------------------|
| Edificio  | Coste medio de O y M (€) |
| Aula 14   | 637,9065                 |
| Barrio Industrial Sur                                       | 1569,348                 |
| Barrio Industrial Talleres                                  | 6892,776                 |
| Bazar   | 655,38                   |
| Casino de alumnos   | 9187,3485                |
| Cuartel Francisco Moreno                                    | 15519,5865               |
| Cuartel Marinería   | 10904,058                |
| Cuartel Marqués de la Victoria                              | 13348,5165               |
| Edificio correos  | 3197,106                 |
| Edificio CUD  | 7694,8245                |
| Edificio Dep. Táctica                                       | 4250,664                 |
| Hospital  | 10750,8555               |
| Imprenta  | 1733,985                 |
| Isaac Peral   | 11098,4445               |
| Jefatura de Estudios  | 3355,605                 |
| Jefatura de Instrucción                                     | 7126,218                 |
| Lavandería  | 2541,33                  |
| Polideportivo   | 12192,939                |
| Residencia Oficiales  | 6003,3105                |
| Sección de Obras  | 5977,422                 |
| Taller de automóviles 1                                     | 2052,567                 |
| Taller de automóviles 2                                     | 5634,486                 |
| Torpedos 1  | 3817,044                 |
| Torpedos 2  | 2993,1165                |
| Torpedos 3  | 9330,849                 |
| Túnel del Viento  | 1222,8975                |

**Tabla 4-7 Coste medio anual de operación y mantenimiento por edificio.**

Al igual que en la inversión inicial necesaria, el coste depende de la potencia de pico, de forma que a mayor potencia instalada mayor coste de mantenimiento y operación. Los costes oscilan entre los 638 y los 15.520 €al año (Figura 4-23).



Figura 4-23 Diagrama de barras mostrando el coste medio anual de operación y mantenimiento por edificio.

El coste medio total anual de operación y mantenimiento de la instalación completa en la ENM se obtuvo sumando todos los valores de la Tabla 4-7, obteniendo como resultado un coste de 159.689 €

El coste global a lo largo de toda la vida útil de la instalación de la operación y el mantenimiento del sistema será el coste medio anual multiplicado por 25: 3.992.214,6 €

#### 4.5.3 Cargos debidos al Real Decreto 900/2015

De lo detallado en el apartado 3.5.4 se concluye que los cargos que la instalación propuesta debe abonar se corresponden con los cargos variables por el autoconsumo horario, puesto que el cargo fijo por potencia no es de aplicación en el presente caso.

De la tabla proporcionada por el RD se desprende que se deberá pagar 0,029399 €/kWh al año. Por lo tanto, si al año la instalación fotovoltaica produce 5.057.528 kWh, el impuesto ascenderá al importe de 148.686 €al año.

Este Real Decreto ha creado considerable controversia dentro del sector fotovoltaico, por lo que los expertos dudan de que se mantenga en vigor durante un período prolongado. Sin embargo, en este trabajo se calculó el coste que supondría a lo largo de toda la vida útil de la instalación si se mantuviese en vigor hasta el final de la misma. Dicho coste ascendería a 3.717.157 €

#### 4.5.4 Costes globales de la instalación fotovoltaica en la ENM

Teniendo en cuenta todos los costes calculados anteriormente (inversión inicial, costes de operación y mantenimiento e impuestos del RD 900/2015), se ha calculado la totalidad del desembolso que se tendría que realizar para instalar y mantener el sistema fotovoltaico propuesto durante toda su vida útil.

Para realizar el cálculo se empleará la Ecuación 4-1:

$$C_{totales} = I_{inicial} + C_{OyM\ tot} + P_{900/2015}$$

**Ecuación 4-1 Cálculo de los costes totales relativos a una instalación fotovoltaica.**

Donde

- $C_{totales}$  son los costes totales de la instalación a lo largo de toda su vida útil.
- $I_{inicial}$  es el valor de la inversión inicial necesaria.
- $C_{OyM\ tot}$  son los costes totales de operación y mantenimiento de la instalación a lo largo de toda su vida útil.
- $P_{900/2015}$  es el peaje que se debe abonar en función de las características de la instalación debido al RD 900/2015.

Tomando los valores calculados en los apartados anteriores:

$$C_{totales} = I_{inicial} + C_{OyM\ tot} + P_{900/2015} = 7.742.476 + 3.992.215 + 3.717.157 = 15.451.848 \text{ €}$$

A efectos prácticos, se ha considerado conveniente calcular asimismo el gasto anual aproximado que supondría la instalación. Éste será el dato de verdadera importancia para el estudio de amortización. Además de la inversión inicial, que solo habría que efectuar una vez, se deberán pagar cada año costes de mantenimiento y operación e impuestos. Por lo tanto se pagará:

- 7.742.476 € como inversión inicial.
- Coste anual =  $C_{OyM\ tot\ anual} + P_{\frac{900}{2015}\text{anual}} = 159.689 + 148.686 = 308.375 \text{ €}$

#### 4.5.5 Amortización de la instalación

Tras llevar a cabo los cálculos descritos en el apartado 3.5.5, se obtuvieron los valores de NPV y SIR para cada año, como se muestra en la Tabla 4-8. En dicha tabla se observa como el NPV pasa de tener un valor negativo a tener uno positivo en el año 10, lo que significa que la instalación propuesta se amortizaría en 10 años. Este resultado es muy positivo, teniendo en cuenta que a partir del décimo año todos los beneficios que se obtengan supondrán ganancias y la inversión realizada se habría recuperado. Las instalaciones fotovoltaicas suelen tardar en amortizarse actualmente entre 7 y 18 años aproximadamente, por lo que el resultado obtenido en la ENM se encuentra en el margen de las instalaciones que más rápido se amortizan.

Además se ha obtenido un NPV para el año 25 de 15.500.000 € lo que significa que cuando termine el ciclo de vida de la instalación se habrán obtenido unas ganancias de 15 millones y medio de euros.

| Año | NPV       | SIR      |
|-----|-----------|----------|
| 0   | -7,74E+06 | 0,00E+00 |
| 1   | -6,94E+06 | 1,38E-01 |
| 2   | -6,13E+06 | 2,68E-01 |
| 3   | -5,30E+06 | 3,90E-01 |
| 4   | -4,47E+06 | 5,04E-01 |
| 5   | -3,63E+06 | 6,11E-01 |
| 6   | -2,78E+06 | 7,13E-01 |
| 7   | -1,91E+06 | 8,09E-01 |
| 8   | -1,04E+06 | 8,99E-01 |
| 9   | -1,56E+05 | 9,85E-01 |
| 10  | 7,39E+05  | 1,07E+00 |
| 11  | 1,64E+06  | 1,14E+00 |
| 12  | 2,56E+06  | 1,22E+00 |
| 13  | 3,49E+06  | 1,29E+00 |
| 14  | 4,43E+06  | 1,35E+00 |
| 15  | 5,38E+06  | 1,42E+00 |
| 16  | 6,34E+06  | 1,48E+00 |
| 17  | 7,32E+06  | 1,54E+00 |
| 18  | 8,30E+06  | 1,59E+00 |
| 19  | 9,30E+06  | 1,65E+00 |
| 20  | 1,03E+07  | 1,70E+00 |
| 21  | 1,13E+07  | 1,75E+00 |
| 22  | 1,24E+07  | 1,79E+00 |
| 23  | 1,34E+07  | 1,84E+00 |
| 24  | 1,45E+07  | 1,88E+00 |
| 25  | 1,55E+07  | 1,93E+00 |

**Tabla 4-8 Resultados NPV y SIR cada año para la instalación propuesta.**

Después del cálculo del NPV, se calcularon mediante una hoja de cálculo de Excel los beneficios y costes acumulados cada año (Tabla 4-9), representándolos después en un gráfico de líneas que muestra el punto de amortización del proyecto (Figura 4-24).

| Año | Beneficios | Costes   |
|-----|------------|----------|
| 0   | 0,00E+00   | 7,74E+06 |
| 1   | 1,11E+06   | 8,05E+06 |
| 2   | 2,24E+06   | 8,37E+06 |
| 3   | 3,39E+06   | 8,69E+06 |
| 4   | 4,54E+06   | 9,01E+06 |
| 5   | 5,71E+06   | 9,34E+06 |
| 6   | 6,90E+06   | 9,67E+06 |
| 7   | 8,09E+06   | 1,00E+07 |
| 8   | 9,31E+06   | 1,03E+07 |
| 9   | 1,05E+07   | 1,07E+07 |
| 10  | 1,18E+07   | 1,10E+07 |
| 11  | 1,30E+07   | 1,14E+07 |
| 12  | 1,43E+07   | 1,17E+07 |
| 13  | 1,56E+07   | 1,21E+07 |
| 14  | 1,69E+07   | 1,25E+07 |
| 15  | 1,82E+07   | 1,28E+07 |
| 16  | 1,96E+07   | 1,32E+07 |
| 17  | 2,09E+07   | 1,36E+07 |
| 18  | 2,23E+07   | 1,40E+07 |
| 19  | 2,37E+07   | 1,44E+07 |
| 20  | 2,51E+07   | 1,48E+07 |
| 21  | 2,65E+07   | 1,52E+07 |
| 22  | 2,79E+07   | 1,56E+07 |
| 23  | 2,94E+07   | 1,60E+07 |
| 24  | 3,09E+07   | 1,64E+07 |
| 25  | 3,23E+07   | 1,68E+07 |

**Tabla 4-9 Beneficios y costes acumulados a lo largo del ciclo de vida de la instalación fotovoltaica.**

En la Figura 4-24 se observa como las líneas correspondientes a los costes y beneficios se cortan en el año 10, lo que corrobora los resultados obtenidos mediante el cálculo del NPV y SIR.

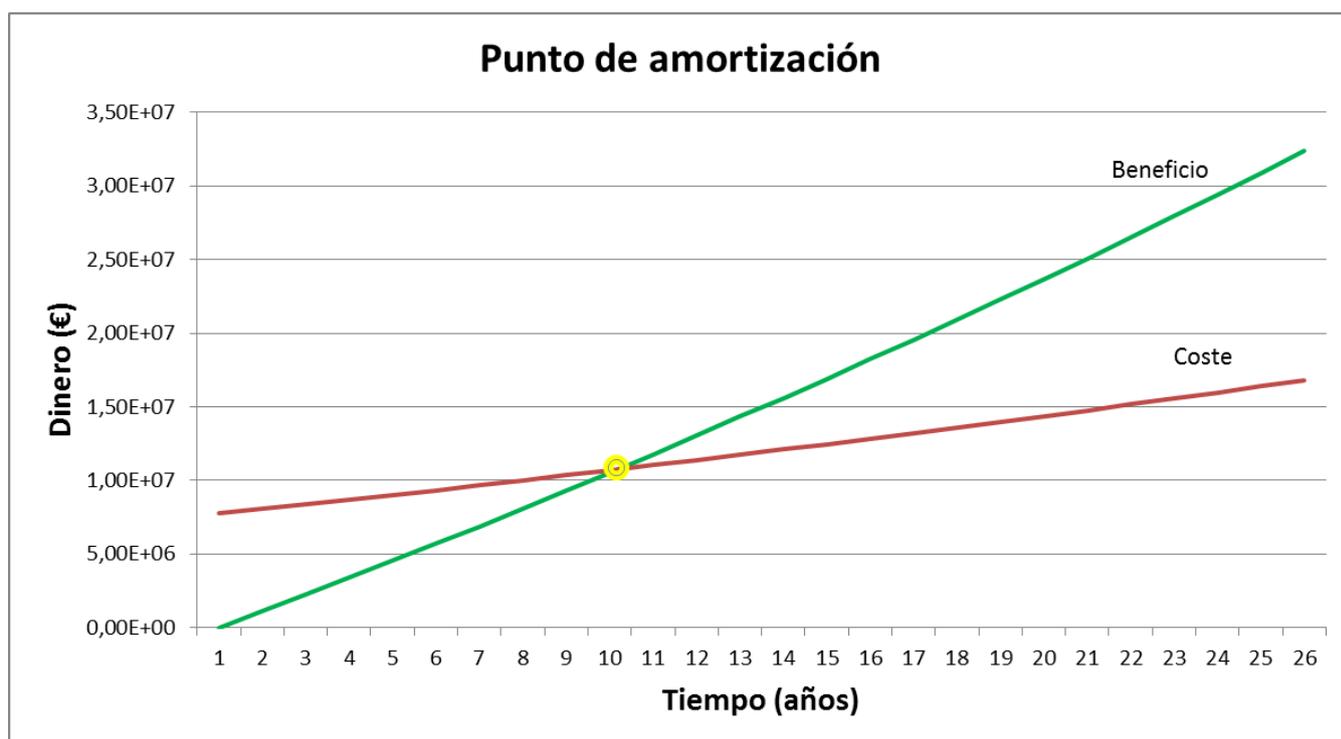


Figura 4-24 Punto de amortización de la instalación fotovoltaica.

Los resultados obtenidos en cuanto a amortización se valoran de forma muy positiva, pues los últimos 15 años de vida de la instalación generarán ganancias hasta 15 millones y medio de euros, de los que la ENM podrá disponer para otras aplicaciones.

#### 4.5.6 Análisis de sensibilidad

Durante el análisis de sensibilidad se obtuvieron los valores de los parámetros NPV y SIR en función de la variación de las cinco variables mencionadas en el apartado 3.5.6. Tras llevar a cabo los cálculos para cada parámetro, se obtuvo la Tabla 4-10 en la que se muestran los valores obtenidos para el NPV y la Tabla 4-11 en la que se muestran los del SIR.

Se puede observar que el único caso en el que el NPV pasa a tener un valor negativo o el SIR a tener un valor por debajo de 1 (supuestos en los cuales la instalación dejaría de ser rentable) es cuando el precio de venta de la electricidad se reduce un 50 % o más. En cualquier otro caso, aunque los parámetros se reduzcan o se incrementen de forma desfavorable hasta en un 75% el proyecto seguiría siendo rentable. Además, es muy poco probable la reducción del precio de venta de la electricidad dada la tendencia ascendente que sigue a lo largo de los años.

| NPV |                           |                |                        |            |          |
|-----|---------------------------|----------------|------------------------|------------|----------|
| %   | Precio venta electricidad | $\eta_{panel}$ | Precio “llave en mano” | Costes OyM | i        |
| -75 | -8,71E+06                 | 3,89E+06       | 2,14E+07               | 1,91E+07   | 1,29E+07 |
| -50 | -6,26E+05                 | 7,77E+06       | 1,94E+07               | 1,79E+07   | 1,37E+07 |
| -25 | 7,46E+06                  | 1,17E+07       | 1,75E+07               | 1,67E+07   | 1,46E+07 |
| 0   | 1,55E+07                  | 1,55E+07       | 1,55E+07               | 1,55E+07   | 1,55E+07 |
| 25  | 2,36E+07                  | 1,94E+07       | 1,36E+07               | 1,44E+07   | 1,65E+07 |
| 50  | 3,17E+07                  | 2,33E+07       | 1,17E+07               | 1,32E+07   | 1,74E+07 |
| 75  | 3,98E+07                  | 2,72E+07       | 9,74E+06               | 1,20E+07   | 1,85E+07 |

**Tabla 4-10 Valores del NPV según la variación de las variables del análisis de sensibilidad.**

| SIR |                           |                |                        |              |          |
|-----|---------------------------|----------------|------------------------|--------------|----------|
|     | Precio venta electricidad | $\eta_{panel}$ | Precio “llave en mano” | Costes O y M | i        |
| -75 | 4,81E-01                  | 1,93E+00       | 2,94E+00               | 2,44E+00     | 1,82E+00 |
| -50 | 9,63E-01                  | 1,93E+00       | 2,50E+00               | 2,24E+00     | 1,85E+00 |
| -25 | 1,44E+00                  | 1,93E+00       | 2,18E+00               | 2,07E+00     | 1,89E+00 |
| 0   | 1,93E+00                  | 1,93E+00       | 1,93E+00               | 1,93E+00     | 1,93E+00 |
| 25  | 2,41E+00                  | 1,93E+00       | 1,73E+00               | 1,80E+00     | 1,96E+00 |
| 50  | 2,89E+00                  | 1,93E+00       | 1,56E+00               | 1,69E+00     | 1,99E+00 |
| 75  | 3,37E+00                  | 1,93E+00       | 1,43E+00               | 1,59E+00     | 2,03E+00 |

**Tabla 4-11 Valores del SIR según la variación de las variables del análisis de sensibilidad.**

Este hecho significa que aunque las variables analizadas cambien desfavorablemente en el futuro, será muy difícil que se dé una situación en la que la instalación deje de ser rentable. En caso de que las variables cambien a peor se deberá sopesar si los beneficios finales (NPV) compensan el esfuerzo que supone la inversión inicial. Este hecho se aprecia visualmente en la Figura 4-25.

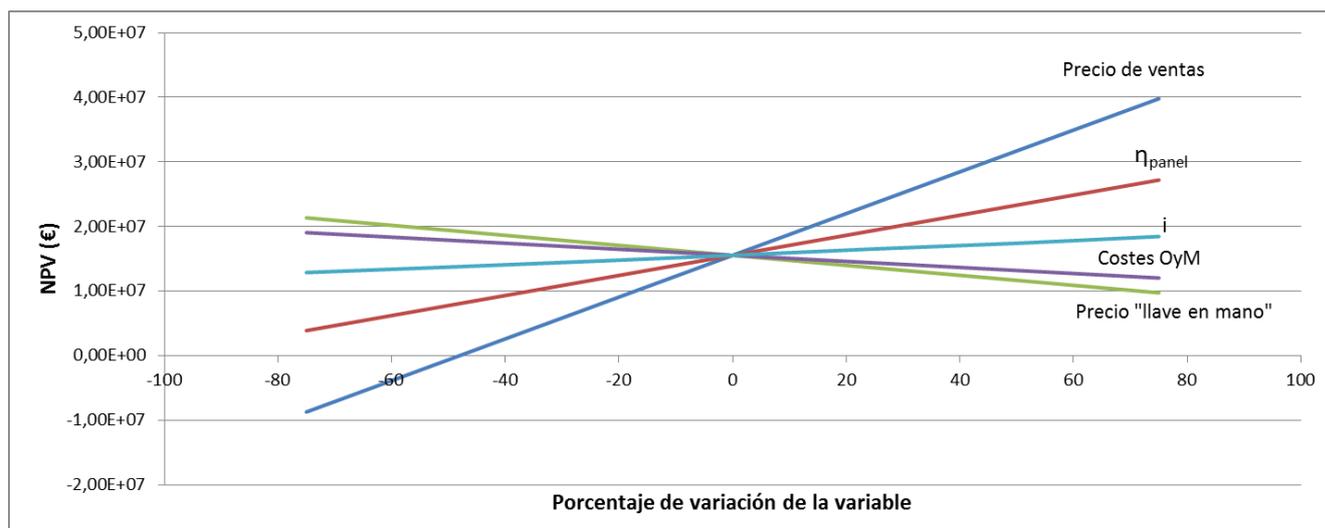


Figura 4-25 Variación del NPV en función de las variables del análisis de sensibilidad.

Del mismo modo podemos observar que en la Figura 4-26 el SIR solo baja por debajo del 1 con una fuerte reducción del precio de venta de la electricidad. El hecho de que el SIR baje por debajo del 1 significa que los costes del proyecto son superiores a los beneficios, por lo que no es rentable.

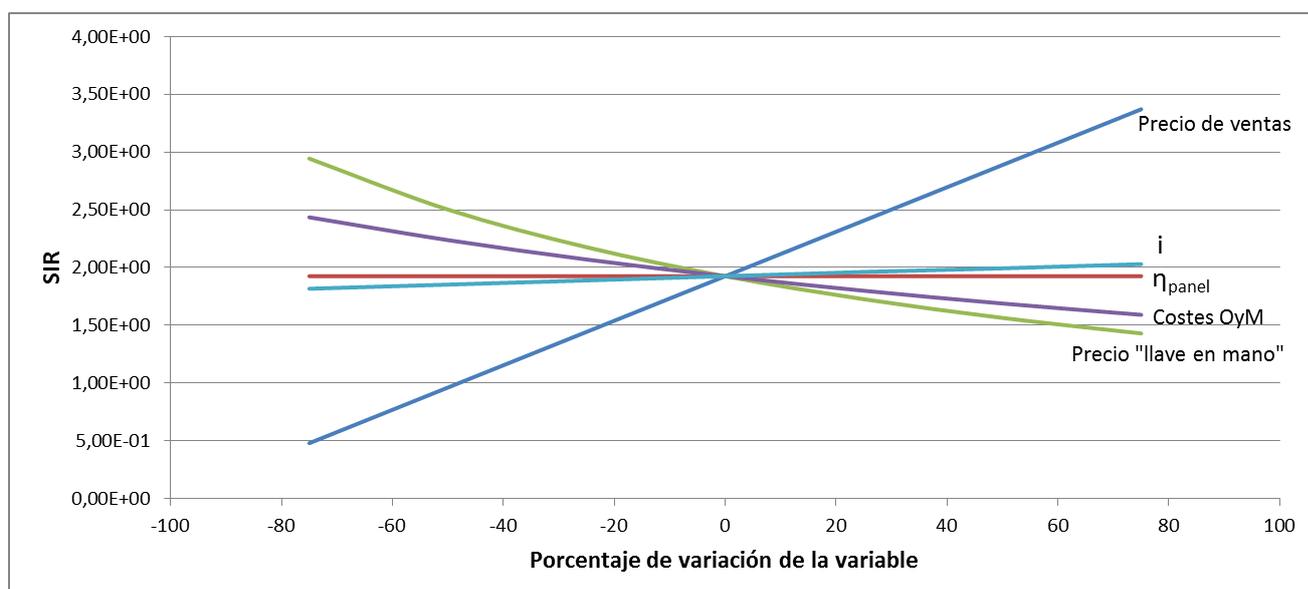


Figura 4-26 Variación del SIR en función de las variables del análisis de sensibilidad.

Del análisis de sensibilidad se sacan las siguientes conclusiones:

- El precio de venta de la electricidad aumenta los beneficios cuando aumenta su valor, debido a que está directamente relacionado con las ganancias procedentes de la inyección a red de la electricidad. Es la variable que más afecta a los resultados económicos, tanto cuando aumenta como cuando se reduce. Es la única variable que puede hacer que la instalación deje de ser rentable para la ENM cuando se reduce más de un 50%, aunque este escenario es improbable por la tendencia que sigue el precio de venta en el tiempo.
- La eficiencia del panel fotovoltaico es la segunda variable con mayor impacto en el NPV. Un aumento de la eficiencia provoca un aumento de la potencia de pico instalada y por lo tanto se

produce más electricidad, por lo que los beneficios obtenidos del vertido a red aumentan. Sin embargo, también aumentan la inversión inicial, los costes de operación y mantenimiento y los impuestos a pagar, pero el aumento en los beneficios supera el aumento en los costes. A mayor eficiencia mayor beneficio, y a menor eficiencia menor beneficio.

- El precio “llave en mano”, como es lógico, reduce los beneficios cuando aumenta su valor aunque su impacto es menor que el de las variables anteriores. A mayor precio mayor deberá ser la inversión inicial, por lo que se tardará más en amortizar la instalación y se obtendrán menores beneficios. Su tendencia es descendente, pues el precio baja según va madurando la tecnología fotovoltaica.
- Costes de operación y mantenimiento. Al igual que la variable anterior, al tratarse de costes su aumento tendrá un impacto negativo en los beneficios y la amortización. Sin embargo su impacto es menor que el del precio llave en mano. Su tendencia en el tiempo también es descendente.
- Real discount rate. Su impacto es el menor de todas las variables estudiadas. Cuando aumenta su valor aumentan los beneficios ligeramente, debido a que a mayor  $i$ , menor inflación y a menor inflación más valor tendrán los beneficios en años futuros.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

#### *5.1.1 Conclusiones generales y limitaciones*

Para finalizar el presente trabajo se realizará un breve análisis y resumen del trabajo realizado, con la finalidad de extraer conclusiones y detallar las dificultades y limitaciones encontradas durante el desarrollo. Se repasará cada etapa del trabajo, comenzando por el modelado 3D de los edificios en SketchUp y continuando con las simulaciones mediante Skelion y PVGIS, el estudio energético de la instalación propuesta y por último el estudio económico y amortización.

En primer lugar, el modelado tridimensional de los edificios seleccionados se llevó a cabo de manera satisfactoria mediante el software SketchUp. La facilidad de uso de sus herramientas y la abundancia de tutoriales y ayudas disponibles en Internet permitieron un rápido aprendizaje. La principal limitación encontrada en esta etapa fue la dificultad para disponer de planos de exteriores de los edificios de la ENM. A pesar de haber contactado con el arquitecto responsable de los mismos, éste no disponía de planos de todos los edificios debido a la antigüedad de algunos de ellos y en los archivos de la oficina de mantenimiento de la ENM tampoco se encontraban en papel. Finalmente se modelaron los edificios de los que se disponía de planos completos utilizando solamente los planos y para el resto se utilizaron los planos de las plantas y se tomaron medidas manualmente mediante telémetro láser. El resultado fue totalmente válido para el estudio pues para la estimación del potencial fotovoltaico es prescindible una gran exactitud arquitectónica sino una superficie de tejado aproximada y la orientación e inclinación correctas.

En cuanto a la etapa de simulación, debe destacarse la versatilidad de SketchUp que cuenta con multitud de extensiones que permiten analizar los modelos tridimensionales. En concreto, las herramientas Skelion y PVGIS resultaron muy útiles y de uso sencillo para la obtención de la irradiación solar incidente en los edificios. Los resultados obtenidos oscilaban entre los 1400 y los  $1600 \frac{W}{m^2}$ , valores que se corresponden con la irradiación solar habitual en la zona. Debe destacarse que existe una gran diferencia entre la irradiación recibida en la zona norte de España y la zona sur, llegando a poder ser incluso el doble en zonas del sur. Sin embargo, debe señalarse también que, aun siendo más productivas las instalaciones en el sur, las mayores temperaturas a las que se exponen empeoran ligeramente el rendimiento de los paneles fotovoltaicos y aumentan la necesidad y coste de mantenimiento. Además, la zona norte de España sigue teniendo unos valores de irradiación incidente muy positivos en comparación con otros países europeos como Alemania y Reino Unido, que son líderes en la utilización de la energía fotovoltaica en Europa. Por lo tanto, se concluye que la ubicación

de la ENM es perfectamente válida para la instalación de un sistema fotovoltaico. El principal inconveniente encontrado fue la orientación de los edificios y la geometría del terreno, que perjudicaron levemente los resultados de irradiación. La orientación óptima de los edificios es siempre hacia el Ecuador terrestre, por lo que encontrándose la instalación en el hemisferio norte la orientación óptima en este caso es hacia el sur. Sin embargo, la mayoría de los edificios de la ENM se encuentran orientados hacia el norte debido a la ubicación de la Ría de Pontevedra. Además, existe una montaña que nace en la mitad sur de la ENM y perjudica así mismo a los resultados. Sin embargo estas limitaciones no afectaron de manera importante a la irradiación, que se encontró dentro de los márgenes esperados para la zona.

En cuanto al estudio energético, éste se basó en el análisis de la instalación desde el punto de vista de la producción de electricidad y su comparación con las necesidades eléctricas de la ENM. En primer lugar se calculó la potencia de pico que podría instalarse en la ENM, obteniendo un resultado remarcablemente alto (4,84 MWp). Este valor de potencia permite obtener una cantidad de electricidad al año de 5,06 GWh, valor muy superior al consumo eléctrico anual de la ENM (alrededor de 3 GWh). Esto quiere decir que la ENM podría ser autosuficiente en términos de electricidad y aun así podría inyectar a red grandes cantidades de electricidad que generarían beneficios. Se debe destacar además que en el cálculo de la electricidad generada se han asumido valores conservadores de algunas variables, como por ejemplo el coeficiente de pérdidas PR para el que se asumió un valor de 0,7 cuando hoy en día se suelen tener valores alrededor de 0,8. Por lo tanto, los resultados obtenidos se consideran altamente satisfactorios, ya que se concluye que la ENM tiene capacidad para incorporar una instalación fotovoltaica que le permita no solo cubrir su demanda eléctrica sino generar beneficios mediante la inyección a red de electricidad.

La selección de la instalación se demuestra adecuada tras conocer los resultados energéticos de la misma. La tecnología de capa delgada alcanza hoy en día eficiencias suficientemente altas como para obtener unas buenas rentabilidades y además permiten su integración en la edificación con mínimo impacto visual y estético, aspecto importante en la ENM al ser en muchas ocasiones durante el año el escenario de celebraciones y actos solemnes que requieren de una estética adecuada. Además, dicha tecnología permite la utilización de paneles finos y flexibles que se adaptan óptimamente a la forma de los tejados, algo que puede resultar más complicado con otras tecnologías. Se concluye por tanto que la tecnología de capa delgada es la más adecuada en este caso y se reitera la recomendación de su instalación.

El estudio económico se dividió en varias partes. Primero se calcularon los costes que se deberían de afrontar para instalar y mantener el sistema fotovoltaico. Posteriormente se calculó el punto de amortización y finalmente se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para ver si la variación de algunas variables podría reducir la rentabilidad del proyecto. En primer lugar se calculó la inversión inicial que sería necesaria para implantar la instalación en todos los edificios. El resultado fue de 7.742.000 € cantidad considerablemente alta teniendo en cuenta la difícil situación económica actual. Los costes de operación y mantenimiento que se deberían pagar anualmente ascenderían a alrededor de 160.000 € y los impuestos a pagar también anualmente serían unos 149.000 €. Estos costes pueden parecer relativamente altos, pero teniendo en cuenta la potencia de la instalación y los beneficios anuales obtenidos procedentes de la venta de electricidad (1.100.000 €) se concluye que son asumibles. El mayor obstáculo lo constituye la inversión inicial, debido a que supone un desembolso elevado. Sin embargo la instalación se amortizará rápidamente en un plazo de 10 años, a partir de los cuales se conseguirán unas ganancias de hasta 15.500.000 €. Por lo tanto, la conclusión del estudio económico es que si se considera asumible la inversión inicial necesaria, es muy recomendable la instalación del sistema debido a que al cabo de 25 años cuando termine la vida útil de la instalación se conseguirán enormes beneficios.

El análisis de sensibilidad demostró que la variación de parámetros determinantes como la eficiencia del panel o el precio de venta de la electricidad difícilmente podrá convertir la instalación en un proyecto no rentable. La variación de cada variable hará aumentar o disminuir los beneficios obtenidos, pero raramente podrá ocasionar que la instalación provoque pérdidas económicas. Por lo

tanto se concluye que el proyecto constituye una inversión bastante segura, debido a que casi con total seguridad se producirán beneficios.

### *5.1.2 Conclusión final y recomendación*

Teniendo en cuenta los buenos resultados obtenidos como se comenta en el apartado anterior, se concluye que la instalación puede proporcionar enormes beneficios y conseguir un ahorro importante en el marco económico actual. La instalación propuesta sería capaz, según el estudio realizado, de proporcionar autonomía eléctrica a la Escuela Naval Militar además de generar ganancias económicas y potenciar una tecnología con un gran futuro por delante como es la energía fotovoltaica. Por lo tanto, con la finalidad de corroborar la fiabilidad de los cálculos realizados, se recomienda realizar la instalación en el edificio con más potencial fotovoltaico en primer lugar. De esta forma, comparando las estimaciones realizadas de este edificio y los resultados reales, se podrá concluir si las estimaciones son correctas y se podrá contemplar la posibilidad de llevar a cabo la instalación en el resto de edificios seleccionados.

## **5.2 Líneas futuras**

En el presente apartado se expondrán algunas recomendaciones sobre las acciones que se podrían tomar en el futuro para materializar el trabajo realizado.

En primer lugar, y dados los buenos resultados de la estimación del potencial fotovoltaico integrado en los edificios de la Escuela Naval Militar, se considera necesario realizar un estudio exhaustivo que vaya más allá de la presente estimación, que permita concretar todos los detalles relativos a la instalación y la posibilidad de implantarla en los edificios de la ENM teniendo como base y punto de partida el presente trabajo.

También se deberá estudiar en profundidad el mercado fotovoltaico actual y sus tendencias en el futuro, para confirmar las suposiciones y decisiones tomadas en el presente proyecto relativas a la tecnología seleccionada, eficiencias, precios, costes, beneficios etc.

Se propone la instalación del sistema seleccionado en el edificio con mayor potencial fotovoltaico, con el objetivo de comparar los resultados del estudio con los resultados reales y extraer conclusiones.

Si el resultado de dicho estudio confirma la estimación aquí realizada, la última línea futura consistirá en la implantación física de la instalación fotovoltaica en todos los edificios, teniendo muy en cuenta el factor estético y la normativa vigente, y realizando los contratos necesarios con las compañías eléctricas para adecuar la inyección de electricidad a la red general de distribución.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Energías Renovables Info, «Información sobre energías renovables, energía solar, energía eólica, biomasa, biogas, energía geotérmica, energía de los océanos, pilas de combustible (hidrógeno), etc.» 7 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.energiarenovablesinfo.com/solar/energia-solar-instalada-2/>. [Último acceso: 22 Febrero 2016].
- [2] Grupo de Actividades Recreativas, Academia de Ciencias Luventicus, «Luventicus,» 5 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.luventicus.org/mapas/peninsulaiberica/pontevedra.html>. [Último acceso: 22 Febrero 2016].
- [3] Plazoleta "los melones", «Plazoleta "los melones",» 2010. [En línea]. Available: <https://plazoletalosmelones.wordpress.com/11-escuela-naval-militar-10-01-73/>. [Último acceso: 22 Febrero 2016].
- [4] Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía, «Energía solar Térmica y fotovoltaica en el marco del Código Técnico de la Edificación,» Ayuntamiento de Pamplona, Pamplona, 2007.
- [5] M. G. Barrera, «Proyectos 23 G+D,» Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada, 11 Diciembre 2011. [En línea]. Available: [www.proyectos23g.es/2011/12/principios-de-la-arquitectura-solar.html](http://www.proyectos23g.es/2011/12/principios-de-la-arquitectura-solar.html). [Último acceso: 16 Febrero 2016].
- [6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red, Madrid: Promotora General de Estudios S.A., 2011.
- [7] P. J. Hernández, «Pedro J. Hernández Arquitectura, Diseño y Arte,» 8 Marzo 2014. [En línea]. Available: [www.pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/](http://www.pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/). [Último acceso: 16 Febrero 2016].
- [8] Inbradi, «Inbradi,» 6 Junio 2013. [En línea]. Available: [www.inbradi.com](http://www.inbradi.com). [Último acceso: 16 Febrero 2016].
- [9] Scalofrios, «Scalofrios-Energía solar térmica,» 13 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.scalofrios.es/Calor/solar.htm>. [Último acceso: 3 Marzo 2016].
- [10] J. L. B. Manzanares, Fundamentos de la Conversión Fotovoltaica: La Célula Solar, Madrid:

Escuela de Organización Industrial, 2008.

- [11] Natureduca, «Natureduca Portal educativo de Ciencias Naturales y Aplicadas,» ASOCAE ONGD, 11 Septiembre 2013. [En línea]. Available: [http://www.natureduca.com/tecno\\_electro\\_matsemicond01.php](http://www.natureduca.com/tecno_electro_matsemicond01.php). [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [12] P. Wagner, «ScanDig,» 22 Abril 2012. [En línea]. Available: <http://www.filmscanner.info/es/CCDSensoren.html>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [13] J. L. M. Tarrillo, «Matlab/Simulink in Renewable Energy,» 17 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://jmirez.wordpress.com/category/conductor/>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [14] 123RF, «123rf,» 19 Noviembre 2015. [En línea]. Available: [http://es.123rf.com/photo\\_21930713\\_union-pn-cap-a-de-silicio-de-tipo-p-contiene-cargas-mas-positivos-llamados-agujeros-y-la-cap-a-de-sili.html](http://es.123rf.com/photo_21930713_union-pn-cap-a-de-silicio-de-tipo-p-contiene-cargas-mas-positivos-llamados-agujeros-y-la-cap-a-de-sili.html). [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [15] C. S. Pacheco, «Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entrono urbano,» Universidad Internacional de Andalucía (Unia), Sevilla, 2009.
- [16] J. D. Ortiz, «Visión Electrónica Universidad Distrital Francisco José de Caldas,» Enero 2013. [En línea]. Available: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3858/6761>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [17] Instituto Tecnológico y de Energías Renovables S.A., «Energía solar fotovoltaica,» Cabildo de Tenerife, Tenerife, 2011.
- [18] C. E. Marín, «La energía solar fotovoltaica en España,» *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, nº 13, pp. 5-32, 2004.
- [19] F. P. Moreno, «Análisis de viabilidad técnico-económica de la instalación de energías renovables para satisfacer las demandas térmicas y eléctricas de un hospital,» Universidad Pontificia de Comillas ICAI, Madrid, 2013.
- [20] OPEX Energy, «OPEX Energy,» 26 Febrero 2010. [En línea]. Available: [http://opex-energy.com/fotovoltaica/tipos\\_de\\_paneles\\_fotovoltaico.html](http://opex-energy.com/fotovoltaica/tipos_de_paneles_fotovoltaico.html). [Último acceso: 1 Marzo 2016].
- [21] C. M. Rasero, «Energía solar fotovoltaica,» Escuela de Organización Industrial EOI, Madrid, 2011.
- [22] Ingemecánica, «Ingemecánica Ingeniería, Consultoría y Formación,» 30 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>. [Último acceso: 17 Enero 2016].
- [23] Cahors Española S.A., Equipos de protección para instalaciones fotovoltaicas, Gerona.
- [24] M. N. Artidiello, Integración arquitectónica de la energía fotovoltaica, Oviedo: Máster Universitario en Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de Oviedo, 2013.
- [25] L. R. Otón, La energía solar en la edificación: la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica, Cartagena: Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.
- [26] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, Evaluación del potencial de energía solar térmica y fotovoltaica derivado del cumplimiento del código técnico de edificación, Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España, 2010.
- [27] J. A. Roca, «El coste de las instalaciones fotovoltaicas en España, entre los más baratos del

mundo,» *El periódico de la energía*, 27 Octubre 2015.

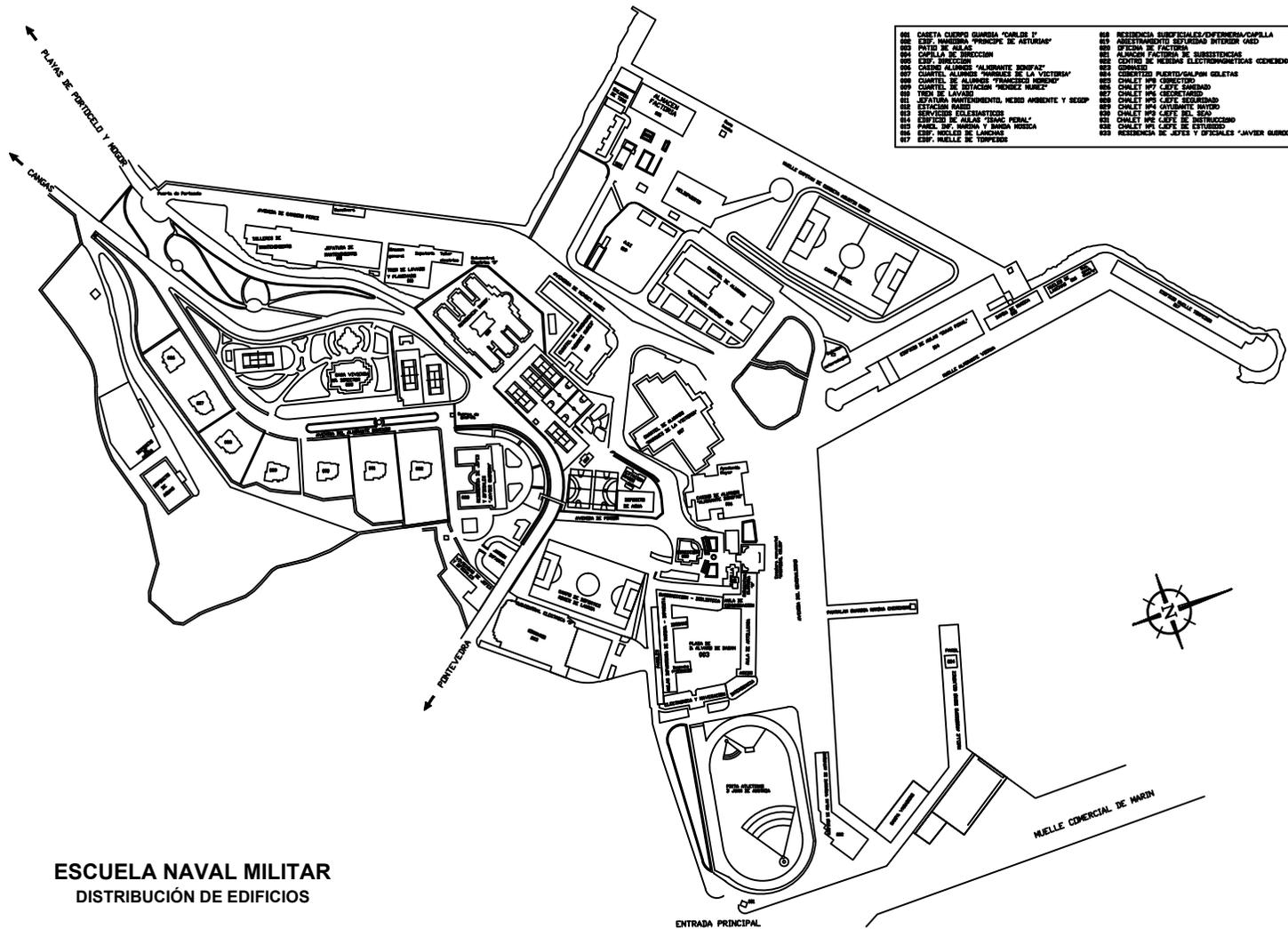
- [28] Google Sketchup, «3D Warehouse,» 20 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model.html?id=68b9dc3bb57710c677167f0e793de197&hl=es>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [29] Blauden, «Blauden,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.blauden.com/medidor-laser-bosch-glm-100c-bluetooth>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
- [30] Intelec Ingeniería, Estimación de la energía generada por un sistema fotovoltaico conectado a la red. Balance energético, Jaén: Pvs in bloom, 2013.
- [31] F. M. C. Villar, Estudio de las necesidades energéticas de un buque en diferentes ubicaciones, Marín: Centro Universitario de la Defensa Marín, 2015.
- [32] J. Amador, Evaluación energética de instalaciones fotovoltaicas, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [33] J. M. S. López, Real Decreto 900/2015, Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2015.
- [34] J. M. M. Quemada, Circular 3/2014, de 2 de julio, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de los, Madrid: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014.
- [35] K. Jeong, Life cycle economic and environmental assessment for establishing the optimal implementation strategy of rooftop photovoltaic system in military facility, Seoul: Yonsei University, 2015.
- [36] Xataka, 2015 es el año en el que podemos plantearnos el autoabastecimiento eléctrico en serio: estos son los números, Madrid: Xataka, 2015.
- [37] Global rates, «Global-rates.com,» 2016. [En línea]. Available: <http://es.global-rates.com/estadisticas-economicas/inflacion/indice-de-precios-al-consumo/ipc/espana.aspx>. [Último acceso: 23 Febrero 2016].
- [38] L. González, Comparación del precio del kWh del gas y la electricidad, Madrid: Rankia España, 2014.
- [39] Ó. V. Vegas, Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar, Marín: Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Vigo, 2016.
- [40] A. S. Carrio, Estudio técnico económico de instalación fotovoltaica de 100 kW en cubierta de nave industrial, Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2008.
- [41] M. J. F. Llobel, Energías renovables: estudio de viabilidad de una instalación solar fotovoltaica (huerto solar), Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2012.



## **ANEXO I: PLANOS UTILIZADOS EN EL MODELADO DE EDIFICIOS**

En el presente anexo se muestran los planos utilizados en el modelado tridimensional de los edificios de la ENM. Se debe señalar que dichos planos se utilizaron únicamente para la toma de medidas, de forma que con dichas medidas se modelaron los edificios en SketchUp. Los planos contenidos en este anexo se corresponden con los siguientes edificios y se exponen en el siguiente orden:

- Distribución general de edificios en la ENM.
- Hospital (planos completos).
- Edificio de aulas “Isaac Peral” (planos completos).
- Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria” (planos completos).
- Residencia de oficiales “Javier Quiroga” (planta).



**ESCUELA NAVAL MILITAR**  
**DISTRIBUCIÓN DE EDIFICIOS**

|   |  |
|---|--|
| 001 CASITA CUERPO GUARDIA "CARLOS I"              | 060 RESIDENCIA SUBOFICIALES/INFERMERA/CAPILLA        |
| 002 ESP. HANGAR "PRINCEPE DE ASTURIAS"            | 061 ARSENAL/ESTADIA INTERIOR CASO                    |
| 003 PAVIL. DE CALLES                              | 062 OFICINA DE FACTORIA                              |
| 004 CAPILLA DE INSTRUCCION                        | 063 ALMACEN FACTORIA DE SUBSIDIOS                    |
| 005 ESP. DIRECCION                                | 064 CENTRO DE RESERVA ELECTROTECNICAS (CENREDE)      |
| 006 CASITA ALUMNOS "MARQUETE BENEFAS"             | 065 GIMNASIO   |
| 007 CHATEL ALUMNOS "BARONES DE LA VICTORIA"       | 066 CORRECTOR PUERTO/GALPAN GOLETAS                  |
| 008 CUARTEL DE ALUMNOS "FRANCISCO RODRIGUEZ"      | 067 CHALET IPS CORRECTOR                             |
| 009 CUARTEL DE ESTACION "MENEZ PAREZ"             | 068 CHALET IPT CAFE SANGRADO                         |
| 010 TIENDA DE LAVANDERIA                          | 069 CHALET IPA CECERIAS                              |
| 011 ESTACION MANTENIMIENTO, MERO AMBIENTE Y SEROP | 070 CHALET IPS CAFE SEGURIDAD                        |
| 012 SERVICIOS ECLESIASTICOS                       | 071 CHALET IPA OJIVANTE MUYO                         |
| 013 EDIFICIO DE ALUMNOS "DONAL NEZAL"             | 072 CHALET IPS CAFE DEL SEAO                         |
| 014 PABEL. SUP. MARINA Y BANDA MEXICA             | 073 CHALET IPS CAFE DE BUSTOS                        |
| 015 ESP. MUELLE DE LANCHAS                        | 074 CHALET IPS CAFE DE ESTUDES                       |
| 016 ESP. MUELLE DE YACHTS                         | 075 RESIDENCIA DE JEFES Y OFICIALES "JAVIER GURROSA" |



ESTADO REFORMADO  
ALZADO OESTE  
ESCALA 1:400



ESTADO REFORMADO  
ALZADO SUR  
ESCALA 1:400

| REVISIONES |             | FECHA | POR |
|------------|-------------|-------|-----|
| 1º         | DESCRIPCIÓN |       |     |
|            |             |       |     |
|            |             |       |     |

|   |  |
|---|--|
| <br>MINISTERIO DE DEFENSA<br>JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO<br>DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL | <br>ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN<br>PONTEVEDRA, MARÍN, ESCUELA NAVAL MILITAR<br>REFORMA Y ADECUACIÓN DEL ACTUAL HOSPITAL<br>DE LA ESCUELA PARA RESIDENCIA DE<br>SUBOFICIALES Y ENFERMERÍA |
|   |  |
| DISEÑO Y COORDINACIÓN:<br>CA, ICA-10 Y JARDINERO  | proyfa.  |
| Para Jefe de Unidad Naval<br>(ALZADO-S)   | ESTADO REFORMADO:<br>ALZADOS SUR Y OESTE   |
| FECHA: 11/00<br>ESCALA: DICIEMBRE 2.000   | SERVICIO: Nº TOTAL PLANOS: Nº DE PLANO: Nº HOJA/Nº TOTAL HOJAS:<br>1AS 1/2   |



ESTADO REFORMADO  
ALZADO ESTE  
ESCALA 1:500

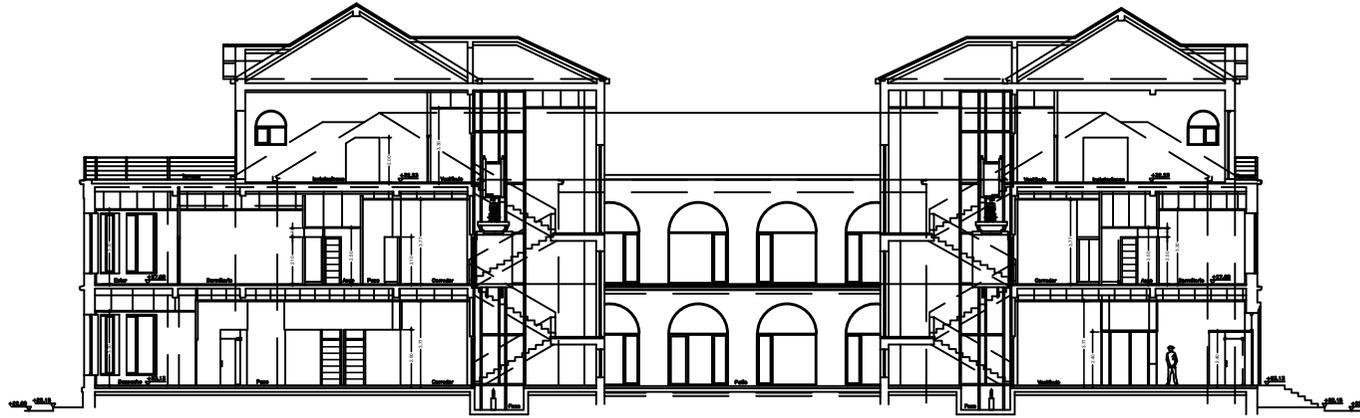


ESTADO REFORMADO  
ALZADO NORTE  
ESCALA 1:500

| REVISIONES |             | FECHA | POR |
|------------|-------------|-------|-----|
| 1º         | DESCRIPCIÓN |       |     |
|            |             |       |     |
|            |             |       |     |

|   |  |   |                     |                               |                           |                                |
|---|--|---|---------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| <br><b>MINISTERIO DE DEFENSA</b><br><b>JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO</b><br><b>DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL</b>                                    |   | <b>ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN</b>   |                     |                               |                           |                                |
|   |  | <b>PONTEVEDRA. MARÍN. ESCUELA NAVAL MILITAR</b><br><b>REFORMA Y ADECUACIÓN DEL ACTUAL HOSPITAL</b><br><b>DE LA ESCUELA PARA RESIDENCIA DE</b><br><b>SUBOFICIALES Y ENFERMERÍA</b> |                     |                               |                           |                                |
| <b>PROYECTO</b><br><small>Para MARÍN. JUBILEO 2010.</small><br><small>EL PROYECTO RECIBIÓ EL VOTO</small><br><small>DE LA COMISIÓN ASSESORA DE LA</small><br><small>ARMADA EN FEBRERO DE 2005.</small><br><small>Por parte de 2005.</small> | <br><b>proyfa.</b>  | <b>ESTADO REFORMADO:</b><br><b>ALZADOS NORTE Y ESTE</b>   |                     |                               |                           |                                |
| <b>EXEQUENTE Y CARGADO:</b><br><small>CA. 004-00 Y 004-00</small>   | <br><b>Jefe de Unidad Naval</b><br><small>(SANTILLÁN)</small> | <b>FECHA</b><br>1100 <b>DECEMBRE 2.005</b>  | <b>SERIE</b><br>1A5 | <b>Nº TOTAL PLANOS</b><br>1A5 | <b>Nº DE PLANO</b><br>1A5 | <b>Nº HOJA/Nº TOTAL</b><br>2/2 |



ESTADO REFORMADO  
SECCIÓN TRANSVERSAL ST1  
ESCALA 1:500



ESTADO REFORMADO  
SECCIÓN LONGITUDINAL SL1  
ESCALA 1:500

| REVISIONES  |                 | FECHA  | POR          |
|---|-----------------|--|--------------|
| 1º  | DESCRIPCIÓN     |  |              |
| <p>MINISTERIO DE DEFENSA<br/>JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO<br/>DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL</p>   |                 |  |              |
| <p>ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN</p>   |                 |  |              |
| <p>PROYECTO:<br/>Pontevedra, Marín. Escuela Naval Militar<br/>Reforma y adecuación del actual Hospital<br/>de la Escuela para residencia de<br/>suboficiales y enfermería</p> |                 | <p>proyfa.</p>                                   |              |
| <p>ESTADO Y CONTENIDO:<br/>E.S. 00-00 Y 00-00</p>   |                 | <p>ESTADO REFORMADO:<br/>SECCIONES ST1 Y SL1</p> |              |
| FECHA   | BOLETIN         | Nº TOTAL PLANOS                                  | Nº DE PLANOS |
| 1100  | DICIEMBRE 2.000 | 148  | 1/2          |
| <p>INDICACIONES:</p>  |                 |  |              |

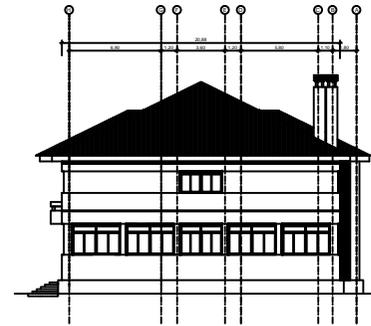
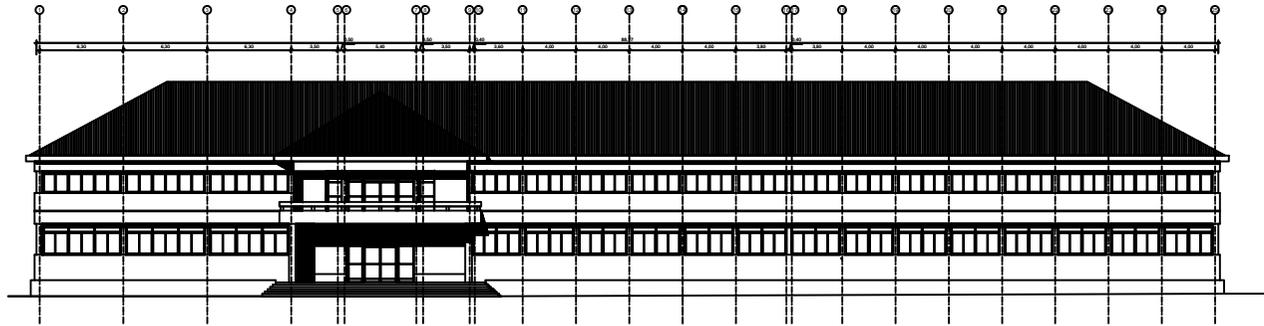
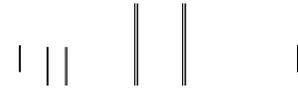
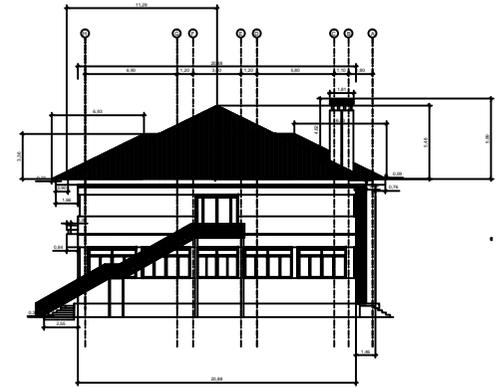
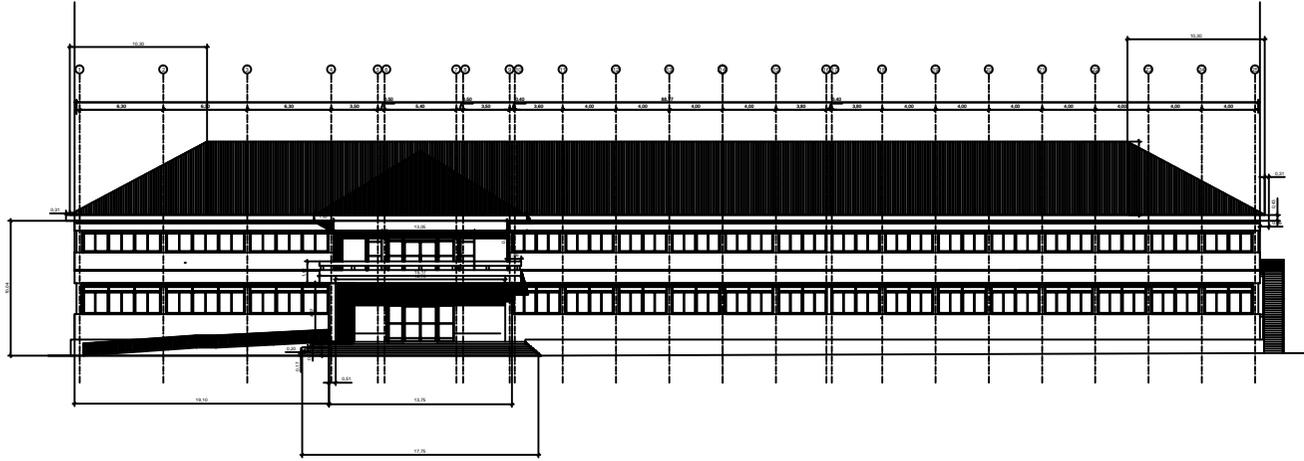


ESTADO REFORMADO  
SECCIÓN TRANSVERSAL ST2  
ESCALA 1/500

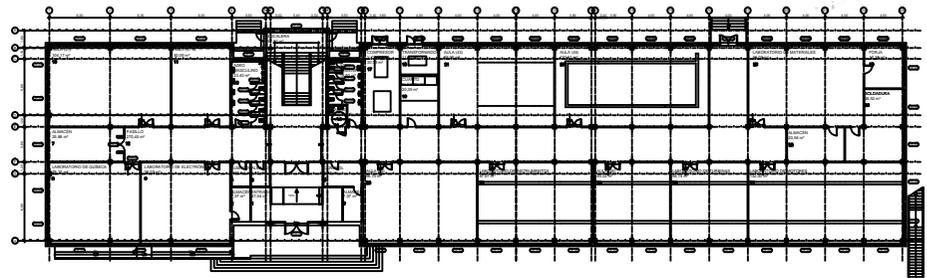
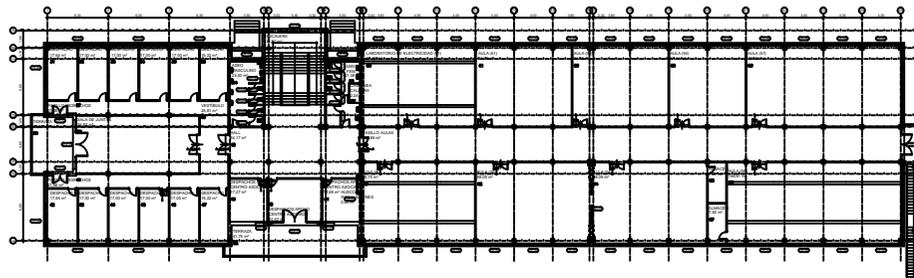
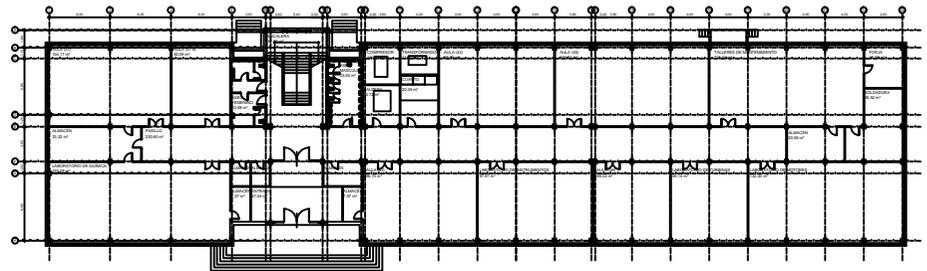
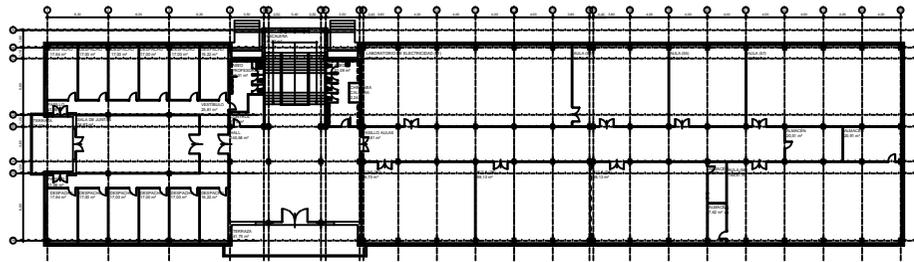


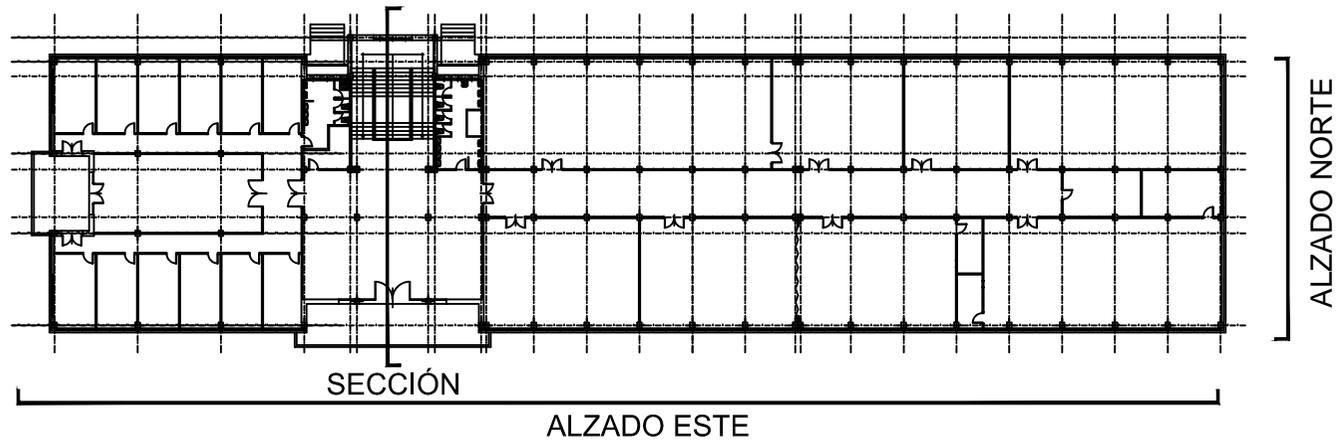
ESTADO REFORMADO  
SECCIÓN LONGITUDINAL SL2  
ESCALA 1/500

| REVISIONES  |   | FECHA  | POR   |
|---|---|--|---|
| 1º  | DESCRIPCIÓN                                 |  |   |
|   |   |  |   |
|   |   |  |   |
|  <b>MINISTERIO DE DEFENSA</b><br><b>JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO</b><br><b>DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL</b>  |   |  |   |
| <b>PROYECTO:</b><br><small>Para el Estado Reformado de la Escuela Naval Militar de Marín, en el ámbito del Programa de la Reforma y Adecuación del Actual Hospital de la Escuela para Residencia de Suboficiales y Enfermería.</small><br><small>Con fecha 1º de 2005.</small>              |   | <b>ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN</b><br><b>PONTEVEDRA. MARÍN. ESCUELA NAVAL MILITAR</b><br><b>REFORMA Y ADECUACIÓN DEL ACTUAL HOSPITAL</b><br><b>DE LA ESCUELA PARA RESIDENCIA DE</b><br><b>SUBOFICIALES Y ENFERMERÍA</b> |   |
| <b>ELABORADO Y CORREGIDO:</b><br><small>CA. 004-05 Y 004-06</small><br>  |   | <b>proyfa.</b><br><b>ESTADO REFORMADO:</b><br><b>SECCIONES ST2 Y SL2</b>   |   |
| <small>Para Jefe de Unidad Naval</small><br><small>(Firma)</small><br><small>ESCALA</small><br><small>1:100</small>   | <small>FECHA</small><br><small>1100</small> | <small>SEÑALAN</small><br><small>1100</small>  | <small>Nº TOTAL PLANOS</small><br><small>108</small><br><small>Nº DE PLANO</small><br><small>108</small><br><small>Nº HOJA/Nº TOTAL</small><br><small>2/2</small> |
| <small>REMARKS:</small>   |   |  |   |



|







ALZADO POSTERIOR



ALZADO LATERAL DERECHO

|  |   |          |            |
|--|---|----------|------------|
| REVISIONES   |   | FECHA    | POR        |
| REVISIONES   |   | FECHA    | POR        |
| <b>MINISTERIO DE DEFENSA</b><br>REPUBLICA DEL AJERO SACRO<br><b>DIRECCION DE INFRAESTRUCTURA NAVAL</b> |   |          |            |
| OBJETO   | ESCUELA NAVAL MILITAR MARIN (PONTEVEDRA)<br>CUARTEL DE ALUMNOS "MARQUES DE LA VICTORIA"                 |          |            |
| UBICACION  | PONTEVEDRA/MARIN/ESCUELA NAVAL MILITAR<br>ADECUACION DEL CUARTEL DE ALUMNOS<br>"MARQUES DE LA VICTORIA" |          |            |
| PROYECTISTA  | D. VICENTE ROCAMONT BELLA   |          |            |
| CONTRATISTA Y GERENTE  | ESTADO ACTUAL   |          |            |
| CLIENTE  | CAPITAN DE MAR Y ACORDE   |          |            |
| FECHA  | AÑO 2000  |          |            |
| ESCALA   | PROYECTO N°   | PLANO N° | HOJA N°    |
| 1/100  | 7   | 3        | 17 DE 1000 |
| PROYECTISTA  | GERENTE   | FECHA    | HOJA N°    |

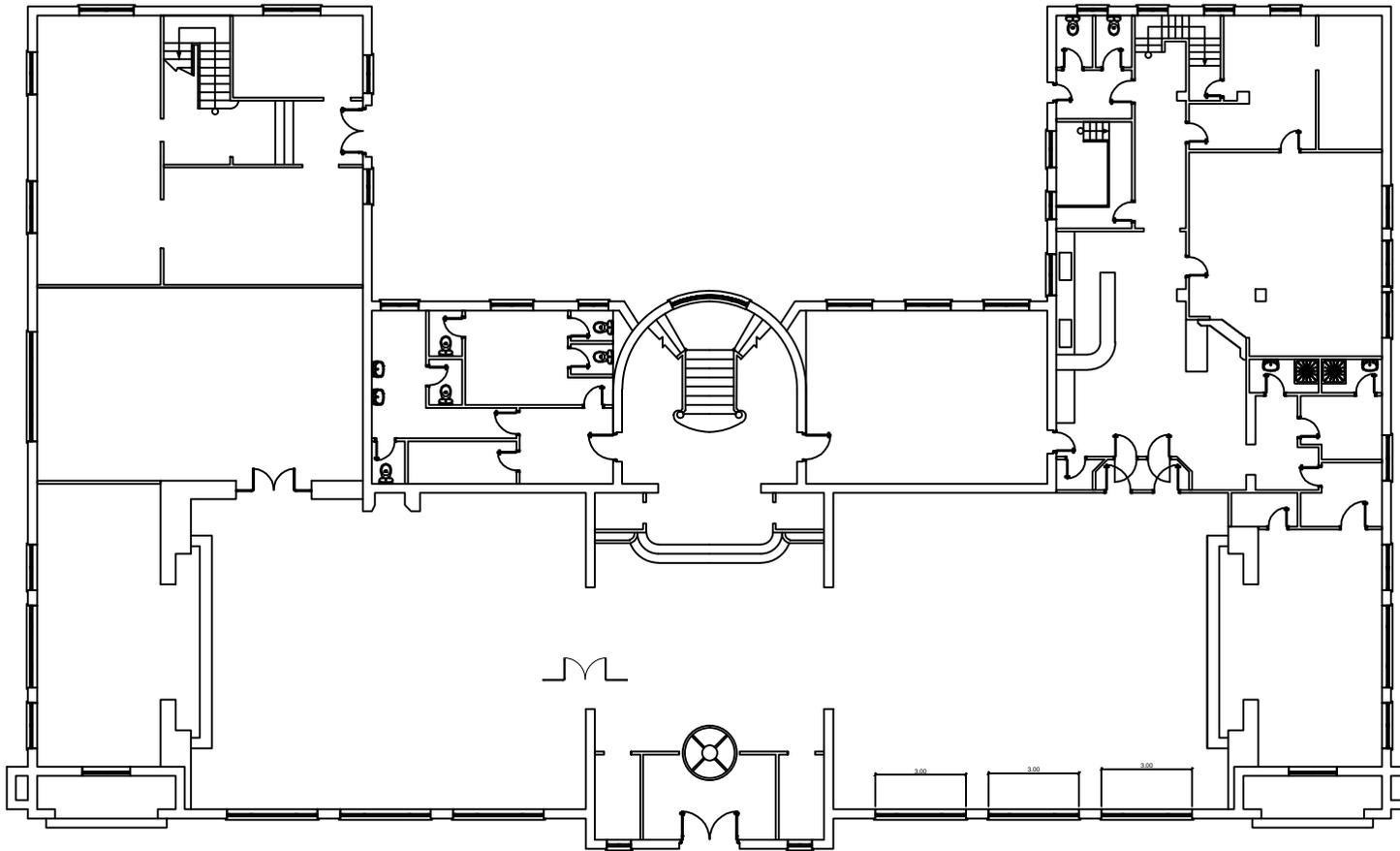


ALZADO PRINCIPAL



ALZADO LATERALIZQUIERDO

| REVISIONES   |   | FECHA    | POR        |
|--|---|----------|------------|
|  |   |          |            |
|  <b>MINISTERIO DE DEFENSA</b><br>REPUBLICA DEL AJUSTE SOCIOECONOMICO<br><b>DIRECCION DE INFRAESTRUCTURA NAVAL</b>  |   |          |            |
| OBJETO   | ESCUOLA NAVAL MILITAR MARIN (PONTEVEDRA)<br>CUARTEL DE ALUMNOS "MARQUES DE LA VICTORIA"                 |          |            |
| UBICACION  | PONTEVEDRA/MARIN/ESCUOLA NAVAL MILITAR<br>ADECUACION DEL CUARTEL DE ALUMNOS<br>"MARQUES DE LA VICTORIA" |          |            |
| PROYECTISTA  | D. VICENTE ROCAMONT BELLA   |          |            |
| CONTRATISTA Y GERENTE  | ESTADO ACTUAL   |          |            |
| CLIENTE  | CAPITAN DE MAR Y<br>AJUSTE  |          |            |
| ESCALA   | ESTADO ACTUAL   |          |            |
| FECHA  | ABRIL - 2000  | PLANO Nº | 17 DE 1008 |
| 1/100  | PROYECTO Nº   | PLANO Nº | 17 DE 1008 |
|  |   |          |            |



| Nº  |           | DESCRIPCIÓN  | FECHA    | POR      |
|---|-----------|--|----------|----------|
| REVISIONES  |           |  |          |          |
|  <b>MINISTERIO DE DEFENSA</b><br><b>JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO</b><br>DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL<br>JEFATURA INSTALACIONES NAVALES FERROL (JINAFER) |           |  |          |          |
| CONSULTOR   |           | <b>PLAZA DE PONTEVEDRA-MARIN</b><br>PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DE:<br>PONTEVEDRA - MARIN - ESCUELA NAVAL MILITAR<br>Plaza de ESPAÑA, s/n - 7º SECTOR.<br>REMODELACIÓN 9 HABITACIONES Y BAÑOS 1ª PL. ALA OESTE<br>RESIDENCIA "JAVIER QUIROGA" |          |          |
| PROYECTADO  |           | PLANO  |          |          |
| EXAMINADO Y CONFORME<br>I.T.A. INGENIERO INDUSTRIAL   |           | JOSÉ MEL FRAGA<br>(34.636.278-A)<br>FECHA JULIO - 2008   |          |          |
| ESCALA  | SIGNATURA | PROYECTO Nº  | 07DE045A | PLANO Nº |
|   |           | Nº DE PLANOS   | 09       | HOJA Nº  |
| ESPECIFICACIONES  |           | NORMAS   |          |          |

## **ANEXO II: TABLAS DE RESULTADOS DE IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL INCIDENTE EN TEJADOS**

El presente anexo recoge los datos procedentes de la simulación realizada con Skelion y PVGIS. Las tablas que se muestran a continuación contienen los datos de irradiación mensual y total anual así como los cálculos realizados para obtener la irradiación solar anual incidente sobre el tejado de cada edificio. También se incluye el cálculo y resultados de la superficie total de tejado de cada edificio. Cada edificio se identifica en las tablas por un código de tres letras como se indica a continuación:

| Edificio  | Identificador |
|---|---------------|
| 1. Aula 14  | AUL14         |
| 2. Barrio industrial Sur  | SUR           |
| 3. Barrio industrial Talleres                                   | TLR           |
| 4. Bazar  | BAZ           |
| 5. Casino de alumnos “Almirante Bonifaz”                        | CAS           |
| 6. Cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”              | CFM           |
| 7. Cuartel de marinería “Méndez Núñez”                          | CMR           |
| 8. Cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria”                  | MDV           |
| 9. Edificio de la Oficina de Correos de la ENM                  | COR           |
| 10. Edificio del Centro Universitario de la Defensa             | CUD           |
| 11. Edificio del Departamento de Táctica e Infantería de Marina | TAC           |
| 12. Hospital  | HSP           |
| 13. Imprenta  | IMP           |
| 14. Edificio de aulas “Isaac Peral”                             | IPL           |
| 15. Jefatura de Estudios  | JDE           |
| 16. Jefatura de Instrucción edificio “Príncipe de Asturias”     | JFI           |
| 17. Lavandería  | LAV           |
| 18. Gimnasio “GGMM Barrutia”                                    | GIM           |
| 19. Residencia de oficiales “Javier Quiroga”                    | RSO           |

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 20. Sección de obras              | OBR  |
| 21. Taller de automóviles 1       | AUT1 |
| 22. Taller de automóviles 2       | AUT2 |
| 23. Edificio muelle de Torpedos 1 | TRP1 |
| 24. Edificio muelle de Torpedos 2 | TRP2 |
| 25. Edificio muelle de Torpedos 3 | TRP3 |
| 26. Túnel del viento              | TDV  |

---

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID                | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)   | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'                |               |
|-------------------|---------------------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|---------------|
| COR 01            | 313,6               | 106,79  | 28    | 57,2 | 81   | 135  | 157  | 185  | 198  | 206  | 193  | 153  | 105  | 64,2 | 52,6 | 132  | 1590 | 772,007184        |               |
| COR 02            | 332,28              | 286,79  | 28    | 41,4 | 61,7 | 114  | 141  | 174  | 191  | 196  | 175  | 129  | 83,9 | 47,6 | 37   | 116  | 1390 | 715,100638        |               |
| <b>Stotal COR</b> | <b>645,88</b>       |         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1487,10782</b> | <b>Htotal</b> |
| TDV 01            | 124,6               | 121,01  | 30,23 | 64,5 | 89,3 | 144  | 162  | 187  | 198  | 207  | 198  | 163  | 115  | 72,1 | 60,2 | 138  | 1660 | 837,223234        |               |
| TDV 02            | 122,45              | 301,01  | 30,23 | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 778,168387        |               |
| <b>StotaTDV</b>   | <b>247,05</b>       |         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1615,39162</b> | <b>Htotal</b> |
| CUD 01            | 249,08              | 180     | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 251,561971        |               |
| CUD 02            | 323,98              | 31,01   | 30,01 | 24,8 | 38,4 | 83,7 | 117  | 157  | 177  | 179  | 147  | 93,9 | 54,6 | 27,9 | 20,6 | 93,4 | 1120 | 233,422493        |               |
| CUD 03            | 547,5               | 211,01  | 28,4  | 74,9 | 101  | 157  | 169  | 190  | 199  | 211  | 206  | 176  | 129  | 84,4 | 72,1 | 148  | 1770 | 623,395797        |               |
| CUD 04            | 235,43              | 31,01   | 30,01 | 24,8 | 38,4 | 83,7 | 117  | 157  | 177  | 179  | 147  | 93,9 | 54,6 | 27,9 | 20,6 | 93,4 | 1120 | 169,623611        |               |
| CUD 05            | 58,32               | 211,01  | 28,38 | 74,9 | 101  | 157  | 169  | 190  | 199  | 211  | 206  | 176  | 129  | 84,4 | 72   | 148  | 1770 | 66,4044619        |               |
| CUD 06            | 140,2               | 211,1   | 28,38 | 74,9 | 101  | 157  | 169  | 190  | 199  | 211  | 206  | 176  | 129  | 84,4 | 72   | 148  | 1770 | 159,634869        |               |
| <b>Stotal CUD</b> | <b>1554,51</b>      |         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1504,0432</b>  | <b>Htotal</b> |
| JFI 01            | 311,23              | 84,98   | 5,13  | 50,1 | 73,4 | 129  | 155  | 189  | 205  | 213  | 194  | 147  | 97,3 | 57,1 | 45   | 130  | 1560 | 337,250146        |               |
| JFI 02            | 263,12              | 264,198 | 5,13  | 51,2 | 74,6 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 149  | 99,1 | 58,5 | 46,4 | 131  | 1570 | 286,945625        |               |
| JFI 03            | 72,16               | 180     | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 78,694118         |               |
| JFI 04            | 69,91               | 354,98  | 7,14  | 42   | 63,7 | 118  | 148  | 185  | 203  | 209  | 186  | 135  | 86,3 | 48,3 | 36,7 | 122  | 1460 | 70,8986969        |               |
| JFI 05            | 54,67               | 174,98  | 7,14  | 59,1 | 84   | 140  | 163  | 193  | 207  | 217  | 202  | 160  | 110  | 67   | 54,5 | 138  | 1660 | 63,0381206        |               |
| JFI 06            | 68,47               | 24      | 8,16  | 41,5 | 63,1 | 117  | 147  | 184  | 202  | 208  | 185  | 134  | 85,4 | 47,8 | 36,2 | 121  | 1450 | 68,9627268        |               |
| JFI 07            | 88,64               | 204     | 8,16  | 59,4 | 84,3 | 141  | 163  | 193  | 207  | 217  | 202  | 160  | 110  | 67,4 | 55   | 138  | 1660 | 102,207774        |               |
| JFI 08            | 176,16              | 180     | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 192,111361        |               |
| JFI 09            | 335,28              | 180     | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 365,639743        |               |
| <b>Stotal JFI</b> | <b>1439,64</b>      |         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1565,74831</b> | <b>Htotal</b> |

| ID                  | S (m2)        | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'                |               |
|---------------------|---------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|---------------|
| AUL14 01            | 49,15         | 121,01 | 34,99 | 65,6 | 90,3 | 144  | 161  | 184  | 194  | 204  | 196  | 162  | 115  | 73,1 | 61,5 | 138  | 1650 | 629,296966        |               |
| AUL14 02            | 15,01         | 31,01  | 48,24 | 20,1 | 27,6 | 61,5 | 88,6 | 124  | 142  | 139  | 109  | 64,5 | 38,5 | 21,5 | 17,5 | 71,2 | 854  | 99,468767         |               |
| AUL14 03            | 14,42         | 207,67 | 51,06 | 85,8 | 111  | 160  | 160  | 170  | 172  | 184  | 191  | 176  | 138  | 95,8 | 84,8 | 144  | 1730 | 193,579576        |               |
| AUL14 04            | 50,29         | 301,01 | 34,99 | 32,8 | 50   | 98,8 | 127  | 161  | 178  | 181  | 157  | 110  | 69,2 | 37,7 | 28,5 | 103  | 1230 | 479,993016        |               |
| <b>Stotal AUL14</b> | <b>128,87</b> |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1402,33833</b> | <b>Htotal</b> |
| BAZ 01              | 50,29         | 121,01 | 34,99 | 65,6 | 90,3 | 144  | 161  | 184  | 194  | 204  | 196  | 162  | 115  | 73,1 | 61,5 | 138  | 1650 | 626,725831        |               |
| BAZ 02              | 15,01         | 31,01  | 48,24 | 20,1 | 27,6 | 61,5 | 88,6 | 124  | 142  | 139  | 109  | 64,5 | 38,5 | 21,5 | 17,5 | 71,2 | 854  | 96,8167674        |               |
| BAZ 03              | 15,67         | 207,67 | 45,74 | 84,4 | 111  | 161  | 164  | 176  | 180  | 192  | 197  | 178  | 138  | 94,5 | 82,9 | 147  | 1760 | 208,302115        |               |
| BAZ 04              | 51,43         | 301,01 | 34,99 | 32,8 | 50   | 98,8 | 127  | 161  | 178  | 181  | 157  | 110  | 69,2 | 37,7 | 28,5 | 103  | 1230 | 477,786254        |               |
| <b>Stotal BAZ</b>   | <b>132,4</b>  |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1409,63097</b> | <b>Htotal</b> |
| TAC 01              | 429,36        | 27,67  | 24,26 | 27,1 | 42,7 | 90,9 | 125  | 166  | 186  | 188  | 158  | 104  | 60,6 | 30,9 | 22,3 | 100  | 1200 | 600               |               |
| TAC 02              | 429,36        | 207,67 | 24,26 | 73   | 99,5 | 155  | 169  | 192  | 202  | 214  | 207  | 175  | 127  | 82,3 | 69,8 | 147  | 1770 | 885               |               |
| <b>Stotal TAC</b>   | <b>858,72</b> |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1485</b>       | <b>Htotal</b> |
| JDE 01              | 286,93        | 124,23 | 37,78 | 67,9 | 92,7 | 146  | 161  | 183  | 192  | 202  | 196  | 164  | 118  | 75,6 | 64   | 138  | 1660 | 702,61661         |               |
| JDE 02              | 35,96         | 117,67 | 34,56 | 63,7 | 88,2 | 142  | 160  | 184  | 194  | 204  | 195  | 160  | 113  | 71,1 | 59,5 | 136  | 1630 | 86,4652604        |               |
| JDE 03              | 34,75         | 213,69 | 37,71 | 78,9 | 105  | 158  | 167  | 184  | 191  | 203  | 202  | 177  | 133  | 88,7 | 76,8 | 147  | 1760 | 90,2197964        |               |
| JDE 04              | 320,26        | 304,23 | 37,79 | 30,4 | 46,4 | 93,7 | 122  | 156  | 173  | 176  | 151  | 104  | 64,9 | 34,8 | 26,2 | 98,2 | 1180 | 557,466883        |               |
| <b>Stotal JDE</b>   | <b>677,9</b>  |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1436,76855</b> | <b>Htotal</b> |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID         | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav | Haño | H'         |        |
|------------|---------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------------|--------|
| CAS 01     | 150,34              | 111,8  | 40,16 | 60,9 | 84,6 | 137  | 155  | 179  | 188  | 197  | 189  | 155  | 109  | 67,9 | 56,7 | 132 | 1580 | 127,981337 |        |
| CAS 02     | 147,06              | 291,8  | 40,16 | 35,5 | 53,4 | 103  | 129  | 161  | 176  | 180  | 159  | 114  | 73,5 | 40,9 | 31,4 | 105 | 1260 | 99,8343777 |        |
| CAS 03     | 59,78               | 111,8  | 24,78 | 58,9 | 83,2 | 138  | 160  | 187  | 200  | 209  | 197  | 157  | 108  | 66,2 | 54,4 | 135 | 1620 | 52,1778204 |        |
| CAS 04     | 190,67              | 21,8   | 19,76 | 29,2 | 46,6 | 97   | 130  | 171  | 191  | 195  | 166  | 111  | 65,6 | 33,6 | 24,2 | 105 | 1260 | 129,439826 |        |
| CAS 05     | 190,67              | 201,08 | 19,76 | 70,5 | 96,9 | 153  | 169  | 194  | 204  | 216  | 208  | 173  | 124  | 79,6 | 67   | 146 | 1750 | 179,777536 |        |
| CAS 06     | 59,78               | 291,8  | 24,78 | 40,2 | 60,4 | 113  | 141  | 175  | 192  | 198  | 175  | 127  | 82,3 | 46,3 | 35,7 | 116 | 1390 | 44,7698582 |        |
| CAS 07     | 145,27              | 111,8  | 40,6  | 60,9 | 84,6 | 137  | 155  | 178  | 188  | 197  | 189  | 154  | 109  | 67,9 | 56,7 | 131 | 1580 | 123,66535  |        |
| CAS 08     | 148,98              | 291,8  | 40,6  | 35,4 | 53,2 | 102  | 128  | 160  | 176  | 179  | 159  | 113  | 73,2 | 40,7 | 31,3 | 104 | 1250 | 100,335124 |        |
| CAS 09     | 30,8                | 111,8  | 40,1  | 60,9 | 84,6 | 137  | 155  | 179  | 189  | 198  | 189  | 155  | 109  | 67,9 | 56,7 | 132 | 1580 | 26,2194038 |        |
| CAS 10     | 141,71              | 21,8   | 38,88 | 21,9 | 28,1 | 64,9 | 97   | 140  | 161  | 159  | 123  | 70,4 | 39,8 | 23,2 | 19,1 | 79  | 947  | 72,3045263 |        |
| CAS 11     | 141,71              | 201,8  | 38,88 | 83,6 | 111  | 163  | 169  | 183  | 188  | 201  | 203  | 181  | 139  | 93,6 | 81,6 | 150 | 1800 | 137,432046 |        |
| CAS 12     | 30,8                | 291,8  | 40,1  | 35,6 | 53,4 | 103  | 129  | 161  | 176  | 180  | 159  | 114  | 73,5 | 40,9 | 31,5 | 105 | 1260 | 20,9091448 |        |
| CAS 13     | 29,8                | 111,17 | 30,97 | 59,7 | 83,8 | 138  | 158  | 184  | 196  | 205  | 194  | 156  | 108  | 66,9 | 55,3 | 134 | 1610 | 25,8497977 |        |
| CAS 14     | 179,43              | 21,17  | 30,42 | 22,7 | 33,9 | 77,8 | 112  | 155  | 176  | 177  | 143  | 87,5 | 48,9 | 24,7 | 20,4 | 90  | 1080 | 104,408011 |        |
| CAS 15     | 179,43              | 201,17 | 30,42 | 78,8 | 106  | 160  | 171  | 189  | 197  | 209  | 207  | 180  | 134  | 88,5 | 76,1 | 150 | 1800 | 174,013351 |        |
| CAS 16     | 29,8                | 291,17 | 30,96 | 38,6 | 57,9 | 109  | 137  | 170  | 187  | 191  | 169  | 123  | 79,1 | 44,4 | 34,2 | 112 | 1340 | 21,5147384 |        |
| Stotal CAS | 1856,03             |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      | 1440,63225 | Htotal |
| GIM 01     | 453,75              | 318,27 | 14,74 | 37,6 | 57,7 | 111  | 141  | 179  | 198  | 203  | 178  | 126  | 79,2 | 43,3 | 32,4 | 116 | 1390 | 256,052038 |        |
| GIM 02     | 481,39              | 138,27 | 13,34 | 61,8 | 86,9 | 143  | 164  | 193  | 206  | 216  | 203  | 163  | 113  | 69,6 | 57,2 | 140 | 1680 | 328,324388 |        |
| GIM 03     | 79,06               | 318,27 | 14    | 38,2 | 58,5 | 112  | 142  | 180  | 198  | 204  | 179  | 128  | 80,2 | 44   | 33,1 | 116 | 1400 | 44,934679  |        |
| GIM 04     | 79,06               | 138,27 | 14    | 62,3 | 87,5 | 143  | 164  | 193  | 206  | 216  | 203  | 163  | 113  | 70,2 | 57,8 | 140 | 1680 | 53,9216148 |        |
| GIM 05     | 684,98              | 318,27 | 12,28 | 39,6 | 60,4 | 114  | 144  | 181  | 200  | 206  | 181  | 130  | 82,4 | 45,7 | 34,5 | 118 | 1420 | 394,878086 |        |
| GIM 06     | 684,98              | 138,27 | 12,28 | 61   | 86,1 | 142  | 164  | 193  | 206  | 216  | 203  | 162  | 112  | 68,8 | 56,4 | 139 | 1670 | 464,398876 |        |
| Stotal GIM | 2463,22             |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      | 1542,50968 | Htotal |

ANTONIO DUELO URCELAY

| ID                 | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'                |               |
|--------------------|---------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|---------------|
| SUR 01             | 7,88                | 36,72  | 44,28 | 21,8 | 32   | 70,3 | 99   | 135  | 152  | 152  | 123  | 75,8 | 44,9 | 23,9 | 18,4 | 79   | 947  | 23,5375978        |               |
| SUR 02             | 79,89               | 306,72 | 36,03 | 30   | 45,9 | 93,4 | 122  | 157  | 175  | 177  | 151  | 103  | 64,1 | 34,4 | 25,7 | 98,2 | 1180 | 297,344815        |               |
| SUR 03             | 79,89               | 126,72 | 36,03 | 68,9 | 94   | 147  | 163  | 184  | 193  | 204  | 198  | 166  | 119  | 76,7 | 65   | 140  | 1680 | 423,33838         |               |
| SUR 04             | 83,85               | 306,72 | 36,03 | 30   | 45,9 | 93,4 | 122  | 157  | 175  | 177  | 151  | 103  | 64,1 | 34,4 | 25,7 | 98,2 | 1180 | 312,083649        |               |
| SUR 05             | 65,53               | 126,72 | 48,81 | 70,8 | 94,9 | 145  | 156  | 173  | 179  | 189  | 188  | 162  | 119  | 78,3 | 67,4 | 135  | 1620 | 334,842922        |               |
| <b>Stotal SUR</b>  | <b>317,04</b>       |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1391,14736</b> | <b>Htotal</b> |
| AUT1 01            | 24,95               | 36,72  | 36,87 | 23,9 | 36   | 78,4 | 109  | 147  | 166  | 167  | 137  | 86,6 | 50,9 | 26,5 | 20   | 87,4 | 1050 | 63,1782665        |               |
| AUT1 02            | 183,24              | 306,72 | 31,01 | 31,9 | 48,9 | 97,8 | 127  | 163  | 181  | 184  | 159  | 109  | 68   | 36,6 | 27,4 | 103  | 1230 | 543,542179        |               |
| AUT1 03            | 163,03              | 126,72 | 31,01 | 67,4 | 92,6 | 147  | 164  | 187  | 197  | 208  | 200  | 166  | 118  | 75,3 | 63,3 | 141  | 1690 | 664,44967         |               |
| AUT1 04            | 22,32               | 216,72 | 23,36 | 70   | 96,1 | 152  | 168  | 192  | 203  | 214  | 206  | 171  | 123  | 79,1 | 66,7 | 145  | 1740 | 93,6593836        |               |
| AUT1 05            | 21,12               | 157,15 | 34,89 | 81,2 | 108  | 161  | 170  | 186  | 193  | 205  | 205  | 181  | 135  | 90,4 | 78,2 | 150  | 1790 | 91,1705976        |               |
| <b>Stotal AUT1</b> | <b>414,66</b>       |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1456,0001</b>  | <b>Htotal</b> |
| AUT2 01            | 40,91               | 36,72  | 33,69 | 25   | 38,2 | 82,2 | 114  | 153  | 172  | 173  | 143  | 91,6 | 53,9 | 28   | 20,8 | 91,1 | 1090 | 39,1748076        |               |
| AUT2 02            | 248,05              | 306,72 | 21,62 | 36,1 | 55,3 | 107  | 137  | 174  | 192  | 197  | 172  | 121  | 76,3 | 41,6 | 31,3 | 112  | 1340 | 292,008118        |               |
| AUT2 03            | 496,1               | 126,72 | 21,63 | 63,7 | 88,8 | 144  | 164  | 191  | 203  | 213  | 202  | 164  | 114  | 71,5 | 59,3 | 140  | 1680 | 732,199459        |               |
| AUT2 04            | 53,37               | 306,72 | 22,3  | 35,9 | 54,9 | 107  | 136  | 173  | 191  | 196  | 171  | 120  | 75,6 | 41,3 | 31   | 111  | 1330 | 62,3590856        |               |
| AUT2 05            | 193,12              | 306,72 | 21,63 | 36,1 | 55,3 | 107  | 137  | 174  | 192  | 197  | 172  | 121  | 76,3 | 41,6 | 31,3 | 112  | 1340 | 227,343712        |               |
| AUT2 06            | 40,91               | 216,72 | 33,69 | 75,9 | 102  | 156  | 168  | 187  | 195  | 207  | 204  | 175  | 130  | 85,5 | 73,4 | 147  | 1760 | 63,2547352        |               |
| AUT2 07            | 65,82               | 180    | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 90,7838142        |               |
| <b>Stotal AUT2</b> | <b>1138,28</b>      |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1507,12373</b> | <b>Htotal</b> |
| IMP 01             | 168,02              | 306,72 | 26,61 | 33,8 | 51,8 | 102  | 132  | 168  | 187  | 190  | 165  | 115  | 71,7 | 38,8 | 29,1 | 107  | 1280 | 613,946903        |               |
| IMP 02             | 159,91              | 126,72 | 26,61 | 65,8 | 91,1 | 146  | 164  | 189  | 200  | 211  | 201  | 165  | 117  | 73,6 | 61,6 | 140  | 1690 | 771,475592        |               |
| IMP 03             | 22,37               | 216,72 | 33,89 | 76   | 102  | 156  | 168  | 187  | 195  | 207  | 203  | 175  | 130  | 85,6 | 73,5 | 146  | 1760 | 112,392806        |               |
| <b>Stotal IMP</b>  | <b>350,3</b>        |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1497,8153</b>  | <b>Htotal</b> |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID                | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'                |               |
|-------------------|---------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|---------------|
| OBR 01            | 211,32              | 180    | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 274,7461          |               |
| OBR 02            | 32,36               | 36,72  | 35,67 | 24,2 | 36,9 | 79,7 | 111  | 149  | 168  | 169  | 139  | 88,4 | 52   | 27,1 | 20,3 | 88,8 | 1070 | 28,6736891        |               |
| OBR 03            | 91,91               | 306,72 | 25,5  | 34,2 | 52,5 | 103  | 133  | 170  | 188  | 192  | 166  | 116  | 72,6 | 39,4 | 29,5 | 108  | 1300 | 98,9458081        |               |
| OBR 04            | 91,89               | 126,72 | 25,5  | 65,4 | 90,6 | 145  | 164  | 190  | 201  | 211  | 201  | 165  | 116  | 73,2 | 61,1 | 140  | 1680 | 127,840604        |               |
| OBR 05            | 118,46              | 306,72 | 5,18  | 46,9 | 69,6 | 125  | 152  | 187  | 205  | 212  | 191  | 143  | 93,2 | 53,8 | 41,9 | 127  | 1520 | 149,109941        |               |
| OBR 06            | 100,72              | 36,72  | 24,18 | 29,6 | 46,3 | 95   | 127  | 167  | 186  | 190  | 161  | 108  | 64,7 | 33,8 | 24,7 | 103  | 1230 | 102,591672        |               |
| OBR 07            | 32,51               | 306,72 | 38,07 | 29,3 | 44,8 | 91,5 | 120  | 154  | 172  | 174  | 148  | 101  | 62,7 | 33,5 | 25,1 | 96,3 | 1160 | 31,2295869        |               |
| OBR 08            | 32,51               | 126,72 | 38,07 | 69,4 | 94,3 | 147  | 162  | 183  | 191  | 202  | 197  | 166  | 120  | 77,1 | 65,6 | 139  | 1670 | 44,9598364        |               |
| OBR 09            | 100,72              | 216,72 | 24,18 | 70,5 | 96,6 | 152  | 168  | 192  | 202  | 213  | 206  | 172  | 124  | 79,7 | 67,3 | 145  | 1740 | 145,129683        |               |
| OBR 10            | 211,32              | 180    | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 274,7461          |               |
| OBR 11            | 91,92               | 306,72 | 25,5  | 34,2 | 52,5 | 103  | 133  | 170  | 188  | 192  | 166  | 116  | 72,6 | 39,4 | 29,5 | 108  | 1300 | 98,9565736        |               |
| OBR 12            | 91,92               | 126,72 | 25,5  | 65,4 | 90,6 | 145  | 164  | 190  | 201  | 211  | 201  | 165  | 116  | 73,2 | 61,1 | 140  | 1680 | 127,882341        |               |
| <b>Stotal OBR</b> | <b>1207,56</b>      |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1504,81193</b> | <b>Htotal</b> |
| LAV 01            | 256,7               | 306,72 | 25,95 | 34,1 | 52,1 | 103  | 132  | 169  | 187  | 191  | 166  | 116  | 72,4 | 39,2 | 29,4 | 108  | 1290 | 645               |               |
| LAV 02            | 256,7               | 126,72 | 25,95 | 65,6 | 90,8 | 146  | 164  | 189  | 201  | 211  | 201  | 165  | 116  | 73,4 | 61,3 | 140  | 1680 | 840               |               |
| <b>Stotal LAV</b> | <b>513,4</b>        |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1485</b>       | <b>Htotal</b> |
| TLR 01            | 58,12               | 36,72  | 23,81 | 29,8 | 46,5 | 95,6 | 128  | 168  | 187  | 190  | 162  | 109  | 65   | 33,9 | 24,8 | 103  | 1240 | 51,7557164        |               |
| TLR 02            | 455,81              | 306,72 | 20,99 | 36,5 | 55,8 | 108  | 138  | 175  | 193  | 198  | 173  | 122  | 76,7 | 42   | 31,6 | 112  | 1350 | 441,904731        |               |
| TLR 03            | 455,81              | 126,72 | 20,99 | 63,4 | 88,5 | 144  | 164  | 191  | 203  | 213  | 202  | 163  | 114  | 71,2 | 59   | 140  | 1680 | 549,925888        |               |
| TLR 04            | 58,12               | 261,72 | 23,81 | 70,3 | 96,4 | 152  | 168  | 192  | 202  | 213  | 206  | 172  | 124  | 79,5 | 67   | 145  | 1740 | 72,6249569        |               |
| TLR 05            | 19,23               | 36,72  | 36,87 | 23,9 | 36   | 78,4 | 109  | 147  | 166  | 167  | 137  | 86,6 | 50,9 | 26,5 | 20   | 87,4 | 1050 | 14,5003878        |               |
| TLR 06            | 163,08              | 306,72 | 37,96 | 29,3 | 44,9 | 91,6 | 120  | 155  | 172  | 174  | 149  | 101  | 62,8 | 33,6 | 25,1 | 96,4 | 1160 | 135,853154        |               |
| TLR 07            | 163,08              | 126,72 | 37,96 | 69,3 | 94,3 | 147  | 162  | 183  | 191  | 202  | 197  | 166  | 120  | 77,1 | 65,5 | 139  | 1670 | 195,581696        |               |
| TLR 08            | 19,23               | 216,72 | 36,87 | 77,3 | 103  | 157  | 167  | 185  | 192  | 204  | 202  | 175  | 131  | 87   | 75,1 | 146  | 1760 | 24,3054119        |               |
| <b>Stotal TLR</b> | <b>1392,48</b>      |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>1486,45194</b> | <b>Htotal</b> |

| ID         | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav | Haño | H'         |        |
|------------|---------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------------|--------|
| CFM 01     | 61,89               | 66,71  | 17,29 | 42,6 | 63,6 | 117  | 145  | 181  | 198  | 204  | 182  | 134  | 85,6 | 48,4 | 37,3 | 120 | 1440 | 28,4254945 |        |
| CFM 02     | 160,2               | 336,71 | 17,39 | 31,7 | 50,1 | 102  | 134  | 174  | 194  | 198  | 170  | 116  | 70,1 | 36,6 | 26,4 | 109 | 1300 | 66,4249012 |        |
| CFM 03     | 218,16              | 156,71 | 17,39 | 68,2 | 94,4 | 150  | 168  | 194  | 205  | 216  | 207  | 170  | 121  | 76,7 | 64,1 | 145 | 1740 | 121,073592 |        |
| CFM 04     | 239,07              | 336,71 | 15,2  | 33,9 | 53,1 | 106  | 138  | 177  | 196  | 201  | 174  | 121  | 73,8 | 39,2 | 28,5 | 112 | 1340 | 102,17742  |        |
| CFM 05     | 223,91              | 336,71 | 17,39 | 31,7 | 50,1 | 102  | 134  | 174  | 194  | 198  | 170  | 116  | 70,1 | 36,6 | 26,4 | 109 | 1300 | 92,8414459 |        |
| CFM 06     | 262,53              | 156,71 | 17,39 | 68,2 | 94,4 | 150  | 168  | 194  | 205  | 216  | 207  | 170  | 121  | 76,7 | 64,1 | 145 | 1740 | 145,697882 |        |
| CFM 07     | 61,89               | 246,71 | 17,29 | 57,5 | 81,7 | 138  | 160  | 190  | 204  | 213  | 198  | 156  | 107  | 65,6 | 53,5 | 135 | 1620 | 31,9786813 |        |
| CFM 08     | 61,09               | 66,71  | 17,29 | 42,6 | 63,6 | 117  | 145  | 181  | 198  | 204  | 182  | 134  | 85,6 | 48,4 | 37,3 | 120 | 1440 | 28,058062  |        |
| CFM 09     | 215,55              | 336,71 | 17,6  | 31,4 | 49,8 | 101  | 134  | 174  | 194  | 198  | 170  | 116  | 69,8 | 36,4 | 26,2 | 108 | 1300 | 89,3750777 |        |
| CFM 10     | 158,29              | 156,71 | 17,6  | 68,4 | 94,6 | 150  | 168  | 194  | 205  | 216  | 207  | 171  | 121  | 76,9 | 64,3 | 145 | 1740 | 87,8471711 |        |
| CFM 11     | 244,17              | 156,71 | 15,39 | 66,4 | 92,4 | 148  | 167  | 194  | 206  | 217  | 206  | 168  | 119  | 74,8 | 62,2 | 143 | 1720 | 133,950952 |        |
| CFM 12     | 257,97              | 336,71 | 17,6  | 31,4 | 49,8 | 101  | 134  | 174  | 194  | 198  | 170  | 116  | 69,8 | 36,4 | 26,2 | 108 | 1300 | 106,963994 |        |
| CFM 13     | 214,27              | 156,71 | 17,6  | 68,4 | 94,6 | 150  | 168  | 194  | 205  | 216  | 207  | 171  | 121  | 76,9 | 64,3 | 145 | 1740 | 118,914735 |        |
| CFM 14     | 61,09               | 246,71 | 17,29 | 57,5 | 81,7 | 138  | 160  | 190  | 204  | 213  | 198  | 156  | 107  | 65,6 | 53,5 | 135 | 1620 | 31,5653197 |        |
| CFM 15     | 223,81              | 180    | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131 | 1570 | 112,073825 |        |
| CFM 16     | 179,55              | 66,71  | 19,6  | 41,6 | 62,3 | 115  | 144  | 179  | 196  | 202  | 180  | 131  | 84   | 47,3 | 36,4 | 118 | 1420 | 81,3202691 |        |
| CFM 17     | 179,55              | 246,71 | 19,6  | 58,2 | 82,5 | 139  | 160  | 189  | 203  | 212  | 198  | 157  | 108  | 66,3 | 54,3 | 136 | 1630 | 93,346506  |        |
| CFM 18     | 55,87               | 66,71  | 17,87 | 42,3 | 63,3 | 116  | 145  | 180  | 197  | 203  | 181  | 133  | 85,2 | 48,1 | 37,1 | 119 | 1430 | 25,4823667 |        |
| CFM 19     | 56,41               | 246,71 | 17,29 | 57,5 | 81,7 | 138  | 160  | 190  | 204  | 213  | 198  | 156  | 107  | 65,6 | 53,5 | 135 | 1620 | 29,1471548 |        |
| Stotal CFM | 3135,27             |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      | 1526,66485 | Htotal |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID         | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|------------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| RSO 01     | 38,57               | 10    | 26,57 | 23   | 34,6 | 81,3 | 118  | 161  | 182  | 183  | 150  | 93,1 | 50,9 | 24,9 | 20,9 | 93,5 | 1120 | 35,6190272 |        |
| RSO 02     | 162,87              | 100   | 24,78 | 53,8 | 77,1 | 131  | 155  | 185  | 198  | 207  | 191  | 149  | 101  | 60,5 | 49   | 130  | 1560 | 209,498099 |        |
| RSO 03     | 118,12              | 280   | 24,78 | 45,1 | 66,5 | 120  | 146  | 179  | 195  | 201  | 182  | 136  | 89,6 | 51,9 | 40,8 | 121  | 1450 | 141,22313  |        |
| RSO 04     | 64,73               | 10    | 23,2  | 24,5 | 39,3 | 88,2 | 124  | 166  | 186  | 189  | 157  | 101  | 57   | 27,9 | 20,4 | 98,4 | 1180 | 62,9799058 |        |
| RSO 05     | 108,52              | 190   | 23,2  | 74,9 | 102  | 158  | 171  | 193  | 202  | 214  | 209  | 178  | 130  | 84,2 | 71,6 | 149  | 1790 | 160,168537 |        |
| RSO 06     | 38,57               | 10    | 26,57 | 23   | 34,6 | 81,3 | 118  | 161  | 182  | 183  | 150  | 93,1 | 50,9 | 24,9 | 20,9 | 93,5 | 1120 | 35,6190272 |        |
| RSO 07     | 118,12              | 100   | 24,78 | 53,8 | 77,1 | 131  | 155  | 185  | 198  | 207  | 191  | 149  | 101  | 60,5 | 49   | 130  | 1560 | 151,936609 |        |
| RSO 08     | 162,87              | 280   | 24,78 | 45,1 | 66,5 | 120  | 146  | 179  | 195  | 201  | 182  | 136  | 89,6 | 51,9 | 40,8 | 121  | 1450 | 194,725798 |        |
| RSO 09     | 64,73               | 10    | 23,2  | 24,5 | 39,3 | 88,2 | 124  | 166  | 186  | 189  | 157  | 101  | 57   | 27,9 | 20,4 | 98,4 | 1180 | 62,9799058 |        |
| RSO 10     | 108,52              | 190   | 23,2  | 74,9 | 102  | 158  | 171  | 193  | 202  | 214  | 209  | 178  | 130  | 84,2 | 71,6 | 149  | 1790 | 160,168537 |        |
| RSO 11     | 30,23               | 190   | 29,74 | 80,1 | 108  | 162  | 172  | 190  | 197  | 210  | 208  | 182  | 136  | 89,8 | 77,3 | 151  | 1810 | 45,1160547 |        |
| RSO 12     | 59,77               | 100   | 30,96 | 54   | 77,1 | 131  | 153  | 182  | 194  | 202  | 189  | 148  | 101  | 60,7 | 49,3 | 128  | 1540 | 75,8959094 |        |
| RSO 13     | 59,77               | 280   | 30,96 | 43,9 | 64,7 | 118  | 143  | 175  | 190  | 196  | 177  | 132  | 87,3 | 50,3 | 39,7 | 118  | 1420 | 69,9819425 |        |
| RSO 14     | 23,4                | 100   | 30,76 | 54   | 77,1 | 131  | 153  | 182  | 195  | 203  | 189  | 148  | 101  | 60,7 | 49,3 | 128  | 1540 | 29,7133057 |        |
| RSO 15     | 23,4                | 280   | 30,76 | 43,9 | 64,8 | 118  | 143  | 175  | 190  | 196  | 177  | 132  | 87,4 | 50,4 | 39,8 | 118  | 1420 | 27,3979832 |        |
| RSO 16     | 6,12                | 82    | 32,04 | 44,7 | 65,6 | 117  | 143  | 175  | 189  | 195  | 177  | 133  | 87,2 | 50,3 | 39,8 | 118  | 1420 | 7,16562637 |        |
| RSO 17     | 6,12                | 46    | 32,04 | 28,7 | 44,3 | 90,8 | 122  | 159  | 177  | 179  | 152  | 102  | 61,5 | 32,3 | 24   | 97,6 | 1170 | 5,90407243 |        |
| RSO 18     | 6,12                | 10    | 32,04 | 23,1 | 28,4 | 70,5 | 107  | 151  | 173  | 173  | 138  | 79,7 | 41,7 | 24,5 | 20,2 | 85,9 | 1030 | 5,19760222 |        |
| RSO 19     | 6,12                | 334   | 32,04 | 22,8 | 34,5 | 78,1 | 111  | 153  | 174  | 175  | 141  | 86,8 | 49,7 | 25,3 | 20,2 | 89,3 | 1070 | 5,39945085 |        |
| RSO 20     | 6,12                | 298   | 32,04 | 35,2 | 53,2 | 104  | 131  | 166  | 183  | 187  | 163  | 115  | 73,5 | 40,4 | 30,7 | 107  | 1280 | 6,45915616 |        |
| Stotal RSO | 1212,79             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1493,14968 | Htotal |

| ID     | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |
|--------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| HSP 01 | 10,6                | 345   | 28,02 | 22,9 | 34,3 | 79,9 | 116  | 159  | 180  | 181  | 148  | 90,7 | 50   | 24,6 | 20,7 | 92,1 | 1110 | 5,41740143 |
| HSP 02 | 109,49              | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 52,4288062 |
| HSP 03 | 85,82               | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 71,5202888 |
| HSP 04 | 9,75                | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 8,12541151 |
| HSP 05 | 139,67              | 255   | 35,13 | 56,8 | 80,1 | 134  | 154  | 181  | 193  | 201  | 189  | 151  | 105  | 64,8 | 53,3 | 130  | 1560 | 100,32055  |
| HSP 06 | 63,85               | 75    | 31,78 | 41,3 | 61,3 | 112  | 140  | 172  | 187  | 192  | 173  | 127  | 82,2 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 40,2757506 |
| HSP 07 | 85,82               | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 41,0945306 |
| HSP 08 | 85,82               | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 71,5202888 |
| HSP 09 | 63,85               | 75    | 31,78 | 41,3 | 61,3 | 112  | 140  | 172  | 187  | 192  | 173  | 127  | 82,2 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 40,2757506 |
| HSP 10 | 85,82               | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 41,0945306 |
| HSP 11 | 9,39                | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 4,49636031 |
| HSP 12 | 109,11              | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 90,9296051 |
| HSP 13 | 9,56                | 165   | 31,4  | 80,6 | 108  | 162  | 171  | 189  | 196  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90   | 77,6 | 151  | 1810 | 7,96707016 |
| HSP 14 | 9,56                | 345   | 31,4  | 23,2 | 30,7 | 73,6 | 109  | 153  | 174  | 175  | 140  | 82,7 | 44,9 | 23,9 | 20,3 | 87,5 | 1050 | 4,62178103 |
| HSP 15 | 109,46              | 345   | 31,4  | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 52,4144409 |
| HSP 16 | 85,85               | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 71,54529   |
| HSP 17 | 9,7                 | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 8,08374273 |
| HSP 18 | 63,85               | 255   | 31,78 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 183  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 46,1554222 |
| HSP 19 | 139,67              | 75    | 35,13 | 40,4 | 60,1 | 110  | 137  | 169  | 184  | 189  | 170  | 125  | 80,5 | 45,5 | 35,5 | 112  | 1350 | 86,8158608 |
| HSP 20 | 84,67               | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 40,5438581 |
| HSP 21 | 84,67               | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 70,5619069 |
| HSP 22 | 63,85               | 255   | 31,78 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 183  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 46,1554222 |
| HSP 23 | 9,39                | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 4,49636031 |
| HSP 24 | 85,82               | 345   | 31,78 | 23,2 | 30,2 | 72,9 | 109  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 41,0945306 |
| HSP 25 | 109,11              | 165   | 31,78 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 195  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,9 | 151  | 1810 | 90,9296051 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID         | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|------------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| HSP 26     | 9,56                | 165   | 31,4  | 80,6 | 108  | 162  | 171  | 189  | 196  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90   | 77,6 | 151  | 1810 | 7,96707016 |        |
| HSP 27     | 40,03               | 345   | 32,14 | 23,1 | 30   | 72,1 | 108  | 152  | 173  | 173  | 138  | 81   | 43,7 | 24,5 | 20,1 | 86,5 | 1040 | 19,1681899 |        |
| HSP 28     | 35,06               | 75    | 31,76 | 41,3 | 61,4 | 112  | 140  | 172  | 187  | 193  | 173  | 127  | 82,2 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 22,1153926 |        |
| HSP 29     | 35,06               | 255   | 31,76 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 183  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 25,343917  |        |
| HSP 30     | 35,28               | 165   | 31,39 | 80,6 | 108  | 162  | 171  | 189  | 196  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90   | 77,6 | 151  | 1810 | 29,401489  |        |
| HSP 31     | 16,45               | 75    | 31,99 | 41,2 | 61,3 | 112  | 139  | 172  | 187  | 192  | 173  | 127  | 82,1 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 10,3764463 |        |
| HSP 32     | 16,45               | 255   | 31,99 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 182  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 11,891256  |        |
| HSP 33     | 13,22               | 165   | 25,34 | 76,1 | 103  | 158  | 171  | 192  | 201  | 213  | 209  | 178  | 131  | 85,2 | 72,7 | 149  | 1790 | 10,8954873 |        |
| HSP 34     | 13,22               | 345   | 25,34 | 23,7 | 37,5 | 85,1 | 120  | 163  | 184  | 186  | 153  | 97   | 54,5 | 26,6 | 20,1 | 95,9 | 1150 | 6,9998941  |        |
| HSP 35     | 16,37               | 75    | 31,99 | 41,2 | 61,3 | 112  | 139  | 172  | 187  | 192  | 173  | 127  | 82,1 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 10,3259834 |        |
| HSP 36     | 16,37               | 255   | 31,99 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 182  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 11,8334262 |        |
| HSP 37     | 34,92               | 345   | 31,79 | 23,2 | 30,2 | 72,8 | 108  | 152  | 174  | 174  | 139  | 81,8 | 44,3 | 24,3 | 20,2 | 87   | 1040 | 16,7212888 |        |
| HSP 38     | 31,01               | 75    | 31,77 | 41,3 | 61,3 | 112  | 140  | 172  | 187  | 193  | 173  | 127  | 82,2 | 46,5 | 36,3 | 114  | 1370 | 19,5607052 |        |
| HSP 39     | 40,48               | 165   | 31,74 | 80,9 | 108  | 162  | 171  | 189  | 196  | 208  | 207  | 182  | 136  | 90,3 | 77,8 | 151  | 1810 | 33,7350418 |        |
| HSP 40     | 31,01               | 255   | 31,77 | 56,7 | 80,1 | 135  | 155  | 183  | 195  | 203  | 191  | 152  | 105  | 64,6 | 53,1 | 131  | 1570 | 22,4162826 |        |
| HSP 41     | 63,25               | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 45,7216986 |        |
| Stotal HSP | 2171,89             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1443,35814 | Htotal |

ANTONIO DUELO URCELAY

| ID     | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |
|--------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| CMR 01 | 33,38               | 160,7 | 35,54 | 82,4 | 110  | 162  | 170  | 186  | 192  | 204  | 205  | 182  | 137  | 91,8 | 79,6 | 150  | 1800 | 27,2756986 |
| CMR 02 | 33,38               | 340,7 | 35,54 | 22,5 | 29,1 | 68,7 | 102  | 146  | 167  | 167  | 131  | 75,3 | 41,8 | 23,9 | 19,6 | 82,8 | 994  | 15,0622469 |
| CMR 03 | 8,53                | 70,7  | 41,01 | 36,6 | 54,8 | 103  | 130  | 161  | 175  | 180  | 160  | 116  | 73,9 | 41,2 | 31,8 | 105  | 1260 | 4,87906521 |
| CMR 04 | 8,53                | 250,7 | 41,01 | 59,4 | 82,8 | 136  | 154  | 177  | 188  | 197  | 188  | 152  | 108  | 67,6 | 56,4 | 131  | 1570 | 6,07947014 |
| CMR 05 | 36,02               | 160,7 | 29,98 | 78,9 | 106  | 160  | 171  | 190  | 197  | 210  | 208  | 180  | 134  | 88,1 | 75,6 | 150  | 1800 | 29,4329139 |
| CMR 06 | 108,34              | 70,7  | 26,57 | 40,8 | 60,8 | 112  | 141  | 175  | 191  | 196  | 175  | 128  | 81,9 | 46,1 | 35,7 | 115  | 1380 | 67,8711118 |
| CMR 07 | 108,34              | 250,7 | 26,57 | 58,2 | 82,2 | 138  | 158  | 186  | 199  | 208  | 195  | 155  | 108  | 66,3 | 54,4 | 134  | 1610 | 79,1829638 |
| CMR 08 | 36,02               | 340,7 | 29,98 | 22,8 | 33,7 | 77,9 | 113  | 156  | 177  | 178  | 144  | 87,6 | 48,8 | 24,5 | 20,4 | 90,2 | 1080 | 17,6597483 |
| CMR 09 | 10,51               | 160,7 | 34,14 | 81,6 | 109  | 162  | 170  | 187  | 193  | 206  | 206  | 181  | 136  | 90,9 | 78,6 | 150  | 1800 | 8,58800458 |
| CMR 10 | 10,51               | 70,7  | 34,14 | 38,5 | 57,7 | 108  | 135  | 168  | 183  | 188  | 167  | 122  | 77,7 | 43,5 | 33,6 | 110  | 1320 | 6,29787002 |
| CMR 11 | 10,51               | 250,7 | 34,14 | 59,1 | 82,9 | 138  | 157  | 182  | 194  | 203  | 192  | 154  | 109  | 67,3 | 55,8 | 133  | 1590 | 7,58607071 |
| CMR 12 | 10,51               | 340,7 | 34,14 | 22,8 | 30   | 70,9 | 105  | 148  | 170  | 169  | 134  | 78,3 | 43,5 | 24,1 | 19,9 | 84,7 | 1020 | 4,86653593 |
| CMR 13 | 167,6               | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 119,451254 |
| CMR 14 | 10,51               | 160,7 | 34,14 | 81,6 | 109  | 162  | 170  | 187  | 193  | 206  | 206  | 181  | 136  | 90,9 | 78,6 | 150  | 1800 | 8,58800458 |
| CMR 15 | 10,51               | 70,7  | 34,14 | 38,5 | 57,7 | 108  | 135  | 168  | 183  | 188  | 167  | 122  | 77,7 | 43,5 | 33,6 | 110  | 1320 | 6,29787002 |
| CMR 16 | 10,51               | 250,7 | 34,14 | 59,1 | 82,9 | 138  | 157  | 182  | 194  | 203  | 192  | 154  | 109  | 67,3 | 55,8 | 133  | 1590 | 7,58607071 |
| CMR 17 | 10,51               | 340,7 | 34,14 | 22,8 | 30   | 70,9 | 105  | 148  | 170  | 169  | 134  | 78,3 | 43,5 | 24,1 | 19,9 | 84,7 | 1020 | 4,86653593 |
| CMR 18 | 39,78               | 70,7  | 25,82 | 41   | 61,2 | 113  | 141  | 175  | 191  | 197  | 176  | 128  | 82,4 | 46,4 | 35,8 | 116  | 1390 | 25,1013237 |
| CMR 19 | 178,64              | 340,7 | 27,45 | 23,4 | 36,4 | 82,5 | 117  | 160  | 181  | 182  | 150  | 93,3 | 52,7 | 26,1 | 20,3 | 93,7 | 1120 | 90,8267509 |
| CMR 20 | 39,7                | 160,7 | 27,45 | 77,1 | 104  | 159  | 171  | 191  | 200  | 212  | 208  | 179  | 132  | 86,2 | 73,7 | 149  | 1790 | 32,2597193 |
| CMR 21 | 101,2               | 160,7 | 27,45 | 77,1 | 104  | 159  | 171  | 191  | 200  | 212  | 208  | 179  | 132  | 86,2 | 73,7 | 149  | 1790 | 82,2338436 |
| CMR 22 | 39,78               | 250,7 | 25,82 | 58,1 | 82,1 | 138  | 159  | 187  | 200  | 208  | 195  | 155  | 108  | 66,2 | 54,3 | 134  | 1610 | 29,0741951 |
| CMR 23 | 201,04              | 70,7  | 27,35 | 40,5 | 60,6 | 112  | 140  | 174  | 190  | 195  | 174  | 127  | 81,6 | 45,8 | 35,5 | 115  | 1380 | 125,944326 |
| CMR 24 | 201,04              | 250,7 | 27,35 | 58,3 | 82,3 | 138  | 158  | 186  | 199  | 208  | 195  | 155  | 108  | 66,5 | 54,7 | 134  | 1610 | 146,935047 |
| CMR 25 | 39,95               | 160,7 | 25,82 | 75,8 | 103  | 158  | 171  | 192  | 201  | 213  | 208  | 178  | 130  | 84,9 | 72,3 | 149  | 1790 | 32,4628661 |
| CMR 26 | 8,77                | 340,7 | 42,27 | 21,3 | 26,2 | 59,1 | 89,3 | 133  | 154  | 152  | 114  | 61,9 | 36   | 22,5 | 18,6 | 73,9 | 887  | 3,5313459  |
| CMR 27 | 36                  | 70,7  | 34,14 | 38,5 | 57,7 | 108  | 135  | 168  | 183  | 188  | 167  | 122  | 77,7 | 43,5 | 33,6 | 110  | 1320 | 21,5721523 |
| CMR 28 | 36                  | 250,7 | 34,14 | 59,1 | 82,9 | 138  | 157  | 182  | 194  | 203  | 192  | 154  | 109  | 67,3 | 55,8 | 133  | 1590 | 25,984638  |
| CMR 29 | 8,77                | 160,7 | 42,27 | 85,9 | 113  | 163  | 167  | 179  | 183  | 196  | 200  | 182  | 140  | 95,3 | 83,5 | 149  | 1790 | 7,12639139 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID        | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|-----------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| CMR 30    | 112,58              | 340,7 | 27,45 | 23,4 | 36,4 | 82,5 | 117  | 160  | 181  | 182  | 150  | 93,3 | 52,7 | 26,1 | 20,3 | 93,7 | 1120 | 57,2395635 |        |
| CMR 31    | 112,58              | 60,7  | 27,45 | 77,1 | 104  | 159  | 171  | 191  | 200  | 212  | 208  | 179  | 132  | 86,2 | 73,7 | 149  | 1790 | 91,481088  |        |
| CMR 32    | 193,33              | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 137,789445 |        |
| CMR 33    | 229,46              | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 163,539885 |        |
| Total CMR | 2202,84             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1494,67402 | Htotal |

ANTONIO DUELO URCELAY

| ID     | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |
|--------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| MDV 01 | 34,79               | 84,4  | 34,46 | 45,5 | 66,4 | 118  | 144  | 174  | 188  | 194  | 177  | 134  | 88,2 | 51,2 | 40,6 | 118  | 1420 | 18,3195571 |
| MDV 02 | 513,11              | 174,4 | 31,89 | 82   | 110  | 164  | 172  | 188  | 195  | 208  | 208  | 183  | 138  | 91,7 | 79,2 | 151  | 1820 | 346,301253 |
| MDV 03 | 69,31               | 354,4 | 31,89 | 23,2 | 27,7 | 69,8 | 107  | 151  | 173  | 173  | 138  | 79,4 | 40,4 | 24,5 | 20,2 | 85,7 | 1030 | 26,4731317 |
| MDV 04 | 131,84              | 354,4 | 31,89 | 23,2 | 27,7 | 69,8 | 107  | 151  | 173  | 173  | 138  | 79,4 | 40,4 | 24,5 | 20,2 | 85,7 | 1030 | 50,356625  |
| MDV 05 | 131,84              | 354,4 | 31,89 | 23,2 | 27,7 | 69,8 | 107  | 151  | 173  | 173  | 138  | 79,4 | 40,4 | 24,5 | 20,2 | 85,7 | 1030 | 50,356625  |
| MDV 06 | 69,31               | 354,4 | 31,89 | 23,2 | 27,7 | 69,8 | 107  | 151  | 173  | 173  | 138  | 79,4 | 40,4 | 24,5 | 20,2 | 85,7 | 1030 | 26,4731317 |
| MDV 07 | 34,79               | 264,4 | 34,46 | 51,5 | 73,9 | 128  | 150  | 178  | 191  | 199  | 184  | 143  | 98,1 | 59   | 47,9 | 125  | 1500 | 19,3516448 |
| MDV 08 | 153,12              | 84,4  | 32,35 | 45,9 | 67,1 | 119  | 145  | 175  | 189  | 196  | 179  | 135  | 88,9 | 51,6 | 40,9 | 119  | 1430 | 81,1970319 |
| MDV 09 | 153,12              | 264,4 | 32,35 | 51,7 | 74,3 | 128  | 151  | 179  | 193  | 201  | 186  | 144  | 98,6 | 59,2 | 47,8 | 126  | 1510 | 85,7395232 |
| MDV 10 | 127,1               | 84,4  | 31,66 | 46   | 67,3 | 119  | 145  | 176  | 190  | 196  | 179  | 135  | 89,2 | 51,8 | 41   | 120  | 1440 | 67,8703735 |
| MDV 11 | 127,1               | 264,4 | 31,66 | 51,7 | 74,2 | 128  | 151  | 180  | 194  | 201  | 186  | 144  | 98,7 | 59,1 | 47,9 | 126  | 1520 | 71,6409498 |
| MDV 12 | 153,12              | 84,4  | 32,35 | 45,9 | 67,1 | 119  | 145  | 175  | 189  | 196  | 179  | 135  | 88,9 | 51,6 | 40,9 | 119  | 1430 | 81,1970319 |
| MDV 13 | 153,12              | 264,4 | 32,35 | 51,7 | 74,3 | 128  | 151  | 179  | 193  | 201  | 186  | 144  | 98,6 | 59,2 | 47,8 | 126  | 1510 | 85,7395232 |
| MDV 14 | 39,79               | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 23,1657192 |
| MDV 15 | 112,04              | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 65,2296351 |
| MDV 16 | 39,79               | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 23,1657192 |
| MDV 17 | 102,37              | 174,4 | 36,38 | 85   | 113  | 165  | 171  | 185  | 190  | 203  | 205  | 185  | 141  | 94,8 | 82,5 | 152  | 1820 | 69,0901742 |
| MDV 18 | 102,37              | 354,4 | 36,38 | 22,4 | 27,5 | 60,4 | 98,5 | 143  | 165  | 164  | 127  | 68   | 34,1 | 23,7 | 19,5 | 79,4 | 953  | 36,1774374 |
| MDV 19 | 29,38               | 84,4  | 34,46 | 45,5 | 66,4 | 118  | 144  | 174  | 188  | 194  | 177  | 134  | 88,2 | 51,2 | 40,6 | 118  | 1420 | 15,4707843 |
| MDV 20 | 29,38               | 264,4 | 34,46 | 51,5 | 73,9 | 128  | 150  | 178  | 191  | 199  | 184  | 143  | 98,1 | 59   | 47,9 | 125  | 1500 | 16,3423778 |
| MDV 21 | 31,01               | 264,4 | 33,66 | 51,6 | 74,1 | 128  | 150  | 179  | 192  | 199  | 185  | 144  | 98,3 | 59,1 | 47,9 | 126  | 1510 | 17,3640453 |
| MDV 22 | 106,3               | 174,4 | 33,46 | 83,1 | 111  | 164  | 171  | 187  | 193  | 206  | 207  | 184  | 139  | 92,8 | 80,4 | 152  | 1820 | 71,7425566 |
| MDV 23 | 95,92               | 354,4 | 33,46 | 22,9 | 26,6 | 66,5 | 104  | 149  | 170  | 170  | 134  | 75,5 | 38   | 24,2 | 20   | 83,4 | 1000 | 35,5697953 |
| MDV 24 | 31,01               | 84,4  | 33,66 | 45,6 | 66,7 | 118  | 144  | 174  | 188  | 195  | 178  | 134  | 88,4 | 51,3 | 40,8 | 119  | 1420 | 16,3291022 |
| MDV 25 | 9,85                | 264,4 | 37,34 | 51,3 | 73,6 | 127  | 148  | 176  | 189  | 196  | 182  | 142  | 97,6 | 58,7 | 47,7 | 124  | 1490 | 5,4424531  |
| MDV 26 | 9,6                 | 174,4 | 35,39 | 84,4 | 112  | 165  | 171  | 186  | 191  | 204  | 206  | 184  | 140  | 94,1 | 81,8 | 152  | 1820 | 6,479102   |
| MDV 27 | 9,6                 | 354,4 | 35,39 | 22,6 | 27,7 | 62,5 | 100  | 145  | 167  | 166  | 129  | 70,6 | 35,1 | 23,9 | 19,7 | 80,8 | 970  | 3,45314777 |
| MDV 28 | 9,85                | 84,4  | 37,34 | 45   | 65,7 | 117  | 142  | 171  | 185  | 191  | 175  | 132  | 87   | 50,5 | 40,1 | 117  | 1400 | 5,11371432 |
| MDV 29 | 18,41               | 264,4 | 33,6  | 51,6 | 74,1 | 128  | 150  | 179  | 192  | 199  | 185  | 144  | 98,3 | 59,1 | 47,9 | 126  | 1510 | 10,308677  |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID        | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|-----------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| MDV 30    | 24,96               | 174,4 | 38,56 | 86,3 | 114  | 166  | 170  | 183  | 187  | 200  | 204  | 185  | 142  | 96,1 | 84   | 151  | 1820 | 16,8456652 |        |
| MDV 31    | 24,96               | 354,4 | 38,56 | 22   | 27   | 56   | 94   | 139  | 161  | 159  | 121  | 62,4 | 32,5 | 23,3 | 19,2 | 76,4 | 916  | 8,47836776 |        |
| MDV 32    | 18,41               | 84,4  | 33,6  | 45,6 | 66,7 | 118  | 144  | 175  | 188  | 195  | 178  | 134  | 88,4 | 51,3 | 40,8 | 119  | 1420 | 9,69425254 |        |
| Total MDV | 2696,67             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1466,47913 | Htotal |

| ID          | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|-------------|---------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| IPL 01      | 130,55              | 0      | 28,31 | 23,7 | 31,1 | 76,9 | 114  | 158  | 179  | 180  | 146  | 88,1 | 46,2 | 23,8 | 20,7 | 90,5 | 1090 | 63,4667791 |        |
| IPL 02      | 929,85              | 89,39  | 26,09 | 49   | 71,4 | 125  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 94,2 | 55,4 | 44,1 | 125  | 1500 | 622,081432 |        |
| IPL 03      | 957,64              | 270,61 | 26,09 | 49   | 71,4 | 126  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 95,3 | 56,2 | 44,9 | 125  | 1500 | 640,673294 |        |
| IPL 04      | 60,57               | 89,38  | 25,87 | 49   | 71,4 | 125  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 94,3 | 55,4 | 44,2 | 125  | 1500 | 40,5220975 |        |
| IPL 05      | 30,73               | 270,62 | 25,87 | 49   | 71,4 | 126  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 95,3 | 56,2 | 44,9 | 125  | 1500 | 20,5587594 |        |
| IPL 06      | 101,69              | 180    | 27,71 | 79,1 | 106  | 162  | 172  | 191  | 199  | 211  | 209  | 181  | 135  | 88,6 | 76   | 151  | 1810 | 82,0918242 |        |
| IPL 07      | 31,08               | 180    | 25,57 | 77,3 | 105  | 160  | 172  | 192  | 201  | 213  | 209  | 180  | 133  | 86,7 | 74,1 | 150  | 1800 | 24,9514966 |        |
| Stotal IPL  | 2242,11             |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1494,34568 | Htotal |
| TRP1 01     | 30,64               | 0      | 29    | 23,6 | 30,4 | 75,4 | 113  | 156  | 178  | 178  | 144  | 86,4 | 45   | 24,2 | 20,6 | 89,6 | 1080 | 42,9131653 |        |
| TRP1 02     | 189,62              | 90     | 23,64 | 49,6 | 72   | 126  | 151  | 183  | 197  | 205  | 187  | 143  | 95,1 | 55,9 | 44,5 | 126  | 1510 | 371,312117 |        |
| TRP1 03     | 189,62              | 270    | 23,64 | 49,6 | 72   | 127  | 151  | 183  | 198  | 205  | 187  | 143  | 96,1 | 56,7 | 45,3 | 126  | 1510 | 371,312117 |        |
| TRP1 04     | 69,39               | 90     | 26,07 | 49,3 | 71,7 | 125  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 94,6 | 55,7 | 44,4 | 125  | 1500 | 134,978992 |        |
| TRP1 05     | 69,39               | 270    | 26,07 | 49,3 | 71,7 | 126  | 150  | 181  | 196  | 203  | 186  | 142  | 95,7 | 56,5 | 45,2 | 125  | 1500 | 134,978992 |        |
| TRP1 06     | 31,52               | 180    | 31,78 | 82,1 | 110  | 164  | 172  | 188  | 195  | 208  | 208  | 183  | 138  | 91,9 | 79,4 | 152  | 1820 | 74,3936093 |        |
| TRP1 07     | 190,94              | 270    | 3,89  | 50,7 | 74,1 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,4 | 58   | 45,9 | 130  | 1560 | 386,277622 |        |
| Stotal TRP1 | 771,12              |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1516,16661 | Htotal |
| TRP2 01     | 32,47               | 180    | 31,78 | 82,1 | 110  | 164  | 172  | 188  | 195  | 208  | 208  | 183  | 138  | 91,9 | 79,4 | 152  | 1820 | 97,7316553 |        |
| TRP2 02     | 197,28              | 90     | 25,41 | 49,4 | 71,7 | 125  | 151  | 182  | 196  | 203  | 187  | 142  | 94,8 | 55,8 | 44,5 | 125  | 1500 | 489,390907 |        |
| TRP2 03     | 197,28              | 270    | 25,41 | 49,4 | 71,7 | 126  | 151  | 182  | 197  | 204  | 187  | 142  | 95,8 | 56,6 | 45,2 | 126  | 1510 | 492,653513 |        |
| TRP2 04     | 30,7                | 180    | 33,85 | 83,6 | 111  | 165  | 171  | 187  | 193  | 206  | 207  | 184  | 139  | 93,4 | 81   | 152  | 1820 | 92,4041213 |        |
| TRP2 05     | 58,12               | 90     | 25,41 | 49,4 | 71,7 | 125  | 151  | 182  | 196  | 203  | 187  | 142  | 94,8 | 55,8 | 44,5 | 125  | 1500 | 144,177816 |        |
| TRP2 06     | 58,12               | 270    | 25,41 | 49,4 | 71,7 | 126  | 151  | 182  | 197  | 204  | 187  | 142  | 95,8 | 56,6 | 45,2 | 126  | 1510 | 145,139001 |        |
| TRP2 07     | 30,7                | 0      | 33,85 | 22,8 | 26,6 | 65,1 | 103  | 148  | 170  | 169  | 133  | 74,2 | 36,6 | 24,2 | 19,9 | 82,7 | 992  | 50,3653232 |        |
| Stotal TRP2 | 604,67              |        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1511,86234 | Htotal |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| ID          | S (m <sup>2</sup> ) | A (°) | E (°) | Hene | Hfeb | Hmar | Habr | Hmay | Hjun | Hjul | Hago | Hsep | Hoct | Hnov | Hdic | Hav  | Haño | H'         |        |
|-------------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|--------|
| TRP3 01     | 664,09              | 150,9 | 28,61 | 75,6 | 102  | 157  | 170  | 190  | 199  | 211  | 207  | 177  | 129  | 84,4 | 72,1 | 148  | 1770 | 623,568609 |        |
| TRP3 02     | 27,5                | 60,9  | 36,87 | 33   | 50,1 | 97,8 | 126  | 160  | 176  | 179  | 157  | 110  | 68,5 | 37,2 | 28,2 | 102  | 1220 | 17,7982196 |        |
| TRP3 03     | 664,09              | 330,9 | 28,61 | 24,9 | 38,8 | 85,3 | 118  | 159  | 180  | 181  | 150  | 95,5 | 55,7 | 28,2 | 20,6 | 94,7 | 1140 | 401,62046  |        |
| TRP3 04     | 324                 | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 269,853901 |        |
| TRP3 05     | 29,29               | 60,9  | 34,29 | 33,9 | 51,4 | 99,9 | 129  | 163  | 179  | 183  | 160  | 112  | 70,2 | 38,3 | 29   | 104  | 1250 | 19,4228708 |        |
| TRP3 06     | 53,88               | 150,9 | 28,61 | 75,6 | 102  | 157  | 170  | 190  | 199  | 211  | 207  | 177  | 129  | 84,4 | 72,1 | 148  | 1770 | 50,5923545 |        |
| TRP3 07     | 53,88               | 330,9 | 28,61 | 24,9 | 38,8 | 85,3 | 118  | 159  | 180  | 181  | 150  | 95,5 | 55,7 | 28,2 | 20,6 | 94,7 | 1140 | 32,5849063 |        |
| TRP3 08     | 29,29               | 240,9 | 34,29 | 64,4 | 89,1 | 144  | 160  | 184  | 195  | 204  | 196  | 161  | 115  | 73,1 | 61,4 | 137  | 1650 | 25,6381895 |        |
| TRP3 09     | 39                  | 180   | 0     | 50,8 | 74,2 | 130  | 156  | 190  | 206  | 214  | 195  | 148  | 98,5 | 57,9 | 45,9 | 131  | 1570 | 32,482414  |        |
| Stotal TRP3 | 1885,02             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1473,56193 | Htotal |



## **ANEXO III: TABLAS DE RESULTADOS DE IRRADIACIÓN SOLAR MENSUAL INCIDENTE EN TEJADOS**

El presente anexo recoge los datos procedentes de la simulación realizada con Skelion y PVGIS. Las tablas que se muestran a continuación contienen los datos de irradiación mensual y total anual así como los cálculos realizados para obtener la irradiación solar mensual incidente sobre el tejado de cada edificio. Cada edificio se identifica en las tablas por el mismo código de tres letras ya utilizado en el Anexo II.

Irradiación mensual COR, TDV, CUD, JFI Parte 1 de 2

| ID     | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  | Hjul   | H'jul  |
|--------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| COR 01 | 313,60              | 106,79 | 28,00 | 57,20 | 27,77 | 81,00  | 39,33 | 135,00 | 65,55  | 157,00 | 76,23  | 185,00 | 89,82  | 198,00 | 96,14  | 206,00 | 100,02 |
| COR 02 | 332,28              | 286,79 | 28,00 | 41,40 | 21,30 | 61,70  | 31,74 | 114,00 | 58,65  | 141,00 | 72,54  | 174,00 | 89,52  | 191,00 | 98,26  | 196,00 | 100,83 |
| Stotal | 645,88              |        |       |       | 49,07 |        | 71,07 |        | 124,20 |        | 148,77 |        | 179,34 |        | 194,40 |        | 200,86 |
| TDV 01 | 124,60              | 121,01 | 30,23 | 64,50 | 32,53 | 89,30  | 45,04 | 144,00 | 72,63  | 162,00 | 81,70  | 187,00 | 94,31  | 198,00 | 99,86  | 207,00 | 104,40 |
| TDV 02 | 122,45              | 301,01 | 30,23 | 50,80 | 25,18 | 74,20  | 36,78 | 130,00 | 64,43  | 156,00 | 77,32  | 190,00 | 94,17  | 206,00 | 102,10 | 214,00 | 106,07 |
| Stotal | 247,05              |        |       |       | 57,71 |        | 81,82 |        | 137,06 |        | 159,03 |        | 188,49 |        | 201,97 |        | 210,47 |
| CUD 01 | 249,08              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 8,14  | 74,20  | 11,89 | 130,00 | 20,83  | 156,00 | 25,00  | 190,00 | 30,44  | 206,00 | 33,01  | 214,00 | 34,29  |
| CUD 02 | 323,98              | 31,01  | 30,01 | 24,80 | 5,17  | 38,40  | 8,00  | 83,70  | 17,44  | 117,00 | 24,38  | 157,00 | 32,72  | 177,00 | 36,89  | 179,00 | 37,31  |
| CUD 03 | 547,50              | 211,01 | 28,40 | 74,90 | 26,38 | 101,00 | 35,57 | 157,00 | 55,30  | 169,00 | 59,52  | 190,00 | 66,92  | 199,00 | 70,09  | 211,00 | 74,31  |
| CUD 04 | 235,43              | 31,01  | 30,01 | 24,80 | 3,76  | 38,40  | 5,82  | 83,70  | 12,68  | 117,00 | 17,72  | 157,00 | 23,78  | 177,00 | 26,81  | 179,00 | 27,11  |
| CUD 05 | 58,32               | 211,01 | 28,38 | 74,90 | 2,81  | 101,00 | 3,79  | 157,00 | 5,89   | 169,00 | 6,34   | 190,00 | 7,13   | 199,00 | 7,47   | 211,00 | 7,92   |
| CUD 06 | 140,20              | 211,10 | 28,38 | 74,90 | 6,76  | 101,00 | 9,11  | 157,00 | 14,16  | 169,00 | 15,24  | 190,00 | 17,14  | 199,00 | 17,95  | 211,00 | 19,03  |
| Stotal | 1554,51             |        |       |       | 53,01 |        | 74,18 |        | 126,30 |        | 148,20 |        | 178,12 |        | 192,20 |        | 199,97 |
| JFI 01 | 311,23              | 84,98  | 5,13  | 50,10 | 10,83 | 73,40  | 15,87 | 129,00 | 27,89  | 155,00 | 33,51  | 189,00 | 40,86  | 205,00 | 44,32  | 213,00 | 46,05  |
| JFI 02 | 263,12              | 264,20 | 5,13  | 51,20 | 9,36  | 74,60  | 13,63 | 130,00 | 23,76  | 156,00 | 28,51  | 190,00 | 34,73  | 206,00 | 37,65  | 214,00 | 39,11  |
| JFI 03 | 72,16               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 2,55  | 74,20  | 3,72  | 130,00 | 6,52   | 156,00 | 7,82   | 190,00 | 9,52   | 206,00 | 10,33  | 214,00 | 10,73  |
| JFI 04 | 69,91               | 354,98 | 7,14  | 42,00 | 2,04  | 63,70  | 3,09  | 118,00 | 5,73   | 148,00 | 7,19   | 185,00 | 8,98   | 203,00 | 9,86   | 209,00 | 10,15  |
| JFI 05 | 54,67               | 174,98 | 7,14  | 59,10 | 2,24  | 84,00  | 3,19  | 140,00 | 5,32   | 163,00 | 6,19   | 193,00 | 7,33   | 207,00 | 7,86   | 217,00 | 8,24   |
| JFI 06 | 68,47               | 24,00  | 8,16  | 41,50 | 1,97  | 63,10  | 3,00  | 117,00 | 5,56   | 147,00 | 6,99   | 184,00 | 8,75   | 202,00 | 9,61   | 208,00 | 9,89   |
| JFI 07 | 88,64               | 204,00 | 8,16  | 59,40 | 3,66  | 84,30  | 5,19  | 141,00 | 8,68   | 163,00 | 10,04  | 193,00 | 11,88  | 207,00 | 12,75  | 217,00 | 13,36  |
| JFI 08 | 176,16              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 6,22  | 74,20  | 9,08  | 130,00 | 15,91  | 156,00 | 19,09  | 190,00 | 23,25  | 206,00 | 25,21  | 214,00 | 26,19  |
| JFI 09 | 335,28              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 11,83 | 74,20  | 17,28 | 130,00 | 30,28  | 156,00 | 36,33  | 190,00 | 44,25  | 206,00 | 47,98  | 214,00 | 49,84  |
| Stotal | 1439,64             |        |       |       | 50,70 |        | 74,06 |        | 129,64 |        | 155,66 |        | 189,55 |        | 205,55 |        | 213,55 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual COR, TDV, CUD, JFI Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |       |       |       |       |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hago  | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct  | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 193,00  | 93,71  | 153,00 | 74,29  | 105,00 | 50,98  | 64,20 | 31,17 | 52,60 | 25,54 | 132,00 | 1590,00 |
| 175,00  | 90,03  | 129,00 | 66,37  | 83,90  | 43,16  | 47,60 | 24,49 | 37,00 | 19,04 | 116,00 | 1390,00 |
|   | 183,74 |        | 140,65 |        | 94,14  |       | 55,66 |       | 44,57 |        |         |
| 198,00  | 99,86  | 163,00 | 82,21  | 115,00 | 58,00  | 72,10 | 36,36 | 60,20 | 30,36 | 138,00 | 1660,00 |
| 195,00  | 96,65  | 148,00 | 73,36  | 98,50  | 48,82  | 57,90 | 28,70 | 45,90 | 22,75 | 131,00 | 1570,00 |
|   | 196,51 |        | 155,57 |        | 106,82 |       | 65,06 |       | 53,11 |        |         |
| 195,00  | 31,24  | 148,00 | 23,71  | 98,50  | 15,78  | 57,90 | 9,28  | 45,90 | 7,35  | 131,00 | 1570,00 |
| 147,00  | 30,64  | 93,90  | 19,57  | 54,60  | 11,38  | 27,90 | 5,81  | 20,60 | 4,29  | 93,40  | 1120,00 |
| 206,00  | 72,55  | 176,00 | 61,99  | 129,00 | 45,43  | 84,40 | 29,73 | 72,10 | 25,39 | 148,00 | 1770,00 |
| 147,00  | 22,26  | 93,90  | 14,22  | 54,60  | 8,27   | 27,90 | 4,23  | 20,60 | 3,12  | 93,40  | 1120,00 |
| 206,00  | 7,73   | 176,00 | 6,60   | 129,00 | 4,84   | 84,40 | 3,17  | 72,00 | 2,70  | 148,00 | 1770,00 |
| 206,00  | 18,58  | 176,00 | 15,87  | 129,00 | 11,63  | 84,40 | 7,61  | 72,00 | 6,49  | 148,00 | 1770,00 |
|   | 183,01 |        | 141,97 |        | 97,34  |       | 59,82 |       | 49,36 |        |         |
| 194,00  | 41,94  | 147,00 | 31,78  | 97,30  | 21,03  | 57,10 | 12,34 | 45,00 | 9,73  | 130,00 | 1560,00 |
| 195,00  | 35,64  | 149,00 | 27,23  | 99,10  | 18,11  | 58,50 | 10,69 | 46,40 | 8,48  | 131,00 | 1570,00 |
| 195,00  | 9,77   | 148,00 | 7,42   | 98,50  | 4,94   | 57,90 | 2,90  | 45,90 | 2,30  | 131,00 | 1570,00 |
| 186,00  | 9,03   | 135,00 | 6,56   | 86,30  | 4,19   | 48,30 | 2,35  | 36,70 | 1,78  | 122,00 | 1460,00 |
| 202,00  | 7,67   | 160,00 | 6,08   | 110,00 | 4,18   | 67,00 | 2,54  | 54,50 | 2,07  | 138,00 | 1660,00 |
| 185,00  | 8,80   | 134,00 | 6,37   | 85,40  | 4,06   | 47,80 | 2,27  | 36,20 | 1,72  | 121,00 | 1450,00 |
| 202,00  | 12,44  | 160,00 | 9,85   | 110,00 | 6,77   | 67,40 | 4,15  | 55,00 | 3,39  | 138,00 | 1660,00 |
| 195,00  | 23,86  | 148,00 | 18,11  | 98,50  | 12,05  | 57,90 | 7,08  | 45,90 | 5,62  | 131,00 | 1570,00 |
| 195,00  | 45,41  | 148,00 | 34,47  | 98,50  | 22,94  | 57,90 | 13,48 | 45,90 | 10,69 | 131,00 | 1570,00 |
|   | 194,57 |        | 147,86 |        | 98,28  |       | 57,82 |       | 45,78 |        |         |

| Irradiación mensual AUL14, BAZ, TAC, JDE Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID  | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| AUL14 01  | 49,15               | 121,01 | 34,99 | 65,60 | 25,02 | 90,30  | 34,44 | 144,00 | 54,92  | 161,00 | 61,40  | 184,00 | 70,18  | 194,00 | 73,99  |
| AUL14 02  | 15,01               | 31,01  | 48,24 | 20,10 | 2,34  | 27,60  | 3,21  | 61,50  | 7,16   | 88,60  | 10,32  | 124,00 | 14,44  | 142,00 | 16,54  |
| AUL14 03  | 14,42               | 207,67 | 51,06 | 85,80 | 9,60  | 111,00 | 12,42 | 160,00 | 17,90  | 160,00 | 17,90  | 170,00 | 19,02  | 172,00 | 19,25  |
| AUL14 04  | 50,29               | 301,01 | 34,99 | 32,80 | 12,80 | 50,00  | 19,51 | 98,80  | 38,56  | 127,00 | 49,56  | 161,00 | 62,83  | 178,00 | 69,46  |
| Stotal  | 128,87              |        |       |       | 49,76 |        | 69,59 |        | 118,54 |        | 139,19 |        | 166,47 |        | 179,24 |
| BAZ 01  | 50,29               | 121,01 | 34,99 | 65,60 | 24,92 | 90,30  | 34,30 | 144,00 | 54,70  | 161,00 | 61,15  | 184,00 | 69,89  | 194,00 | 73,69  |
| BAZ 02  | 15,01               | 31,01  | 48,24 | 20,10 | 2,28  | 27,60  | 3,13  | 61,50  | 6,97   | 88,60  | 10,04  | 124,00 | 14,06  | 142,00 | 16,10  |
| BAZ 03  | 15,67               | 207,67 | 45,74 | 84,40 | 9,99  | 111,00 | 13,14 | 161,00 | 19,05  | 164,00 | 19,41  | 176,00 | 20,83  | 180,00 | 21,30  |
| BAZ 04  | 51,43               | 301,01 | 34,99 | 32,80 | 12,74 | 50,00  | 19,42 | 98,80  | 38,38  | 127,00 | 49,33  | 161,00 | 62,54  | 178,00 | 69,14  |
| Stotal  | 132,40              |        |       |       | 49,93 |        | 69,99 |        | 119,10 |        | 139,94 |        | 167,32 |        | 180,23 |
| TAC 01  | 429,36              | 27,67  | 24,26 | 27,10 | 13,55 | 42,70  | 21,35 | 90,90  | 45,45  | 125,00 | 62,50  | 166,00 | 83,00  | 186,00 | 93,00  |
| TAC 02  | 429,36              | 207,67 | 24,26 | 73,00 | 36,50 | 99,50  | 49,75 | 155,00 | 77,50  | 169,00 | 84,50  | 192,00 | 96,00  | 202,00 | 101,00 |
| Stotal  | 858,72              |        |       |       | 50,05 |        | 71,10 |        | 122,95 |        | 147,00 |        | 179,00 |        | 194,00 |
| JDE 01  | 286,93              | 124,23 | 37,78 | 67,90 | 28,74 | 92,70  | 39,24 | 146,00 | 61,80  | 161,00 | 68,15  | 183,00 | 77,46  | 192,00 | 81,27  |
| JDE 02  | 35,96               | 117,67 | 34,56 | 63,70 | 3,38  | 88,20  | 4,68  | 142,00 | 7,53   | 160,00 | 8,49   | 184,00 | 9,76   | 194,00 | 10,29  |
| JDE 03  | 34,75               | 213,69 | 37,71 | 78,90 | 4,04  | 105,00 | 5,38  | 158,00 | 8,10   | 167,00 | 8,56   | 184,00 | 9,43   | 191,00 | 9,79   |
| JDE 04  | 320,26              | 304,23 | 37,79 | 30,40 | 14,36 | 46,40  | 21,92 | 93,70  | 44,27  | 122,00 | 57,64  | 156,00 | 73,70  | 173,00 | 81,73  |
| Stotal  | 677,90              |        |       |       | 50,52 |        | 71,22 |        | 121,69 |        | 142,83 |        | 170,35 |        | 183,08 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual AUL14, BAZ, TAC, JDE Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul  | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 204,00  | 77,80  | 196,00 | 74,75  | 162,00 | 61,79  | 115,00 | 43,86 | 73,10 | 27,88 | 61,50 | 23,46 | 138,00 | 1650,00 |
| 139,00  | 16,19  | 109,00 | 12,70  | 64,50  | 7,51   | 38,50  | 4,48  | 21,50 | 2,50  | 17,50 | 2,04  | 71,20  | 854,00  |
| 184,00  | 20,59  | 191,00 | 21,37  | 176,00 | 19,69  | 138,00 | 15,44 | 95,80 | 10,72 | 84,80 | 9,49  | 144,00 | 1730,00 |
| 181,00  | 70,63  | 157,00 | 61,27  | 110,00 | 42,93  | 69,20  | 27,00 | 37,70 | 14,71 | 28,50 | 11,12 | 103,00 | 1230,00 |
|   | 185,22 |        | 170,09 |        | 131,92 |        | 90,79 |       | 55,82 |       | 46,10 |        |         |
| 204,00  | 77,49  | 196,00 | 74,45  | 162,00 | 61,53  | 115,00 | 43,68 | 73,10 | 27,77 | 61,50 | 23,36 | 138,00 | 1650,00 |
| 139,00  | 15,76  | 109,00 | 12,36  | 64,50  | 7,31   | 38,50  | 4,36  | 21,50 | 2,44  | 17,50 | 1,98  | 71,20  | 854,00  |
| 192,00  | 22,72  | 197,00 | 23,32  | 178,00 | 21,07  | 138,00 | 16,33 | 94,50 | 11,18 | 82,90 | 9,81  | 147,00 | 1760,00 |
| 181,00  | 70,31  | 157,00 | 60,99  | 110,00 | 42,73  | 69,20  | 26,88 | 37,70 | 14,64 | 28,50 | 11,07 | 103,00 | 1230,00 |
|   | 186,28 |        | 171,11 |        | 132,64 |        | 91,26 |       | 56,03 |       | 46,23 |        |         |
| 188,00  | 94,00  | 158,00 | 79,00  | 104,00 | 52,00  | 60,60  | 30,30 | 30,90 | 15,45 | 22,30 | 11,15 | 100,00 | 1200,00 |
| 214,00  | 107,00 | 207,00 | 103,50 | 175,00 | 87,50  | 127,00 | 63,50 | 82,30 | 41,15 | 69,80 | 34,90 | 147,00 | 1770,00 |
|   | 201,00 |        | 182,50 |        | 139,50 |        | 93,80 |       | 56,60 |       | 46,05 |        |         |
| 202,00  | 85,50  | 196,00 | 82,96  | 164,00 | 69,42  | 118,00 | 49,95 | 75,60 | 32,00 | 64,00 | 27,09 | 138,00 | 1660,00 |
| 204,00  | 10,82  | 195,00 | 10,34  | 160,00 | 8,49   | 113,00 | 5,99  | 71,10 | 3,77  | 59,50 | 3,16  | 136,00 | 1630,00 |
| 203,00  | 10,41  | 202,00 | 10,35  | 177,00 | 9,07   | 133,00 | 6,82  | 88,70 | 4,55  | 76,80 | 3,94  | 147,00 | 1760,00 |
| 176,00  | 83,15  | 151,00 | 71,34  | 104,00 | 49,13  | 64,90  | 30,66 | 34,80 | 16,44 | 26,20 | 12,38 | 98,20  | 1180,00 |
|   | 189,87 |        | 175,00 |        | 136,11 |        | 93,42 |       | 56,76 |       | 46,56 |        |         |

| Irradiación mensual CAS, GIM Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID  | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| CAS 01                                    | 150,34              | 111,80 | 40,16 | 60,90 | 4,93  | 84,60  | 6,85  | 137,00 | 11,10  | 155,00 | 12,56  | 179,00 | 14,50  | 188,00 | 15,23  |
| CAS 02                                    | 147,06              | 291,80 | 40,16 | 35,50 | 2,81  | 53,40  | 4,23  | 103,00 | 8,16   | 129,00 | 10,22  | 161,00 | 12,76  | 176,00 | 13,95  |
| CAS 03                                    | 59,78               | 111,80 | 24,78 | 58,90 | 1,90  | 83,20  | 2,68  | 138,00 | 4,44   | 160,00 | 5,15   | 187,00 | 6,02   | 200,00 | 6,44   |
| CAS 04                                    | 190,67              | 21,80  | 19,76 | 29,20 | 3,00  | 46,60  | 4,79  | 97,00  | 9,96   | 130,00 | 13,35  | 171,00 | 17,57  | 191,00 | 19,62  |
| CAS 05                                    | 190,67              | 201,08 | 19,76 | 70,50 | 7,24  | 96,90  | 9,95  | 153,00 | 15,72  | 169,00 | 17,36  | 194,00 | 19,93  | 204,00 | 20,96  |
| CAS 06                                    | 59,78               | 291,80 | 24,78 | 40,20 | 1,29  | 60,40  | 1,95  | 113,00 | 3,64   | 141,00 | 4,54   | 175,00 | 5,64   | 192,00 | 6,18   |
| CAS 07                                    | 145,27              | 111,80 | 40,60 | 60,90 | 4,77  | 84,60  | 6,62  | 137,00 | 10,72  | 155,00 | 12,13  | 178,00 | 13,93  | 188,00 | 14,71  |
| CAS 08                                    | 148,98              | 291,80 | 40,60 | 35,40 | 2,84  | 53,20  | 4,27  | 102,00 | 8,19   | 128,00 | 10,27  | 160,00 | 12,84  | 176,00 | 14,13  |
| CAS 09                                    | 30,80               | 111,80 | 40,10 | 60,90 | 1,01  | 84,60  | 1,40  | 137,00 | 2,27   | 155,00 | 2,57   | 179,00 | 2,97   | 189,00 | 3,14   |
| CAS 10                                    | 141,71              | 21,80  | 38,88 | 21,90 | 1,67  | 28,10  | 2,15  | 64,90  | 4,96   | 97,00  | 7,41   | 140,00 | 10,69  | 161,00 | 12,29  |
| CAS 11                                    | 141,71              | 201,80 | 38,88 | 83,60 | 6,38  | 111,00 | 8,47  | 163,00 | 12,45  | 169,00 | 12,90  | 183,00 | 13,97  | 188,00 | 14,35  |
| CAS 12                                    | 30,80               | 291,80 | 40,10 | 35,60 | 0,59  | 53,40  | 0,89  | 103,00 | 1,71   | 129,00 | 2,14   | 161,00 | 2,67   | 176,00 | 2,92   |
| CAS 13                                    | 29,80               | 111,17 | 30,97 | 59,70 | 0,96  | 83,80  | 1,35  | 138,00 | 2,22   | 158,00 | 2,54   | 184,00 | 2,95   | 196,00 | 3,15   |
| CAS 14                                    | 179,43              | 21,17  | 30,42 | 22,70 | 2,19  | 33,90  | 3,28  | 77,80  | 7,52   | 112,00 | 10,83  | 155,00 | 14,98  | 176,00 | 17,01  |
| CAS 15                                    | 179,43              | 201,17 | 30,42 | 78,80 | 7,62  | 106,00 | 10,25 | 160,00 | 15,47  | 171,00 | 16,53  | 189,00 | 18,27  | 197,00 | 19,04  |
| CAS 16                                    | 29,80               | 291,17 | 30,96 | 38,60 | 0,62  | 57,90  | 0,93  | 109,00 | 1,75   | 137,00 | 2,20   | 170,00 | 2,73   | 187,00 | 3,00   |
| Stotal                                    | 1856,03             |        |       |       | 49,84 |        | 70,05 |        | 120,27 |        | 142,71 |        | 172,43 |        | 186,13 |
| GIM 01                                    | 453,75              | 318,27 | 14,74 | 37,60 | 6,93  | 57,70  | 10,63 | 111,00 | 20,45  | 141,00 | 25,97  | 179,00 | 32,97  | 198,00 | 36,47  |
| GIM 02                                    | 481,39              | 138,27 | 13,34 | 61,80 | 12,08 | 86,90  | 16,98 | 143,00 | 27,95  | 164,00 | 32,05  | 193,00 | 37,72  | 206,00 | 40,26  |
| GIM 03                                    | 79,06               | 318,27 | 14,00 | 38,20 | 1,23  | 58,50  | 1,88  | 112,00 | 3,59   | 142,00 | 4,56   | 180,00 | 5,78   | 198,00 | 6,36   |
| GIM 04                                    | 79,06               | 138,27 | 14,00 | 62,30 | 2,00  | 87,50  | 2,81  | 143,00 | 4,59   | 164,00 | 5,26   | 193,00 | 6,19   | 206,00 | 6,61   |
| GIM 05                                    | 684,98              | 318,27 | 12,28 | 39,60 | 11,01 | 60,40  | 16,80 | 114,00 | 31,70  | 144,00 | 40,04  | 181,00 | 50,33  | 200,00 | 55,62  |
| GIM 06                                    | 684,98              | 138,27 | 12,28 | 61,00 | 16,96 | 86,10  | 23,94 | 142,00 | 39,49  | 164,00 | 45,61  | 193,00 | 53,67  | 206,00 | 57,29  |
| Stotal                                    | 2463,22             |        |       |       | 50,20 |        | 73,04 |        | 127,77 |        | 153,50 |        | 186,67 |        | 202,60 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual CAS, GIM Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                      | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 197,00                                    | 15,96  | 189,00 | 15,31  | 155,00 | 12,56  | 109,00 | 8,83  | 67,90 | 5,50  | 56,70 | 4,59  | 132,00 | 1580,00 |
| 180,00                                    | 14,26  | 159,00 | 12,60  | 114,00 | 9,03   | 73,50  | 5,82  | 40,90 | 3,24  | 31,40 | 2,49  | 105,00 | 1260,00 |
| 209,00                                    | 6,73   | 197,00 | 6,35   | 157,00 | 5,06   | 108,00 | 3,48  | 66,20 | 2,13  | 54,40 | 1,75  | 135,00 | 1620,00 |
| 195,00                                    | 20,03  | 166,00 | 17,05  | 111,00 | 11,40  | 65,60  | 6,74  | 33,60 | 3,45  | 24,20 | 2,49  | 105,00 | 1260,00 |
| 216,00                                    | 22,19  | 208,00 | 21,37  | 173,00 | 17,77  | 124,00 | 12,74 | 79,60 | 8,18  | 67,00 | 6,88  | 146,00 | 1750,00 |
| 198,00                                    | 6,38   | 175,00 | 5,64   | 127,00 | 4,09   | 82,30  | 2,65  | 46,30 | 1,49  | 35,70 | 1,15  | 116,00 | 1390,00 |
| 197,00                                    | 15,42  | 189,00 | 14,79  | 154,00 | 12,05  | 109,00 | 8,53  | 67,90 | 5,31  | 56,70 | 4,44  | 131,00 | 1580,00 |
| 179,00                                    | 14,37  | 159,00 | 12,76  | 113,00 | 9,07   | 73,20  | 5,88  | 40,70 | 3,27  | 31,30 | 2,51  | 104,00 | 1250,00 |
| 198,00                                    | 3,29   | 189,00 | 3,14   | 155,00 | 2,57   | 109,00 | 1,81  | 67,90 | 1,13  | 56,70 | 0,94  | 132,00 | 1580,00 |
| 159,00                                    | 12,14  | 123,00 | 9,39   | 70,40  | 5,38   | 39,80  | 3,04  | 23,20 | 1,77  | 19,10 | 1,46  | 79,00  | 947,00  |
| 201,00                                    | 15,35  | 203,00 | 15,50  | 181,00 | 13,82  | 139,00 | 10,61 | 93,60 | 7,15  | 81,60 | 6,23  | 150,00 | 1800,00 |
| 180,00                                    | 2,99   | 159,00 | 2,64   | 114,00 | 1,89   | 73,50  | 1,22  | 40,90 | 0,68  | 31,50 | 0,52  | 105,00 | 1260,00 |
| 205,00                                    | 3,29   | 194,00 | 3,11   | 156,00 | 2,50   | 108,00 | 1,73  | 66,90 | 1,07  | 55,30 | 0,89  | 134,00 | 1610,00 |
| 177,00                                    | 17,11  | 143,00 | 13,82  | 87,50  | 8,46   | 48,90  | 4,73  | 24,70 | 2,39  | 20,40 | 1,97  | 90,00  | 1080,00 |
| 209,00                                    | 20,20  | 207,00 | 20,01  | 180,00 | 17,40  | 134,00 | 12,95 | 88,50 | 8,56  | 76,10 | 7,36  | 150,00 | 1800,00 |
| 191,00                                    | 3,07   | 169,00 | 2,71   | 123,00 | 1,97   | 79,10  | 1,27  | 44,40 | 0,71  | 34,20 | 0,55  | 112,00 | 1340,00 |
|   | 192,77 |        | 176,19 |        | 135,03 |        | 92,03 |       | 56,03 |       | 46,22 |        |         |
| 203,00                                    | 37,39  | 178,00 | 32,79  | 126,00 | 23,21  | 79,20  | 14,59 | 43,30 | 7,98  | 32,40 | 5,97  | 116,00 | 1390,00 |
| 216,00                                    | 42,21  | 203,00 | 39,67  | 163,00 | 31,86  | 113,00 | 22,08 | 69,60 | 13,60 | 57,20 | 11,18 | 140,00 | 1680,00 |
| 204,00                                    | 6,55   | 179,00 | 5,75   | 128,00 | 4,11   | 80,20  | 2,57  | 44,00 | 1,41  | 33,10 | 1,06  | 116,00 | 1400,00 |
| 216,00                                    | 6,93   | 203,00 | 6,52   | 163,00 | 5,23   | 113,00 | 3,63  | 70,20 | 2,25  | 57,80 | 1,86  | 140,00 | 1680,00 |
| 206,00                                    | 57,29  | 181,00 | 50,33  | 130,00 | 36,15  | 82,40  | 22,91 | 45,70 | 12,71 | 34,50 | 9,59  | 118,00 | 1420,00 |
| 216,00                                    | 60,07  | 203,00 | 56,45  | 162,00 | 45,05  | 112,00 | 31,15 | 68,80 | 19,13 | 56,40 | 15,68 | 139,00 | 1670,00 |
|   | 210,44 |        | 191,51 |        | 145,61 |        | 96,93 |       | 57,08 |       | 45,34 |        |         |

| Irradiación mensual SUR, AUT1, AUT2, IMP Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |              |        |              |        |               |        |               |        |               |        |               |
|---|---------------------|--------|-------|-------|--------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| ID  | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene        | Hfeb   | H'feb        | Hmar   | H'mar         | Habr   | H'abr         | Hmay   | H'may         | Hjun   | H'jun         |
| SUR 01  | 7,88                | 36,72  | 44,28 | 21,80 | 0,54         | 32,00  | 0,80         | 70,30  | 1,75          | 99,00  | 2,46          | 135,00 | 3,36          | 152,00 | 3,78          |
| SUR 02  | 79,89               | 306,72 | 36,03 | 30,00 | 7,56         | 45,90  | 11,57        | 93,40  | 23,54         | 122,00 | 30,74         | 157,00 | 39,56         | 175,00 | 44,10         |
| SUR 03  | 79,89               | 126,72 | 36,03 | 68,90 | 17,36        | 94,00  | 23,69        | 147,00 | 37,04         | 163,00 | 41,07         | 184,00 | 46,37         | 193,00 | 48,63         |
| SUR 04  | 83,85               | 306,72 | 36,03 | 30,00 | 7,93         | 45,90  | 12,14        | 93,40  | 24,70         | 122,00 | 32,27         | 157,00 | 41,52         | 175,00 | 46,28         |
| SUR 05  | 65,53               | 126,72 | 48,81 | 70,80 | 14,63        | 94,90  | 19,62        | 145,00 | 29,97         | 156,00 | 32,24         | 173,00 | 35,76         | 179,00 | 37,00         |
| <b>Stotal</b>   | <b>317,04</b>       |        |       |       | <b>48,03</b> |        | <b>67,80</b> |        | <b>117,00</b> |        | <b>138,79</b> |        | <b>166,56</b> |        | <b>179,79</b> |
| AUT1 01   | 24,95               | 36,72  | 36,87 | 23,90 | 1,44         | 36,00  | 2,17         | 78,40  | 4,72          | 109,00 | 6,56          | 147,00 | 8,84          | 166,00 | 9,99          |
| AUT1 02   | 183,24              | 306,72 | 31,01 | 31,90 | 14,10        | 48,90  | 21,61        | 97,80  | 43,22         | 127,00 | 56,12         | 163,00 | 72,03         | 181,00 | 79,98         |
| AUT1 03   | 163,03              | 126,72 | 31,01 | 67,40 | 26,50        | 92,60  | 36,41        | 147,00 | 57,80         | 164,00 | 64,48         | 187,00 | 73,52         | 197,00 | 77,45         |
| AUT1 04   | 22,32               | 216,72 | 23,36 | 70,00 | 3,77         | 96,10  | 5,17         | 152,00 | 8,18          | 168,00 | 9,04          | 192,00 | 10,33         | 203,00 | 10,93         |
| AUT1 05   | 21,12               | 157,15 | 34,89 | 81,20 | 4,14         | 108,00 | 5,50         | 161,00 | 8,20          | 170,00 | 8,66          | 186,00 | 9,47          | 193,00 | 9,83          |
| <b>Stotal</b>   | <b>414,66</b>       |        |       |       | <b>49,94</b> |        | <b>70,86</b> |        | <b>122,11</b> |        | <b>144,86</b> |        | <b>174,21</b> |        | <b>188,18</b> |
| AUT2 01   | 40,91               | 36,72  | 33,69 | 25,00 | 0,90         | 38,20  | 1,37         | 82,20  | 2,95          | 114,00 | 4,10          | 153,00 | 5,50          | 172,00 | 6,18          |
| AUT2 02   | 248,05              | 306,72 | 21,62 | 36,10 | 7,87         | 55,30  | 12,05        | 107,00 | 23,32         | 137,00 | 29,85         | 174,00 | 37,92         | 192,00 | 41,84         |
| AUT2 03   | 496,10              | 126,72 | 21,63 | 63,70 | 27,76        | 88,80  | 38,70        | 144,00 | 62,76         | 164,00 | 71,48         | 191,00 | 83,24         | 203,00 | 88,47         |
| AUT2 04   | 53,37               | 306,72 | 22,30 | 35,90 | 1,68         | 54,90  | 2,57         | 107,00 | 5,02          | 136,00 | 6,38          | 173,00 | 8,11          | 191,00 | 8,96          |
| AUT2 05   | 193,12              | 306,72 | 21,63 | 36,10 | 6,12         | 55,30  | 9,38         | 107,00 | 18,15         | 137,00 | 23,24         | 174,00 | 29,52         | 192,00 | 32,57         |
| AUT2 06   | 40,91               | 216,72 | 33,69 | 75,90 | 2,73         | 102,00 | 3,67         | 156,00 | 5,61          | 168,00 | 6,04          | 187,00 | 6,72          | 195,00 | 7,01          |
| AUT2 07   | 65,82               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 2,94         | 74,20  | 4,29         | 130,00 | 7,52          | 156,00 | 9,02          | 190,00 | 10,99         | 206,00 | 11,91         |
| <b>Stotal</b>   | <b>1138,28</b>      |        |       |       | <b>50,00</b> |        | <b>72,04</b> |        | <b>125,33</b> |        | <b>150,11</b> |        | <b>182,00</b> |        | <b>196,95</b> |
| IMP 01  | 168,02              | 306,72 | 26,61 | 33,80 | 16,21        | 51,80  | 24,85        | 102,00 | 48,92         | 132,00 | 63,31         | 168,00 | 80,58         | 187,00 | 89,69         |
| IMP 02  | 159,91              | 126,72 | 26,61 | 65,80 | 30,04        | 91,10  | 41,59        | 146,00 | 66,65         | 164,00 | 74,87         | 189,00 | 86,28         | 200,00 | 91,30         |
| IMP 03  | 22,37               | 216,72 | 33,89 | 76,00 | 4,85         | 102,00 | 6,51         | 156,00 | 9,96          | 168,00 | 10,73         | 187,00 | 11,94         | 195,00 | 12,45         |
| <b>Stotal</b>   | <b>350,30</b>       |        |       |       | <b>51,10</b> |        | <b>72,95</b> |        | <b>125,53</b> |        | <b>148,91</b> |        | <b>178,80</b> |        | <b>193,45</b> |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual SUR, AUT1, AUT2, IMP Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul  | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 152,00  | 3,78   | 123,00 | 3,06   | 75,80  | 1,88   | 44,90  | 1,12  | 23,90 | 0,59  | 18,40 | 0,46  | 79,00  | 947,00  |
| 177,00  | 44,60  | 151,00 | 38,05  | 103,00 | 25,95  | 64,10  | 16,15 | 34,40 | 8,67  | 25,70 | 6,48  | 98,20  | 1180,00 |
| 204,00  | 51,41  | 198,00 | 49,89  | 166,00 | 41,83  | 119,00 | 29,99 | 76,70 | 19,33 | 65,00 | 16,38 | 140,00 | 1680,00 |
| 177,00  | 46,81  | 151,00 | 39,94  | 103,00 | 27,24  | 64,10  | 16,95 | 34,40 | 9,10  | 25,70 | 6,80  | 98,20  | 1180,00 |
| 189,00  | 39,07  | 188,00 | 38,86  | 162,00 | 33,48  | 119,00 | 24,60 | 78,30 | 16,18 | 67,40 | 13,93 | 135,00 | 1620,00 |
|   | 185,66 |        | 169,80 |        | 130,39 |        | 88,80 |       | 53,87 |       | 44,04 |        |         |
| 167,00  | 10,05  | 137,00 | 8,24   | 86,60  | 5,21   | 50,90  | 3,06  | 26,50 | 1,59  | 20,00 | 1,20  | 87,40  | 1050,00 |
| 184,00  | 81,31  | 159,00 | 70,26  | 109,00 | 48,17  | 68,00  | 30,05 | 36,60 | 16,17 | 27,40 | 12,11 | 103,00 | 1230,00 |
| 208,00  | 81,78  | 200,00 | 78,63  | 166,00 | 65,27  | 118,00 | 46,39 | 75,30 | 29,61 | 63,30 | 24,89 | 141,00 | 1690,00 |
| 214,00  | 11,52  | 206,00 | 11,09  | 171,00 | 9,20   | 123,00 | 6,62  | 79,10 | 4,26  | 66,70 | 3,59  | 145,00 | 1740,00 |
| 205,00  | 10,44  | 205,00 | 10,44  | 181,00 | 9,22   | 135,00 | 6,88  | 90,40 | 4,60  | 78,20 | 3,98  | 150,00 | 1790,00 |
|   | 195,10 |        | 178,67 |        | 137,07 |        | 93,00 |       | 56,24 |       | 45,77 |        |         |
| 173,00  | 6,22   | 143,00 | 5,14   | 91,60  | 3,29   | 53,90  | 1,94  | 28,00 | 1,01  | 20,80 | 0,75  | 91,10  | 1090,00 |
| 197,00  | 42,93  | 172,00 | 37,48  | 121,00 | 26,37  | 76,30  | 16,63 | 41,60 | 9,07  | 31,30 | 6,82  | 112,00 | 1340,00 |
| 213,00  | 92,83  | 202,00 | 88,04  | 164,00 | 71,48  | 114,00 | 49,68 | 71,50 | 31,16 | 59,30 | 25,84 | 140,00 | 1680,00 |
| 196,00  | 9,19   | 171,00 | 8,02   | 120,00 | 5,63   | 75,60  | 3,54  | 41,30 | 1,94  | 31,00 | 1,45  | 111,00 | 1330,00 |
| 197,00  | 33,42  | 172,00 | 29,18  | 121,00 | 20,53  | 76,30  | 12,95 | 41,60 | 7,06  | 31,30 | 5,31  | 112,00 | 1340,00 |
| 207,00  | 7,44   | 204,00 | 7,33   | 175,00 | 6,29   | 130,00 | 4,67  | 85,50 | 3,07  | 73,40 | 2,64  | 147,00 | 1760,00 |
| 214,00  | 12,37  | 195,00 | 11,28  | 148,00 | 8,56   | 98,50  | 5,70  | 57,90 | 3,35  | 45,90 | 2,65  | 131,00 | 1570,00 |
|   | 204,41 |        | 186,47 |        | 142,14 |        | 95,11 |       | 56,65 |       | 45,47 |        |         |
| 190,00  | 91,13  | 165,00 | 79,14  | 115,00 | 55,16  | 71,70  | 34,39 | 38,80 | 18,61 | 29,10 | 13,96 | 107,00 | 1280,00 |
| 211,00  | 96,32  | 201,00 | 91,76  | 165,00 | 75,32  | 117,00 | 53,41 | 73,60 | 33,60 | 61,60 | 28,12 | 140,00 | 1690,00 |
| 207,00  | 13,22  | 203,00 | 12,96  | 175,00 | 11,18  | 130,00 | 8,30  | 85,60 | 5,47  | 73,50 | 4,69  | 146,00 | 1760,00 |
|   | 200,67 |        | 183,86 |        | 141,66 |        | 96,10 |       | 57,67 |       | 46,77 |        |         |

| Irradiación mensual OBR, LAV, TLR Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| OBR 01   | 211,32              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 8,89  | 74,20  | 12,98 | 130,00 | 22,75  | 156,00 | 27,30  | 190,00 | 33,25  | 206,00 | 36,05  |
| OBR 02   | 32,36               | 36,72  | 35,67 | 24,20 | 0,65  | 36,90  | 0,99  | 79,70  | 2,14   | 111,00 | 2,97   | 149,00 | 3,99   | 168,00 | 4,50   |
| OBR 03   | 91,91               | 306,72 | 25,50 | 34,20 | 2,60  | 52,50  | 4,00  | 103,00 | 7,84   | 133,00 | 10,12  | 170,00 | 12,94  | 188,00 | 14,31  |
| OBR 04   | 91,89               | 126,72 | 25,50 | 65,40 | 4,98  | 90,60  | 6,89  | 145,00 | 11,03  | 164,00 | 12,48  | 190,00 | 14,46  | 201,00 | 15,30  |
| OBR 05   | 118,46              | 306,72 | 5,18  | 46,90 | 4,60  | 69,60  | 6,83  | 125,00 | 12,26  | 152,00 | 14,91  | 187,00 | 18,34  | 205,00 | 20,11  |
| OBR 06   | 100,72              | 36,72  | 24,18 | 29,60 | 2,47  | 46,30  | 3,86  | 95,00  | 7,92   | 127,00 | 10,59  | 167,00 | 13,93  | 186,00 | 15,51  |
| OBR 07   | 32,51               | 306,72 | 38,07 | 29,30 | 0,79  | 44,80  | 1,21  | 91,50  | 2,46   | 120,00 | 3,23   | 154,00 | 4,15   | 172,00 | 4,63   |
| OBR 08   | 32,51               | 126,72 | 38,07 | 69,40 | 1,87  | 94,30  | 2,54  | 147,00 | 3,96   | 162,00 | 4,36   | 183,00 | 4,93   | 191,00 | 5,14   |
| OBR 09   | 100,72              | 216,72 | 24,18 | 70,50 | 5,88  | 96,60  | 8,06  | 152,00 | 12,68  | 168,00 | 14,01  | 192,00 | 16,01  | 202,00 | 16,85  |
| OBR 10   | 211,32              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 8,89  | 74,20  | 12,98 | 130,00 | 22,75  | 156,00 | 27,30  | 190,00 | 33,25  | 206,00 | 36,05  |
| OBR 11   | 91,92               | 306,72 | 25,50 | 34,20 | 2,60  | 52,50  | 4,00  | 103,00 | 7,84   | 133,00 | 10,12  | 170,00 | 12,94  | 188,00 | 14,31  |
| OBR 12   | 91,92               | 126,72 | 25,50 | 65,40 | 4,98  | 90,60  | 6,90  | 145,00 | 11,04  | 164,00 | 12,48  | 190,00 | 14,46  | 201,00 | 15,30  |
| Stotal   | 1207,56             |        |       |       | 49,20 |        | 71,23 |        | 124,67 |        | 149,89 |        | 182,65 |        | 198,06 |
| LAV 01   | 256,70              | 306,72 | 25,95 | 34,10 | 17,05 | 52,10  | 26,05 | 103,00 | 51,50  | 132,00 | 66,00  | 169,00 | 84,50  | 187,00 | 93,50  |
| LAV 02   | 256,70              | 126,72 | 25,95 | 65,60 | 32,80 | 90,80  | 45,40 | 146,00 | 73,00  | 164,00 | 82,00  | 189,00 | 94,50  | 201,00 | 100,50 |
| Stotal   | 513,40              |        |       |       | 49,85 |        | 71,45 |        | 124,50 |        | 148,00 |        | 179,00 |        | 194,00 |
| TLR 01   | 58,12               | 36,72  | 23,81 | 29,80 | 1,24  | 46,50  | 1,94  | 95,60  | 3,99   | 128,00 | 5,34   | 168,00 | 7,01   | 187,00 | 7,81   |
| TLR 02   | 455,81              | 306,72 | 20,99 | 36,50 | 11,95 | 55,80  | 18,27 | 108,00 | 35,35  | 138,00 | 45,17  | 175,00 | 57,28  | 193,00 | 63,18  |
| TLR 03   | 455,81              | 126,72 | 20,99 | 63,40 | 20,75 | 88,50  | 28,97 | 144,00 | 47,14  | 164,00 | 53,68  | 191,00 | 62,52  | 203,00 | 66,45  |
| TLR 04   | 58,12               | 261,72 | 23,81 | 70,30 | 2,93  | 96,40  | 4,02  | 152,00 | 6,34   | 168,00 | 7,01   | 192,00 | 8,01   | 202,00 | 8,43   |
| TLR 05   | 19,23               | 36,72  | 36,87 | 23,90 | 0,33  | 36,00  | 0,50  | 78,40  | 1,08   | 109,00 | 1,51   | 147,00 | 2,03   | 166,00 | 2,29   |
| TLR 06   | 163,08              | 306,72 | 37,96 | 29,30 | 3,43  | 44,90  | 5,26  | 91,60  | 10,73  | 120,00 | 14,05  | 155,00 | 18,15  | 172,00 | 20,14  |
| TLR 07   | 163,08              | 126,72 | 37,96 | 69,30 | 8,12  | 94,30  | 11,04 | 147,00 | 17,22  | 162,00 | 18,97  | 183,00 | 21,43  | 191,00 | 22,37  |
| TLR 08   | 19,23               | 216,72 | 36,87 | 77,30 | 1,07  | 103,00 | 1,42  | 157,00 | 2,17   | 167,00 | 2,31   | 185,00 | 2,55   | 192,00 | 2,65   |
| Stotal   | 1392,48             |        |       |       | 49,82 |        | 71,42 |        | 124,02 |        | 148,05 |        | 179,00 |        | 193,32 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual OBR, LAV, TLR Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul   | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 214,00   | 37,45  | 195,00 | 34,12  | 148,00 | 25,90  | 98,50  | 17,24 | 57,90 | 10,13 | 45,90 | 8,03  | 131,00 | 1570,00 |
| 169,00   | 4,53   | 139,00 | 3,72   | 88,40  | 2,37   | 52,00  | 1,39  | 27,10 | 0,73  | 20,30 | 0,54  | 88,80  | 1070,00 |
| 192,00   | 14,61  | 166,00 | 12,63  | 116,00 | 8,83   | 72,60  | 5,53  | 39,40 | 3,00  | 29,50 | 2,25  | 108,00 | 1300,00 |
| 211,00   | 16,06  | 201,00 | 15,30  | 165,00 | 12,56  | 116,00 | 8,83  | 73,20 | 5,57  | 61,10 | 4,65  | 140,00 | 1680,00 |
| 212,00   | 20,80  | 191,00 | 18,74  | 143,00 | 14,03  | 93,20  | 9,14  | 53,80 | 5,28  | 41,90 | 4,11  | 127,00 | 1520,00 |
| 190,00   | 15,85  | 161,00 | 13,43  | 108,00 | 9,01   | 64,70  | 5,40  | 33,80 | 2,82  | 24,70 | 2,06  | 103,00 | 1230,00 |
| 174,00   | 4,68   | 148,00 | 3,98   | 101,00 | 2,72   | 62,70  | 1,69  | 33,50 | 0,90  | 25,10 | 0,68  | 96,30  | 1160,00 |
| 202,00   | 5,44   | 197,00 | 5,30   | 166,00 | 4,47   | 120,00 | 3,23  | 77,10 | 2,08  | 65,60 | 1,77  | 139,00 | 1670,00 |
| 213,00   | 17,77  | 206,00 | 17,18  | 172,00 | 14,35  | 124,00 | 10,34 | 79,70 | 6,65  | 67,30 | 5,61  | 145,00 | 1740,00 |
| 214,00   | 37,45  | 195,00 | 34,12  | 148,00 | 25,90  | 98,50  | 17,24 | 57,90 | 10,13 | 45,90 | 8,03  | 131,00 | 1570,00 |
| 192,00   | 14,62  | 166,00 | 12,64  | 116,00 | 8,83   | 72,60  | 5,53  | 39,40 | 3,00  | 29,50 | 2,25  | 108,00 | 1300,00 |
| 211,00   | 16,06  | 201,00 | 15,30  | 165,00 | 12,56  | 116,00 | 8,83  | 73,20 | 5,57  | 61,10 | 4,65  | 140,00 | 1680,00 |
|  | 205,31 |        | 186,48 |        | 141,51 |        | 94,38 |       | 55,85 |       | 44,63 |        |         |
| 191,00   | 95,50  | 166,00 | 83,00  | 116,00 | 58,00  | 72,40  | 36,20 | 39,20 | 19,60 | 29,40 | 14,70 | 108,00 | 1290,00 |
| 211,00   | 105,50 | 201,00 | 100,50 | 165,00 | 82,50  | 116,00 | 58,00 | 73,40 | 36,70 | 61,30 | 30,65 | 140,00 | 1680,00 |
|  | 201,00 |        | 183,50 |        | 140,50 |        | 94,20 |       | 56,30 |       | 45,35 |        |         |
| 190,00   | 7,93   | 162,00 | 6,76   | 109,00 | 4,55   | 65,00  | 2,71  | 33,90 | 1,41  | 24,80 | 1,04  | 103,00 | 1240,00 |
| 198,00   | 64,81  | 173,00 | 56,63  | 122,00 | 39,94  | 76,70  | 25,11 | 42,00 | 13,75 | 31,60 | 10,34 | 112,00 | 1350,00 |
| 213,00   | 69,72  | 202,00 | 66,12  | 163,00 | 53,36  | 114,00 | 37,32 | 71,20 | 23,31 | 59,00 | 19,31 | 140,00 | 1680,00 |
| 213,00   | 8,89   | 206,00 | 8,60   | 172,00 | 7,18   | 124,00 | 5,18  | 79,50 | 3,32  | 67,00 | 2,80  | 145,00 | 1740,00 |
| 167,00   | 2,31   | 137,00 | 1,89   | 86,60  | 1,20   | 50,90  | 0,70  | 26,50 | 0,37  | 20,00 | 0,28  | 87,40  | 1050,00 |
| 174,00   | 20,38  | 149,00 | 17,45  | 101,00 | 11,83  | 62,80  | 7,35  | 33,60 | 3,94  | 25,10 | 2,94  | 96,40  | 1160,00 |
| 202,00   | 23,66  | 197,00 | 23,07  | 166,00 | 19,44  | 120,00 | 14,05 | 77,10 | 9,03  | 65,50 | 7,67  | 139,00 | 1670,00 |
| 204,00   | 2,82   | 202,00 | 2,79   | 175,00 | 2,42   | 131,00 | 1,81  | 87,00 | 1,20  | 75,10 | 1,04  | 146,00 | 1760,00 |
|  | 200,51 |        | 183,31 |        | 139,90 |        | 94,23 |       | 56,32 |       | 45,41 |        |         |

| Irradiación mensual CFM Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb  | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| CFM 01                               | 61,89               | 66,71  | 17,29 | 42,60 | 0,84  | 63,60 | 1,26  | 117,00 | 2,31   | 145,00 | 2,86   | 181,00 | 3,57   | 198,00 | 3,91   |
| CFM 02                               | 160,20              | 336,71 | 17,39 | 31,70 | 1,62  | 50,10 | 2,56  | 102,00 | 5,21   | 134,00 | 6,85   | 174,00 | 8,89   | 194,00 | 9,91   |
| CFM 03                               | 218,16              | 156,71 | 17,39 | 68,20 | 4,75  | 94,40 | 6,57  | 150,00 | 10,44  | 168,00 | 11,69  | 194,00 | 13,50  | 205,00 | 14,26  |
| CFM 04                               | 239,07              | 336,71 | 15,20 | 33,90 | 2,58  | 53,10 | 4,05  | 106,00 | 8,08   | 138,00 | 10,52  | 177,00 | 13,50  | 196,00 | 14,95  |
| CFM 05                               | 223,91              | 336,71 | 17,39 | 31,70 | 2,26  | 50,10 | 3,58  | 102,00 | 7,28   | 134,00 | 9,57   | 174,00 | 12,43  | 194,00 | 13,85  |
| CFM 06                               | 262,53              | 156,71 | 17,39 | 68,20 | 5,71  | 94,40 | 7,90  | 150,00 | 12,56  | 168,00 | 14,07  | 194,00 | 16,24  | 205,00 | 17,17  |
| CFM 07                               | 61,89               | 246,71 | 17,29 | 57,50 | 1,14  | 81,70 | 1,61  | 138,00 | 2,72   | 160,00 | 3,16   | 190,00 | 3,75   | 204,00 | 4,03   |
| CFM 08                               | 61,09               | 66,71  | 17,29 | 42,60 | 0,83  | 63,60 | 1,24  | 117,00 | 2,28   | 145,00 | 2,83   | 181,00 | 3,53   | 198,00 | 3,86   |
| CFM 09                               | 215,55              | 336,71 | 17,60 | 31,40 | 2,16  | 49,80 | 3,42  | 101,00 | 6,94   | 134,00 | 9,21   | 174,00 | 11,96  | 194,00 | 13,34  |
| CFM 10                               | 158,29              | 156,71 | 17,60 | 68,40 | 3,45  | 94,60 | 4,78  | 150,00 | 7,57   | 168,00 | 8,48   | 194,00 | 9,79   | 205,00 | 10,35  |
| CFM 11                               | 244,17              | 156,71 | 15,39 | 66,40 | 5,17  | 92,40 | 7,20  | 148,00 | 11,53  | 167,00 | 13,01  | 194,00 | 15,11  | 206,00 | 16,04  |
| CFM 12                               | 257,97              | 336,71 | 17,60 | 31,40 | 2,58  | 49,80 | 4,10  | 101,00 | 8,31   | 134,00 | 11,03  | 174,00 | 14,32  | 194,00 | 15,96  |
| CFM 13                               | 214,27              | 156,71 | 17,60 | 68,40 | 4,67  | 94,60 | 6,47  | 150,00 | 10,25  | 168,00 | 11,48  | 194,00 | 13,26  | 205,00 | 14,01  |
| CFM 14                               | 61,09               | 246,71 | 17,29 | 57,50 | 1,12  | 81,70 | 1,59  | 138,00 | 2,69   | 160,00 | 3,12   | 190,00 | 3,70   | 204,00 | 3,97   |
| CFM 15                               | 223,81              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 3,63  | 74,20 | 5,30  | 130,00 | 9,28   | 156,00 | 11,14  | 190,00 | 13,56  | 206,00 | 14,71  |
| CFM 16                               | 179,55              | 66,71  | 19,60 | 41,60 | 2,38  | 62,30 | 3,57  | 115,00 | 6,59   | 144,00 | 8,25   | 179,00 | 10,25  | 196,00 | 11,22  |
| CFM 17                               | 179,55              | 246,71 | 19,60 | 58,20 | 3,33  | 82,50 | 4,72  | 139,00 | 7,96   | 160,00 | 9,16   | 189,00 | 10,82  | 203,00 | 11,63  |
| CFM 18                               | 55,87               | 66,71  | 17,87 | 42,30 | 0,75  | 63,30 | 1,13  | 116,00 | 2,07   | 145,00 | 2,58   | 180,00 | 3,21   | 197,00 | 3,51   |
| CFM 19                               | 56,41               | 246,71 | 17,29 | 57,50 | 1,03  | 81,70 | 1,47  | 138,00 | 2,48   | 160,00 | 2,88   | 190,00 | 3,42   | 204,00 | 3,67   |
| Stotal                               | 3135,27             |        |       |       | 50,02 |       | 72,50 |        | 126,56 |        | 151,88 |        | 184,81 |        | 200,35 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual CFM Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 204,00                               | 4,03   | 182,00 | 3,59   | 134,00 | 2,65   | 85,60  | 1,69  | 48,40 | 0,96  | 37,30 | 0,74  | 120,00 | 1440,00 |
| 198,00                               | 10,12  | 170,00 | 8,69   | 116,00 | 5,93   | 70,10  | 3,58  | 36,60 | 1,87  | 26,40 | 1,35  | 109,00 | 1300,00 |
| 216,00                               | 15,03  | 207,00 | 14,40  | 170,00 | 11,83  | 121,00 | 8,42  | 76,70 | 5,34  | 64,10 | 4,46  | 145,00 | 1740,00 |
| 201,00                               | 15,33  | 174,00 | 13,27  | 121,00 | 9,23   | 73,80  | 5,63  | 39,20 | 2,99  | 28,50 | 2,17  | 112,00 | 1340,00 |
| 198,00                               | 14,14  | 170,00 | 12,14  | 116,00 | 8,28   | 70,10  | 5,01  | 36,60 | 2,61  | 26,40 | 1,89  | 109,00 | 1300,00 |
| 216,00                               | 18,09  | 207,00 | 17,33  | 170,00 | 14,23  | 121,00 | 10,13 | 76,70 | 6,42  | 64,10 | 5,37  | 145,00 | 1740,00 |
| 213,00                               | 4,20   | 198,00 | 3,91   | 156,00 | 3,08   | 107,00 | 2,11  | 65,60 | 1,29  | 53,50 | 1,06  | 135,00 | 1620,00 |
| 204,00                               | 3,97   | 182,00 | 3,55   | 134,00 | 2,61   | 85,60  | 1,67  | 48,40 | 0,94  | 37,30 | 0,73  | 120,00 | 1440,00 |
| 198,00                               | 13,61  | 170,00 | 11,69  | 116,00 | 7,98   | 69,80  | 4,80  | 36,40 | 2,50  | 26,20 | 1,80  | 108,00 | 1300,00 |
| 216,00                               | 10,91  | 207,00 | 10,45  | 171,00 | 8,63   | 121,00 | 6,11  | 76,90 | 3,88  | 64,30 | 3,25  | 145,00 | 1740,00 |
| 217,00                               | 16,90  | 206,00 | 16,04  | 168,00 | 13,08  | 119,00 | 9,27  | 74,80 | 5,83  | 62,20 | 4,84  | 143,00 | 1720,00 |
| 198,00                               | 16,29  | 170,00 | 13,99  | 116,00 | 9,54   | 69,80  | 5,74  | 36,40 | 2,99  | 26,20 | 2,16  | 108,00 | 1300,00 |
| 216,00                               | 14,76  | 207,00 | 14,15  | 171,00 | 11,69  | 121,00 | 8,27  | 76,90 | 5,26  | 64,30 | 4,39  | 145,00 | 1740,00 |
| 213,00                               | 4,15   | 198,00 | 3,86   | 156,00 | 3,04   | 107,00 | 2,08  | 65,60 | 1,28  | 53,50 | 1,04  | 135,00 | 1620,00 |
| 214,00                               | 15,28  | 195,00 | 13,92  | 148,00 | 10,56  | 98,50  | 7,03  | 57,90 | 4,13  | 45,90 | 3,28  | 131,00 | 1570,00 |
| 202,00                               | 11,57  | 180,00 | 10,31  | 131,00 | 7,50   | 84,00  | 4,81  | 47,30 | 2,71  | 36,40 | 2,08  | 118,00 | 1420,00 |
| 212,00                               | 12,14  | 198,00 | 11,34  | 157,00 | 8,99   | 108,00 | 6,18  | 66,30 | 3,80  | 54,30 | 3,11  | 136,00 | 1630,00 |
| 203,00                               | 3,62   | 181,00 | 3,23   | 133,00 | 2,37   | 85,20  | 1,52  | 48,10 | 0,86  | 37,10 | 0,66  | 119,00 | 1430,00 |
| 213,00                               | 3,83   | 198,00 | 3,56   | 156,00 | 2,81   | 107,00 | 1,93  | 65,60 | 1,18  | 53,50 | 0,96  | 135,00 | 1620,00 |
|                                      | 207,96 |        | 189,41 |        | 144,03 |        | 95,98 |       | 56,84 |       | 45,33 |        |         |

| Irradiación mensual RSO Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| RSO 01                               | 38,57               | 10,00  | 26,57 | 23,00 | 0,73  | 34,60  | 1,10  | 81,30  | 2,59   | 118,00 | 3,75   | 161,00 | 5,12   | 182,00 | 5,79   |
| RSO 02                               | 162,87              | 100,00 | 24,78 | 53,80 | 7,22  | 77,10  | 10,35 | 131,00 | 17,59  | 155,00 | 20,82  | 185,00 | 24,84  | 198,00 | 26,59  |
| RSO 03                               | 118,12              | 280,00 | 24,78 | 45,10 | 4,39  | 66,50  | 6,48  | 120,00 | 11,69  | 146,00 | 14,22  | 179,00 | 17,43  | 195,00 | 18,99  |
| RSO 04                               | 64,73               | 10,00  | 23,20 | 24,50 | 1,31  | 39,30  | 2,10  | 88,20  | 4,71   | 124,00 | 6,62   | 166,00 | 8,86   | 186,00 | 9,93   |
| RSO 05                               | 108,52              | 190,00 | 23,20 | 74,90 | 6,70  | 102,00 | 9,13  | 158,00 | 14,14  | 171,00 | 15,30  | 193,00 | 17,27  | 202,00 | 18,07  |
| RSO 06                               | 38,57               | 10,00  | 26,57 | 23,00 | 0,73  | 34,60  | 1,10  | 81,30  | 2,59   | 118,00 | 3,75   | 161,00 | 5,12   | 182,00 | 5,79   |
| RSO 07                               | 118,12              | 100,00 | 24,78 | 53,80 | 5,24  | 77,10  | 7,51  | 131,00 | 12,76  | 155,00 | 15,10  | 185,00 | 18,02  | 198,00 | 19,28  |
| RSO 08                               | 162,87              | 280,00 | 24,78 | 45,10 | 6,06  | 66,50  | 8,93  | 120,00 | 16,12  | 146,00 | 19,61  | 179,00 | 24,04  | 195,00 | 26,19  |
| RSO 09                               | 64,73               | 10,00  | 23,20 | 24,50 | 1,31  | 39,30  | 2,10  | 88,20  | 4,71   | 124,00 | 6,62   | 166,00 | 8,86   | 186,00 | 9,93   |
| RSO 10                               | 108,52              | 190,00 | 23,20 | 74,90 | 6,70  | 102,00 | 9,13  | 158,00 | 14,14  | 171,00 | 15,30  | 193,00 | 17,27  | 202,00 | 18,07  |
| RSO 11                               | 30,23               | 190,00 | 29,74 | 80,10 | 2,00  | 108,00 | 2,69  | 162,00 | 4,04   | 172,00 | 4,29   | 190,00 | 4,74   | 197,00 | 4,91   |
| RSO 12                               | 59,77               | 100,00 | 30,96 | 54,00 | 2,66  | 77,10  | 3,80  | 131,00 | 6,46   | 153,00 | 7,54   | 182,00 | 8,97   | 194,00 | 9,56   |
| RSO 13                               | 59,77               | 280,00 | 30,96 | 43,90 | 2,16  | 64,70  | 3,19  | 118,00 | 5,82   | 143,00 | 7,05   | 175,00 | 8,62   | 190,00 | 9,36   |
| RSO 14                               | 23,40               | 100,00 | 30,76 | 54,00 | 1,04  | 77,10  | 1,49  | 131,00 | 2,53   | 153,00 | 2,95   | 182,00 | 3,51   | 195,00 | 3,76   |
| RSO 15                               | 23,40               | 280,00 | 30,76 | 43,90 | 0,85  | 64,80  | 1,25  | 118,00 | 2,28   | 143,00 | 2,76   | 175,00 | 3,38   | 190,00 | 3,67   |
| RSO 16                               | 6,12                | 82,00  | 32,04 | 44,70 | 0,23  | 65,60  | 0,33  | 117,00 | 0,59   | 143,00 | 0,72   | 175,00 | 0,88   | 189,00 | 0,95   |
| RSO 17                               | 6,12                | 46,00  | 32,04 | 28,70 | 0,14  | 44,30  | 0,22  | 90,80  | 0,46   | 122,00 | 0,62   | 159,00 | 0,80   | 177,00 | 0,89   |
| RSO 18                               | 6,12                | 10,00  | 32,04 | 23,10 | 0,12  | 28,40  | 0,14  | 70,50  | 0,36   | 107,00 | 0,54   | 151,00 | 0,76   | 173,00 | 0,87   |
| RSO 19                               | 6,12                | 334,00 | 32,04 | 22,80 | 0,12  | 34,50  | 0,17  | 78,10  | 0,39   | 111,00 | 0,56   | 153,00 | 0,77   | 174,00 | 0,88   |
| RSO 20                               | 6,12                | 298,00 | 32,04 | 35,20 | 0,18  | 53,20  | 0,27  | 104,00 | 0,52   | 131,00 | 0,66   | 166,00 | 0,84   | 183,00 | 0,92   |
| Stotal                               | 1212,79             |        |       |       | 49,89 |        | 71,48 |        | 124,45 |        | 148,77 |        | 180,11 |        | 194,42 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual RSO Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 183,00                               | 5,82   | 150,00 | 4,77   | 93,10  | 2,96   | 50,90  | 1,62  | 24,90 | 0,79  | 20,90 | 0,66  | 93,50  | 1120,00 |
| 207,00                               | 27,80  | 191,00 | 25,65  | 149,00 | 20,01  | 101,00 | 13,56 | 60,50 | 8,12  | 49,00 | 6,58  | 130,00 | 1560,00 |
| 201,00                               | 19,58  | 182,00 | 17,73  | 136,00 | 13,25  | 89,60  | 8,73  | 51,90 | 5,05  | 40,80 | 3,97  | 121,00 | 1450,00 |
| 189,00                               | 10,09  | 157,00 | 8,38   | 101,00 | 5,39   | 57,00  | 3,04  | 27,90 | 1,49  | 20,40 | 1,09  | 98,40  | 1180,00 |
| 214,00                               | 19,15  | 209,00 | 18,70  | 178,00 | 15,93  | 130,00 | 11,63 | 84,20 | 7,53  | 71,60 | 6,41  | 149,00 | 1790,00 |
| 183,00                               | 5,82   | 150,00 | 4,77   | 93,10  | 2,96   | 50,90  | 1,62  | 24,90 | 0,79  | 20,90 | 0,66  | 93,50  | 1120,00 |
| 207,00                               | 20,16  | 191,00 | 18,60  | 149,00 | 14,51  | 101,00 | 9,84  | 60,50 | 5,89  | 49,00 | 4,77  | 130,00 | 1560,00 |
| 201,00                               | 26,99  | 182,00 | 24,44  | 136,00 | 18,26  | 89,60  | 12,03 | 51,90 | 6,97  | 40,80 | 5,48  | 121,00 | 1450,00 |
| 189,00                               | 10,09  | 157,00 | 8,38   | 101,00 | 5,39   | 57,00  | 3,04  | 27,90 | 1,49  | 20,40 | 1,09  | 98,40  | 1180,00 |
| 214,00                               | 19,15  | 209,00 | 18,70  | 178,00 | 15,93  | 130,00 | 11,63 | 84,20 | 7,53  | 71,60 | 6,41  | 149,00 | 1790,00 |
| 210,00                               | 5,23   | 208,00 | 5,18   | 182,00 | 4,54   | 136,00 | 3,39  | 89,80 | 2,24  | 77,30 | 1,93  | 151,00 | 1810,00 |
| 202,00                               | 9,96   | 189,00 | 9,31   | 148,00 | 7,29   | 101,00 | 4,98  | 60,70 | 2,99  | 49,30 | 2,43  | 128,00 | 1540,00 |
| 196,00                               | 9,66   | 177,00 | 8,72   | 132,00 | 6,51   | 87,30  | 4,30  | 50,30 | 2,48  | 39,70 | 1,96  | 118,00 | 1420,00 |
| 203,00                               | 3,92   | 189,00 | 3,65   | 148,00 | 2,86   | 101,00 | 1,95  | 60,70 | 1,17  | 49,30 | 0,95  | 128,00 | 1540,00 |
| 196,00                               | 3,78   | 177,00 | 3,42   | 132,00 | 2,55   | 87,40  | 1,69  | 50,40 | 0,97  | 39,80 | 0,77  | 118,00 | 1420,00 |
| 195,00                               | 0,98   | 177,00 | 0,89   | 133,00 | 0,67   | 87,20  | 0,44  | 50,30 | 0,25  | 39,80 | 0,20  | 118,00 | 1420,00 |
| 179,00                               | 0,90   | 152,00 | 0,77   | 102,00 | 0,51   | 61,50  | 0,31  | 32,30 | 0,16  | 24,00 | 0,12  | 97,60  | 1170,00 |
| 173,00                               | 0,87   | 138,00 | 0,70   | 79,70  | 0,40   | 41,70  | 0,21  | 24,50 | 0,12  | 20,20 | 0,10  | 85,90  | 1030,00 |
| 175,00                               | 0,88   | 141,00 | 0,71   | 86,80  | 0,44   | 49,70  | 0,25  | 25,30 | 0,13  | 20,20 | 0,10  | 89,30  | 1070,00 |
| 187,00                               | 0,94   | 163,00 | 0,82   | 115,00 | 0,58   | 73,50  | 0,37  | 40,40 | 0,20  | 30,70 | 0,15  | 107,00 | 1280,00 |
|                                      | 201,78 |        | 184,30 |        | 140,93 |        | 94,63 |       | 56,40 |       | 45,84 |        |         |

| Irradiación mensual HSP Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |       |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar | Habr   | H'abr | Hmay   | H'may | Hjun   | H'jun |
| HSP 01                               | 10,60               | 345,00 | 28,02 | 22,90 | 0,11  | 34,30  | 0,17  | 79,90  | 0,39  | 116,00 | 0,57  | 159,00 | 0,78  | 180,00 | 0,88  |
| HSP 02                               | 109,49              | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 1,17  | 30,20  | 1,52  | 72,90  | 3,68  | 109,00 | 5,49  | 152,00 | 7,66  | 174,00 | 8,77  |
| HSP 03                               | 85,82               | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 3,20  | 108,00 | 4,27  | 162,00 | 6,40  | 171,00 | 6,76  | 189,00 | 7,47  | 195,00 | 7,71  |
| HSP 04                               | 9,75                | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 0,36  | 108,00 | 0,48  | 162,00 | 0,73  | 171,00 | 0,77  | 189,00 | 0,85  | 195,00 | 0,88  |
| HSP 05                               | 139,67              | 255,00 | 35,13 | 56,80 | 3,65  | 80,10  | 5,15  | 134,00 | 8,62  | 154,00 | 9,90  | 181,00 | 11,64 | 193,00 | 12,41 |
| HSP 06                               | 63,85               | 75,00  | 31,78 | 41,30 | 1,21  | 61,30  | 1,80  | 112,00 | 3,29  | 140,00 | 4,12  | 172,00 | 5,06  | 187,00 | 5,50  |
| HSP 07                               | 85,82               | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,92  | 30,20  | 1,19  | 72,90  | 2,88  | 109,00 | 4,31  | 152,00 | 6,01  | 174,00 | 6,88  |
| HSP 08                               | 85,82               | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 3,20  | 108,00 | 4,27  | 162,00 | 6,40  | 171,00 | 6,76  | 189,00 | 7,47  | 195,00 | 7,71  |
| HSP 09                               | 63,85               | 75,00  | 31,78 | 41,30 | 1,21  | 61,30  | 1,80  | 112,00 | 3,29  | 140,00 | 4,12  | 172,00 | 5,06  | 187,00 | 5,50  |
| HSP 10                               | 85,82               | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,92  | 30,20  | 1,19  | 72,90  | 2,88  | 109,00 | 4,31  | 152,00 | 6,01  | 174,00 | 6,88  |
| HSP 11                               | 9,39                | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,10  | 30,20  | 0,13  | 72,90  | 0,32  | 109,00 | 0,47  | 152,00 | 0,66  | 174,00 | 0,75  |
| HSP 12                               | 109,11              | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 4,06  | 108,00 | 5,43  | 162,00 | 8,14  | 171,00 | 8,59  | 189,00 | 9,49  | 195,00 | 9,80  |
| HSP 13                               | 9,56                | 165,00 | 31,40 | 80,60 | 0,35  | 108,00 | 0,48  | 162,00 | 0,71  | 171,00 | 0,75  | 189,00 | 0,83  | 196,00 | 0,86  |
| HSP 14                               | 9,56                | 345,00 | 31,40 | 23,20 | 0,10  | 30,70  | 0,14  | 73,60  | 0,32  | 109,00 | 0,48  | 153,00 | 0,67  | 174,00 | 0,77  |
| HSP 15                               | 109,46              | 345,00 | 31,40 | 23,20 | 1,17  | 30,20  | 1,52  | 72,90  | 3,67  | 109,00 | 5,49  | 152,00 | 7,66  | 174,00 | 8,77  |
| HSP 16                               | 85,85               | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 3,20  | 108,00 | 4,27  | 162,00 | 6,40  | 171,00 | 6,76  | 189,00 | 7,47  | 195,00 | 7,71  |
| HSP 17                               | 9,70                | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 0,36  | 108,00 | 0,48  | 162,00 | 0,72  | 171,00 | 0,76  | 189,00 | 0,84  | 195,00 | 0,87  |
| HSP 18                               | 63,85               | 255,00 | 31,78 | 56,70 | 1,67  | 80,10  | 2,35  | 135,00 | 3,97  | 155,00 | 4,56  | 183,00 | 5,38  | 195,00 | 5,73  |
| HSP 19                               | 139,67              | 75,00  | 35,13 | 40,40 | 2,60  | 60,10  | 3,86  | 110,00 | 7,07  | 137,00 | 8,81  | 169,00 | 10,87 | 184,00 | 11,83 |
| HSP 20                               | 84,67               | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,90  | 30,20  | 1,18  | 72,90  | 2,84  | 109,00 | 4,25  | 152,00 | 5,93  | 174,00 | 6,78  |
| HSP 21                               | 84,67               | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 3,15  | 108,00 | 4,21  | 162,00 | 6,32  | 171,00 | 6,67  | 189,00 | 7,37  | 195,00 | 7,60  |
| HSP 22                               | 63,85               | 255,00 | 31,78 | 56,70 | 1,67  | 80,10  | 2,35  | 135,00 | 3,97  | 155,00 | 4,56  | 183,00 | 5,38  | 195,00 | 5,73  |
| HSP 23                               | 9,39                | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,10  | 30,20  | 0,13  | 72,90  | 0,32  | 109,00 | 0,47  | 152,00 | 0,66  | 174,00 | 0,75  |
| HSP 24                               | 85,82               | 345,00 | 31,78 | 23,20 | 0,92  | 30,20  | 1,19  | 72,90  | 2,88  | 109,00 | 4,31  | 152,00 | 6,01  | 174,00 | 6,88  |
| HSP 25                               | 109,11              | 165,00 | 31,78 | 80,90 | 4,06  | 108,00 | 5,43  | 162,00 | 8,14  | 171,00 | 8,59  | 189,00 | 9,49  | 195,00 | 9,80  |
| HSP 26                               | 9,56                | 165,00 | 31,40 | 80,60 | 0,35  | 108,00 | 0,48  | 162,00 | 0,71  | 171,00 | 0,75  | 189,00 | 0,83  | 196,00 | 0,86  |
| HSP 27                               | 40,03               | 345,00 | 32,14 | 23,10 | 0,43  | 30,00  | 0,55  | 72,10  | 1,33  | 108,00 | 1,99  | 152,00 | 2,80  | 173,00 | 3,19  |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual HSP Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| HSP 28                               | 35,06               | 75,00  | 31,76 | 41,30 | 0,67  | 61,40  | 0,99  | 112,00 | 1,81   | 140,00 | 2,26   | 172,00 | 2,78   | 187,00 | 3,02   |
| HSP 29                               | 35,06               | 255,00 | 31,76 | 56,70 | 0,92  | 80,10  | 1,29  | 135,00 | 2,18   | 155,00 | 2,50   | 183,00 | 2,95   | 195,00 | 3,15   |
| HSP 30                               | 35,28               | 165,00 | 31,39 | 80,60 | 1,31  | 108,00 | 1,75  | 162,00 | 2,63   | 171,00 | 2,78   | 189,00 | 3,07   | 196,00 | 3,18   |
| HSP 31                               | 16,45               | 75,00  | 31,99 | 41,20 | 0,31  | 61,30  | 0,46  | 112,00 | 0,85   | 139,00 | 1,05   | 172,00 | 1,30   | 187,00 | 1,42   |
| HSP 32                               | 16,45               | 255,00 | 31,99 | 56,70 | 0,43  | 80,10  | 0,61  | 135,00 | 1,02   | 155,00 | 1,17   | 182,00 | 1,38   | 195,00 | 1,48   |
| HSP 33                               | 13,22               | 165,00 | 25,34 | 76,10 | 0,46  | 103,00 | 0,63  | 158,00 | 0,96   | 171,00 | 1,04   | 192,00 | 1,17   | 201,00 | 1,22   |
| HSP 34                               | 13,22               | 345,00 | 25,34 | 23,70 | 0,14  | 37,50  | 0,23  | 85,10  | 0,52   | 120,00 | 0,73   | 163,00 | 0,99   | 184,00 | 1,12   |
| HSP 35                               | 16,37               | 75,00  | 31,99 | 41,20 | 0,31  | 61,30  | 0,46  | 112,00 | 0,84   | 139,00 | 1,05   | 172,00 | 1,30   | 187,00 | 1,41   |
| HSP 36                               | 16,37               | 255,00 | 31,99 | 56,70 | 0,43  | 80,10  | 0,60  | 135,00 | 1,02   | 155,00 | 1,17   | 182,00 | 1,37   | 195,00 | 1,47   |
| HSP 37                               | 34,92               | 345,00 | 31,79 | 23,20 | 0,37  | 30,20  | 0,49  | 72,80  | 1,17   | 108,00 | 1,74   | 152,00 | 2,44   | 174,00 | 2,80   |
| HSP 38                               | 31,01               | 75,00  | 31,77 | 41,30 | 0,59  | 61,30  | 0,88  | 112,00 | 1,60   | 140,00 | 2,00   | 172,00 | 2,46   | 187,00 | 2,67   |
| HSP 39                               | 40,48               | 165,00 | 31,74 | 80,90 | 1,51  | 108,00 | 2,01  | 162,00 | 3,02   | 171,00 | 3,19   | 189,00 | 3,52   | 196,00 | 3,65   |
| HSP 40                               | 31,01               | 255,00 | 31,77 | 56,70 | 0,81  | 80,10  | 1,14  | 135,00 | 1,93   | 155,00 | 2,21   | 183,00 | 2,61   | 195,00 | 2,78   |
| HSP 41                               | 63,25               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 1,48  | 74,20  | 2,16  | 130,00 | 3,79   | 156,00 | 4,54   | 190,00 | 5,53   | 206,00 | 6,00   |
| Total                                | 2171,89             |        |       |       | 50,89 |        | 69,74 |        | 119,73 |        | 142,79 |        | 173,21 |        | 187,15 |

| Irradiación mensual HSP Parte 2 de 2 |       |        |       |        |       |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul | Hago   | H'ago | Hsep   | H'sep | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 181,00                               | 0,88  | 148,00 | 0,72  | 90,70  | 0,44  | 50,00  | 0,24  | 24,60 | 0,12  | 20,70 | 0,10  | 92,10  | 1110,00 |
| 174,00                               | 8,77  | 139,00 | 7,01  | 81,80  | 4,12  | 44,30  | 2,23  | 24,30 | 1,23  | 20,20 | 1,02  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 8,22  | 207,00 | 8,18  | 182,00 | 7,19  | 136,00 | 5,37  | 90,30 | 3,57  | 77,90 | 3,08  | 151,00 | 1810,00 |
| 208,00                               | 0,93  | 207,00 | 0,93  | 182,00 | 0,82  | 136,00 | 0,61  | 90,30 | 0,41  | 77,90 | 0,35  | 151,00 | 1810,00 |
| 201,00                               | 12,93 | 189,00 | 12,15 | 151,00 | 9,71  | 105,00 | 6,75  | 64,80 | 4,17  | 53,30 | 3,43  | 130,00 | 1560,00 |
| 192,00                               | 5,64  | 173,00 | 5,09  | 127,00 | 3,73  | 82,20  | 2,42  | 46,50 | 1,37  | 36,30 | 1,07  | 114,00 | 1370,00 |
| 174,00                               | 6,88  | 139,00 | 5,49  | 81,80  | 3,23  | 44,30  | 1,75  | 24,30 | 0,96  | 20,20 | 0,80  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 8,22  | 207,00 | 8,18  | 182,00 | 7,19  | 136,00 | 5,37  | 90,30 | 3,57  | 77,90 | 3,08  | 151,00 | 1810,00 |
| 192,00                               | 5,64  | 173,00 | 5,09  | 127,00 | 3,73  | 82,20  | 2,42  | 46,50 | 1,37  | 36,30 | 1,07  | 114,00 | 1370,00 |
| 174,00                               | 6,88  | 139,00 | 5,49  | 81,80  | 3,23  | 44,30  | 1,75  | 24,30 | 0,96  | 20,20 | 0,80  | 87,00  | 1040,00 |
| 174,00                               | 0,75  | 139,00 | 0,60  | 81,80  | 0,35  | 44,30  | 0,19  | 24,30 | 0,11  | 20,20 | 0,09  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 10,45 | 207,00 | 10,40 | 182,00 | 9,14  | 136,00 | 6,83  | 90,30 | 4,54  | 77,90 | 3,91  | 151,00 | 1810,00 |
| 208,00                               | 0,92  | 207,00 | 0,91  | 182,00 | 0,80  | 136,00 | 0,60  | 90,00 | 0,40  | 77,60 | 0,34  | 151,00 | 1810,00 |
| 175,00                               | 0,77  | 140,00 | 0,62  | 82,70  | 0,36  | 44,90  | 0,20  | 23,90 | 0,11  | 20,30 | 0,09  | 87,50  | 1050,00 |
| 174,00                               | 8,77  | 139,00 | 7,01  | 81,80  | 4,12  | 44,30  | 2,23  | 24,30 | 1,22  | 20,20 | 1,02  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 8,22  | 207,00 | 8,18  | 182,00 | 7,19  | 136,00 | 5,38  | 90,30 | 3,57  | 77,90 | 3,08  | 151,00 | 1810,00 |
| 208,00                               | 0,93  | 207,00 | 0,92  | 182,00 | 0,81  | 136,00 | 0,61  | 90,30 | 0,40  | 77,90 | 0,35  | 151,00 | 1810,00 |
| 203,00                               | 5,97  | 191,00 | 5,62  | 152,00 | 4,47  | 105,00 | 3,09  | 64,60 | 1,90  | 53,10 | 1,56  | 131,00 | 1570,00 |
| 189,00                               | 12,15 | 170,00 | 10,93 | 125,00 | 8,04  | 80,50  | 5,18  | 45,50 | 2,93  | 35,50 | 2,28  | 112,00 | 1350,00 |
| 174,00                               | 6,78  | 139,00 | 5,42  | 81,80  | 3,19  | 44,30  | 1,73  | 24,30 | 0,95  | 20,20 | 0,79  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 8,11  | 207,00 | 8,07  | 182,00 | 7,10  | 136,00 | 5,30  | 90,30 | 3,52  | 77,90 | 3,04  | 151,00 | 1810,00 |
| 203,00                               | 5,97  | 191,00 | 5,62  | 152,00 | 4,47  | 105,00 | 3,09  | 64,60 | 1,90  | 53,10 | 1,56  | 131,00 | 1570,00 |
| 174,00                               | 0,75  | 139,00 | 0,60  | 81,80  | 0,35  | 44,30  | 0,19  | 24,30 | 0,11  | 20,20 | 0,09  | 87,00  | 1040,00 |
| 174,00                               | 6,88  | 139,00 | 5,49  | 81,80  | 3,23  | 44,30  | 1,75  | 24,30 | 0,96  | 20,20 | 0,80  | 87,00  | 1040,00 |
| 208,00                               | 10,45 | 207,00 | 10,40 | 182,00 | 9,14  | 136,00 | 6,83  | 90,30 | 4,54  | 77,90 | 3,91  | 151,00 | 1810,00 |
| 208,00                               | 0,92  | 207,00 | 0,91  | 182,00 | 0,80  | 136,00 | 0,60  | 90,00 | 0,40  | 77,60 | 0,34  | 151,00 | 1810,00 |
| 173,00                               | 3,19  | 138,00 | 2,54  | 81,00  | 1,49  | 43,70  | 0,81  | 24,50 | 0,45  | 20,10 | 0,37  | 86,50  | 1040,00 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual HSP Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 193,00                               | 3,12   | 173,00 | 2,79   | 127,00 | 2,05   | 82,20  | 1,33  | 46,50 | 0,75  | 36,30 | 0,59  | 114,00 | 1370,00 |
| 203,00                               | 3,28   | 191,00 | 3,08   | 152,00 | 2,45   | 105,00 | 1,69  | 64,60 | 1,04  | 53,10 | 0,86  | 131,00 | 1570,00 |
| 208,00                               | 3,38   | 207,00 | 3,36   | 182,00 | 2,96   | 136,00 | 2,21  | 90,00 | 1,46  | 77,60 | 1,26  | 151,00 | 1810,00 |
| 192,00                               | 1,45   | 173,00 | 1,31   | 127,00 | 0,96   | 82,10  | 0,62  | 46,50 | 0,35  | 36,30 | 0,27  | 114,00 | 1370,00 |
| 203,00                               | 1,54   | 191,00 | 1,45   | 152,00 | 1,15   | 105,00 | 0,80  | 64,60 | 0,49  | 53,10 | 0,40  | 131,00 | 1570,00 |
| 213,00                               | 1,30   | 209,00 | 1,27   | 178,00 | 1,08   | 131,00 | 0,80  | 85,20 | 0,52  | 72,70 | 0,44  | 149,00 | 1790,00 |
| 186,00                               | 1,13   | 153,00 | 0,93   | 97,00  | 0,59   | 54,50  | 0,33  | 26,60 | 0,16  | 20,10 | 0,12  | 95,90  | 1150,00 |
| 192,00                               | 1,45   | 173,00 | 1,30   | 127,00 | 0,96   | 82,10  | 0,62  | 46,50 | 0,35  | 36,30 | 0,27  | 114,00 | 1370,00 |
| 203,00                               | 1,53   | 191,00 | 1,44   | 152,00 | 1,15   | 105,00 | 0,79  | 64,60 | 0,49  | 53,10 | 0,40  | 131,00 | 1570,00 |
| 174,00                               | 2,80   | 139,00 | 2,23   | 81,80  | 1,32   | 44,30  | 0,71  | 24,30 | 0,39  | 20,20 | 0,32  | 87,00  | 1040,00 |
| 193,00                               | 2,76   | 173,00 | 2,47   | 127,00 | 1,81   | 82,20  | 1,17  | 46,50 | 0,66  | 36,30 | 0,52  | 114,00 | 1370,00 |
| 208,00                               | 3,88   | 207,00 | 3,86   | 182,00 | 3,39   | 136,00 | 2,53  | 90,30 | 1,68  | 77,80 | 1,45  | 151,00 | 1810,00 |
| 203,00                               | 2,90   | 191,00 | 2,73   | 152,00 | 2,17   | 105,00 | 1,50  | 64,60 | 0,92  | 53,10 | 0,76  | 131,00 | 1570,00 |
| 214,00                               | 6,23   | 195,00 | 5,68   | 148,00 | 4,31   | 98,50  | 2,87  | 57,90 | 1,69  | 45,90 | 1,34  | 131,00 | 1570,00 |
|                                      | 193,69 |        | 176,48 |        | 134,83 |        | 91,49 |       | 56,65 |       | 47,41 |        |         |

| Irradiación mensual CMR Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |       |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar | Habr   | H'abr | Hmay   | H'may | Hjun   | H'jun |
| CMR 01                               | 33,38               | 160,70 | 35,54 | 82,40 | 1,25  | 110,00 | 1,67  | 162,00 | 2,45  | 170,00 | 2,58  | 186,00 | 2,82  | 192,00 | 2,91  |
| CMR 02                               | 33,38               | 340,70 | 35,54 | 22,50 | 0,34  | 29,10  | 0,44  | 68,70  | 1,04  | 102,00 | 1,55  | 146,00 | 2,21  | 167,00 | 2,53  |
| CMR 03                               | 8,53                | 70,70  | 41,01 | 36,60 | 0,14  | 54,80  | 0,21  | 103,00 | 0,40  | 130,00 | 0,50  | 161,00 | 0,62  | 175,00 | 0,68  |
| CMR 04                               | 8,53                | 250,70 | 41,01 | 59,40 | 0,23  | 82,80  | 0,32  | 136,00 | 0,53  | 154,00 | 0,60  | 177,00 | 0,69  | 188,00 | 0,73  |
| CMR 05                               | 36,02               | 160,70 | 29,98 | 78,90 | 1,29  | 106,00 | 1,73  | 160,00 | 2,62  | 171,00 | 2,80  | 190,00 | 3,11  | 197,00 | 3,22  |
| CMR 06                               | 108,34              | 70,70  | 26,57 | 40,80 | 2,01  | 60,80  | 2,99  | 112,00 | 5,51  | 141,00 | 6,93  | 175,00 | 8,61  | 191,00 | 9,39  |
| CMR 07                               | 108,34              | 250,70 | 26,57 | 58,20 | 2,86  | 82,20  | 4,04  | 138,00 | 6,79  | 158,00 | 7,77  | 186,00 | 9,15  | 199,00 | 9,79  |
| CMR 08                               | 36,02               | 340,70 | 29,98 | 22,80 | 0,37  | 33,70  | 0,55  | 77,90  | 1,27  | 113,00 | 1,85  | 156,00 | 2,55  | 177,00 | 2,89  |
| CMR 09                               | 10,51               | 160,70 | 34,14 | 81,60 | 0,39  | 109,00 | 0,52  | 162,00 | 0,77  | 170,00 | 0,81  | 187,00 | 0,89  | 193,00 | 0,92  |
| CMR 10                               | 10,51               | 70,70  | 34,14 | 38,50 | 0,18  | 57,70  | 0,28  | 108,00 | 0,52  | 135,00 | 0,64  | 168,00 | 0,80  | 183,00 | 0,87  |
| CMR 11                               | 10,51               | 250,70 | 34,14 | 59,10 | 0,28  | 82,90  | 0,40  | 138,00 | 0,66  | 157,00 | 0,75  | 182,00 | 0,87  | 194,00 | 0,93  |
| CMR 12                               | 10,51               | 340,70 | 34,14 | 22,80 | 0,11  | 30,00  | 0,14  | 70,90  | 0,34  | 105,00 | 0,50  | 148,00 | 0,71  | 170,00 | 0,81  |
| CMR 13                               | 167,60              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 3,87  | 74,20  | 5,65  | 130,00 | 9,89  | 156,00 | 11,87 | 190,00 | 14,46 | 206,00 | 15,67 |
| CMR 14                               | 10,51               | 160,70 | 34,14 | 81,60 | 0,39  | 109,00 | 0,52  | 162,00 | 0,77  | 170,00 | 0,81  | 187,00 | 0,89  | 193,00 | 0,92  |
| CMR 15                               | 10,51               | 70,70  | 34,14 | 38,50 | 0,18  | 57,70  | 0,28  | 108,00 | 0,52  | 135,00 | 0,64  | 168,00 | 0,80  | 183,00 | 0,87  |
| CMR 16                               | 10,51               | 250,70 | 34,14 | 59,10 | 0,28  | 82,90  | 0,40  | 138,00 | 0,66  | 157,00 | 0,75  | 182,00 | 0,87  | 194,00 | 0,93  |
| CMR 17                               | 10,51               | 340,70 | 34,14 | 22,80 | 0,11  | 30,00  | 0,14  | 70,90  | 0,34  | 105,00 | 0,50  | 148,00 | 0,71  | 170,00 | 0,81  |
| CMR 18                               | 39,78               | 70,70  | 25,82 | 41,00 | 0,74  | 61,20  | 1,11  | 113,00 | 2,04  | 141,00 | 2,55  | 175,00 | 3,16  | 191,00 | 3,45  |
| CMR 19                               | 178,64              | 340,70 | 27,45 | 23,40 | 1,90  | 36,40  | 2,95  | 82,50  | 6,69  | 117,00 | 9,49  | 160,00 | 12,98 | 181,00 | 14,68 |
| CMR 20                               | 39,70               | 160,70 | 27,45 | 77,10 | 1,39  | 104,00 | 1,87  | 159,00 | 2,87  | 171,00 | 3,08  | 191,00 | 3,44  | 200,00 | 3,60  |
| CMR 21                               | 101,20              | 160,70 | 27,45 | 77,10 | 3,54  | 104,00 | 4,78  | 159,00 | 7,30  | 171,00 | 7,86  | 191,00 | 8,77  | 200,00 | 9,19  |
| CMR 22                               | 39,78               | 250,70 | 25,82 | 58,10 | 1,05  | 82,10  | 1,48  | 138,00 | 2,49  | 159,00 | 2,87  | 187,00 | 3,38  | 200,00 | 3,61  |
| CMR 23                               | 201,04              | 70,70  | 27,35 | 40,50 | 3,70  | 60,60  | 5,53  | 112,00 | 10,22 | 140,00 | 12,78 | 174,00 | 15,88 | 190,00 | 17,34 |
| CMR 24                               | 201,04              | 250,70 | 27,35 | 58,30 | 5,32  | 82,30  | 7,51  | 138,00 | 12,59 | 158,00 | 14,42 | 186,00 | 16,98 | 199,00 | 18,16 |
| CMR 25                               | 39,95               | 160,70 | 25,82 | 75,80 | 1,37  | 103,00 | 1,87  | 158,00 | 2,87  | 171,00 | 3,10  | 192,00 | 3,48  | 201,00 | 3,65  |
| CMR 26                               | 8,77                | 340,70 | 42,27 | 21,30 | 0,08  | 26,20  | 0,10  | 59,10  | 0,24  | 89,30  | 0,36  | 133,00 | 0,53  | 154,00 | 0,61  |
| CMR 27                               | 36,00               | 70,70  | 34,14 | 38,50 | 0,63  | 57,70  | 0,94  | 108,00 | 1,76  | 135,00 | 2,21  | 168,00 | 2,75  | 183,00 | 2,99  |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual CMR Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| CMR 28                               | 36,00               | 250,70 | 34,14 | 59,10 | 0,97  | 82,90  | 1,35  | 138,00 | 2,26   | 157,00 | 2,57   | 182,00 | 2,97   | 194,00 | 3,17   |
| CMR 29                               | 8,77                | 160,70 | 42,27 | 85,90 | 0,34  | 113,00 | 0,45  | 163,00 | 0,65   | 167,00 | 0,66   | 179,00 | 0,71   | 183,00 | 0,73   |
| CMR 30                               | 112,58              | 340,70 | 27,45 | 23,40 | 1,20  | 36,40  | 1,86  | 82,50  | 4,22   | 117,00 | 5,98   | 160,00 | 8,18   | 181,00 | 9,25   |
| CMR 31                               | 112,58              | 60,70  | 27,45 | 77,10 | 3,94  | 104,00 | 5,32  | 159,00 | 8,13   | 171,00 | 8,74   | 191,00 | 9,76   | 200,00 | 10,22  |
| CMR 32                               | 193,33              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 4,46  | 74,20  | 6,51  | 130,00 | 11,41  | 156,00 | 13,69  | 190,00 | 16,68  | 206,00 | 18,08  |
| CMR 33                               | 229,46              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 5,29  | 74,20  | 7,73  | 130,00 | 13,54  | 156,00 | 16,25  | 190,00 | 19,79  | 206,00 | 21,46  |
| Stotal                               | 2202,84             |        |       |       | 50,20 |        | 71,64 |        | 124,34 |        | 148,44 |        | 180,18 |        | 195,07 |

| Irradiación mensual CMR Parte 2 de 2 |       |        |       |        |       |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul | Hago   | H'ago | Hsep   | H'sep | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 204,00                               | 3,09  | 205,00 | 3,11  | 182,00 | 2,76  | 137,00 | 2,08  | 91,80 | 1,39  | 79,60 | 1,21  | 150,00 | 1800,00 |
| 167,00                               | 2,53  | 131,00 | 1,99  | 75,30  | 1,14  | 41,80  | 0,63  | 23,90 | 0,36  | 19,60 | 0,30  | 82,80  | 994,00  |
| 180,00                               | 0,70  | 160,00 | 0,62  | 116,00 | 0,45  | 73,90  | 0,29  | 41,20 | 0,16  | 31,80 | 0,12  | 105,00 | 1260,00 |
| 197,00                               | 0,76  | 188,00 | 0,73  | 152,00 | 0,59  | 108,00 | 0,42  | 67,60 | 0,26  | 56,40 | 0,22  | 131,00 | 1570,00 |
| 210,00                               | 3,43  | 208,00 | 3,40  | 180,00 | 2,94  | 134,00 | 2,19  | 88,10 | 1,44  | 75,60 | 1,24  | 150,00 | 1800,00 |
| 196,00                               | 9,64  | 175,00 | 8,61  | 128,00 | 6,30  | 81,90  | 4,03  | 46,10 | 2,27  | 35,70 | 1,76  | 115,00 | 1380,00 |
| 208,00                               | 10,23 | 195,00 | 9,59  | 155,00 | 7,62  | 108,00 | 5,31  | 66,30 | 3,26  | 54,40 | 2,68  | 134,00 | 1610,00 |
| 178,00                               | 2,91  | 144,00 | 2,35  | 87,60  | 1,43  | 48,80  | 0,80  | 24,50 | 0,40  | 20,40 | 0,33  | 90,20  | 1080,00 |
| 206,00                               | 0,98  | 206,00 | 0,98  | 181,00 | 0,86  | 136,00 | 0,65  | 90,90 | 0,43  | 78,60 | 0,38  | 150,00 | 1800,00 |
| 188,00                               | 0,90  | 167,00 | 0,80  | 122,00 | 0,58  | 77,70  | 0,37  | 43,50 | 0,21  | 33,60 | 0,16  | 110,00 | 1320,00 |
| 203,00                               | 0,97  | 192,00 | 0,92  | 154,00 | 0,73  | 109,00 | 0,52  | 67,30 | 0,32  | 55,80 | 0,27  | 133,00 | 1590,00 |
| 169,00                               | 0,81  | 134,00 | 0,64  | 78,30  | 0,37  | 43,50  | 0,21  | 24,10 | 0,11  | 19,90 | 0,09  | 84,70  | 1020,00 |
| 214,00                               | 16,28 | 195,00 | 14,84 | 148,00 | 11,26 | 98,50  | 7,49  | 57,90 | 4,41  | 45,90 | 3,49  | 131,00 | 1570,00 |
| 206,00                               | 0,98  | 206,00 | 0,98  | 181,00 | 0,86  | 136,00 | 0,65  | 90,90 | 0,43  | 78,60 | 0,38  | 150,00 | 1800,00 |
| 188,00                               | 0,90  | 167,00 | 0,80  | 122,00 | 0,58  | 77,70  | 0,37  | 43,50 | 0,21  | 33,60 | 0,16  | 110,00 | 1320,00 |
| 203,00                               | 0,97  | 192,00 | 0,92  | 154,00 | 0,73  | 109,00 | 0,52  | 67,30 | 0,32  | 55,80 | 0,27  | 133,00 | 1590,00 |
| 169,00                               | 0,81  | 134,00 | 0,64  | 78,30  | 0,37  | 43,50  | 0,21  | 24,10 | 0,11  | 19,90 | 0,09  | 84,70  | 1020,00 |
| 197,00                               | 3,56  | 176,00 | 3,18  | 128,00 | 2,31  | 82,40  | 1,49  | 46,40 | 0,84  | 35,80 | 0,65  | 116,00 | 1390,00 |
| 182,00                               | 14,76 | 150,00 | 12,16 | 93,30  | 7,57  | 52,70  | 4,27  | 26,10 | 2,12  | 20,30 | 1,65  | 93,70  | 1120,00 |
| 212,00                               | 3,82  | 208,00 | 3,75  | 179,00 | 3,23  | 132,00 | 2,38  | 86,20 | 1,55  | 73,70 | 1,33  | 149,00 | 1790,00 |
| 212,00                               | 9,74  | 208,00 | 9,56  | 179,00 | 8,22  | 132,00 | 6,06  | 86,20 | 3,96  | 73,70 | 3,39  | 149,00 | 1790,00 |
| 208,00                               | 3,76  | 195,00 | 3,52  | 155,00 | 2,80  | 108,00 | 1,95  | 66,20 | 1,20  | 54,30 | 0,98  | 134,00 | 1610,00 |
| 195,00                               | 17,80 | 174,00 | 15,88 | 127,00 | 11,59 | 81,60  | 7,45  | 45,80 | 4,18  | 35,50 | 3,24  | 115,00 | 1380,00 |
| 208,00                               | 18,98 | 195,00 | 17,80 | 155,00 | 14,15 | 108,00 | 9,86  | 66,50 | 6,07  | 54,70 | 4,99  | 134,00 | 1610,00 |
| 213,00                               | 3,86  | 208,00 | 3,77  | 178,00 | 3,23  | 130,00 | 2,36  | 84,90 | 1,54  | 72,30 | 1,31  | 149,00 | 1790,00 |
| 152,00                               | 0,61  | 114,00 | 0,45  | 61,90  | 0,25  | 36,00  | 0,14  | 22,50 | 0,09  | 18,60 | 0,07  | 73,90  | 887,00  |
| 188,00                               | 3,07  | 167,00 | 2,73  | 122,00 | 1,99  | 77,70  | 1,27  | 43,50 | 0,71  | 33,60 | 0,55  | 110,00 | 1320,00 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual CMR Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 203,00                               | 3,32   | 192,00 | 3,14   | 154,00 | 2,52   | 109,00 | 1,78  | 67,30 | 1,10  | 55,80 | 0,91  | 133,00 | 1590,00 |
| 196,00                               | 0,78   | 200,00 | 0,80   | 182,00 | 0,72   | 140,00 | 0,56  | 95,30 | 0,38  | 83,50 | 0,33  | 149,00 | 1790,00 |
| 182,00                               | 9,30   | 150,00 | 7,67   | 93,30  | 4,77   | 52,70  | 2,69  | 26,10 | 1,33  | 20,30 | 1,04  | 93,70  | 1120,00 |
| 212,00                               | 10,83  | 208,00 | 10,63  | 179,00 | 9,15   | 132,00 | 6,75  | 86,20 | 4,41  | 73,70 | 3,77  | 149,00 | 1790,00 |
| 214,00                               | 18,78  | 195,00 | 17,11  | 148,00 | 12,99  | 98,50  | 8,64  | 57,90 | 5,08  | 45,90 | 4,03  | 131,00 | 1570,00 |
| 214,00                               | 22,29  | 195,00 | 20,31  | 148,00 | 15,42  | 98,50  | 10,26 | 57,90 | 6,03  | 45,90 | 4,78  | 131,00 | 1570,00 |
|                                      | 202,15 |        | 184,35 |        | 140,49 |        | 94,64 |       | 56,69 |       | 46,14 |        |         |

| Irradiación mensual MDV Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |       |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar | Habr   | H'abr | Hmay   | H'may | Hjun   | H'jun |
| MDV 01                               | 34,79               | 84,40  | 34,46 | 45,50 | 0,59  | 66,40  | 0,86  | 118,00 | 1,52  | 144,00 | 1,86  | 174,00 | 2,24  | 188,00 | 2,43  |
| MDV 02                               | 513,11              | 174,40 | 31,89 | 82,00 | 15,60 | 110,00 | 20,93 | 164,00 | 31,21 | 172,00 | 32,73 | 188,00 | 35,77 | 195,00 | 37,10 |
| MDV 03                               | 69,31               | 354,40 | 31,89 | 23,20 | 0,60  | 27,70  | 0,71  | 69,80  | 1,79  | 107,00 | 2,75  | 151,00 | 3,88  | 173,00 | 4,45  |
| MDV 04                               | 131,84              | 354,40 | 31,89 | 23,20 | 1,13  | 27,70  | 1,35  | 69,80  | 3,41  | 107,00 | 5,23  | 151,00 | 7,38  | 173,00 | 8,46  |
| MDV 05                               | 131,84              | 354,40 | 31,89 | 23,20 | 1,13  | 27,70  | 1,35  | 69,80  | 3,41  | 107,00 | 5,23  | 151,00 | 7,38  | 173,00 | 8,46  |
| MDV 06                               | 69,31               | 354,40 | 31,89 | 23,20 | 0,60  | 27,70  | 0,71  | 69,80  | 1,79  | 107,00 | 2,75  | 151,00 | 3,88  | 173,00 | 4,45  |
| MDV 07                               | 34,79               | 264,40 | 34,46 | 51,50 | 0,66  | 73,90  | 0,95  | 128,00 | 1,65  | 150,00 | 1,94  | 178,00 | 2,30  | 191,00 | 2,46  |
| MDV 08                               | 153,12              | 84,40  | 32,35 | 45,90 | 2,61  | 67,10  | 3,81  | 119,00 | 6,76  | 145,00 | 8,23  | 175,00 | 9,94  | 189,00 | 10,73 |
| MDV 09                               | 153,12              | 264,40 | 32,35 | 51,70 | 2,94  | 74,30  | 4,22  | 128,00 | 7,27  | 151,00 | 8,57  | 179,00 | 10,16 | 193,00 | 10,96 |
| MDV 10                               | 127,10              | 84,40  | 31,66 | 46,00 | 2,17  | 67,30  | 3,17  | 119,00 | 5,61  | 145,00 | 6,83  | 176,00 | 8,30  | 190,00 | 8,96  |
| MDV 11                               | 127,10              | 264,40 | 31,66 | 51,70 | 2,44  | 74,20  | 3,50  | 128,00 | 6,03  | 151,00 | 7,12  | 180,00 | 8,48  | 194,00 | 9,14  |
| MDV 12                               | 153,12              | 84,40  | 32,35 | 45,90 | 2,61  | 67,10  | 3,81  | 119,00 | 6,76  | 145,00 | 8,23  | 175,00 | 9,94  | 189,00 | 10,73 |
| MDV 13                               | 153,12              | 264,40 | 32,35 | 51,70 | 2,94  | 74,30  | 4,22  | 128,00 | 7,27  | 151,00 | 8,57  | 179,00 | 10,16 | 193,00 | 10,96 |
| MDV 14                               | 39,79               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 0,75  | 74,20  | 1,09  | 130,00 | 1,92  | 156,00 | 2,30  | 190,00 | 2,80  | 206,00 | 3,04  |
| MDV 15                               | 112,04              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 2,11  | 74,20  | 3,08  | 130,00 | 5,40  | 156,00 | 6,48  | 190,00 | 7,89  | 206,00 | 8,56  |
| MDV 16                               | 39,79               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 0,75  | 74,20  | 1,09  | 130,00 | 1,92  | 156,00 | 2,30  | 190,00 | 2,80  | 206,00 | 3,04  |
| MDV 17                               | 102,37              | 174,40 | 36,38 | 85,00 | 3,23  | 113,00 | 4,29  | 165,00 | 6,26  | 171,00 | 6,49  | 185,00 | 7,02  | 190,00 | 7,21  |
| MDV 18                               | 102,37              | 354,40 | 36,38 | 22,40 | 0,85  | 27,50  | 1,04  | 60,40  | 2,29  | 98,50  | 3,74  | 143,00 | 5,43  | 165,00 | 6,26  |
| MDV 19                               | 29,38               | 84,40  | 34,46 | 45,50 | 0,50  | 66,40  | 0,72  | 118,00 | 1,29  | 144,00 | 1,57  | 174,00 | 1,90  | 188,00 | 2,05  |
| MDV 20                               | 29,38               | 264,40 | 34,46 | 51,50 | 0,56  | 73,90  | 0,81  | 128,00 | 1,39  | 150,00 | 1,63  | 178,00 | 1,94  | 191,00 | 2,08  |
| MDV 21                               | 31,01               | 264,40 | 33,66 | 51,60 | 0,59  | 74,10  | 0,85  | 128,00 | 1,47  | 150,00 | 1,72  | 179,00 | 2,06  | 192,00 | 2,21  |
| MDV 22                               | 106,30              | 174,40 | 33,46 | 83,10 | 3,28  | 111,00 | 4,38  | 164,00 | 6,46  | 171,00 | 6,74  | 187,00 | 7,37  | 193,00 | 7,61  |
| MDV 23                               | 95,92               | 354,40 | 33,46 | 22,90 | 0,81  | 26,60  | 0,95  | 66,50  | 2,37  | 104,00 | 3,70  | 149,00 | 5,30  | 170,00 | 6,05  |
| MDV 24                               | 31,01               | 84,40  | 33,66 | 45,60 | 0,52  | 66,70  | 0,77  | 118,00 | 1,36  | 144,00 | 1,66  | 174,00 | 2,00  | 188,00 | 2,16  |
| MDV 25                               | 9,85                | 264,40 | 37,34 | 51,30 | 0,19  | 73,60  | 0,27  | 127,00 | 0,46  | 148,00 | 0,54  | 176,00 | 0,64  | 189,00 | 0,69  |
| MDV 26                               | 9,60                | 174,40 | 35,39 | 84,40 | 0,30  | 112,00 | 0,40  | 165,00 | 0,59  | 171,00 | 0,61  | 186,00 | 0,66  | 191,00 | 0,68  |
| MDV 27                               | 9,60                | 354,40 | 35,39 | 22,60 | 0,08  | 27,70  | 0,10  | 62,50  | 0,22  | 100,00 | 0,36  | 145,00 | 0,52  | 167,00 | 0,59  |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual MDV Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| MDV 28                               | 9,85                | 84,40  | 37,34 | 45,00 | 0,16  | 65,70  | 0,24  | 117,00 | 0,43   | 142,00 | 0,52   | 171,00 | 0,62   | 185,00 | 0,68   |
| MDV 29                               | 18,41               | 264,40 | 33,60 | 51,60 | 0,35  | 74,10  | 0,51  | 128,00 | 0,87   | 150,00 | 1,02   | 179,00 | 1,22   | 192,00 | 1,31   |
| MDV 30                               | 24,96               | 174,40 | 38,56 | 86,30 | 0,80  | 114,00 | 1,06  | 166,00 | 1,54   | 170,00 | 1,57   | 183,00 | 1,69   | 187,00 | 1,73   |
| MDV 31                               | 24,96               | 354,40 | 38,56 | 22,00 | 0,20  | 27,00  | 0,25  | 56,00  | 0,52   | 94,00  | 0,87   | 139,00 | 1,29   | 161,00 | 1,49   |
| MDV 32                               | 18,41               | 84,40  | 33,60 | 45,60 | 0,31  | 66,70  | 0,46  | 118,00 | 0,81   | 144,00 | 0,98   | 175,00 | 1,19   | 188,00 | 1,28   |
| Stotal                               | 2696,67             |        |       |       | 52,35 |        | 71,95 |        | 122,05 |        | 144,86 |        | 174,18 |        | 188,01 |

| Irradiación mensual MDV Parte 2 de 2 |       |        |       |        |       |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul | Hago   | H'ago | Hsep   | H'sep | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 194,00                               | 2,50  | 177,00 | 2,28  | 134,00 | 1,73  | 88,20  | 1,14  | 51,20 | 0,66  | 40,60 | 0,52  | 118,00 | 1420,00 |
| 208,00                               | 39,58 | 208,00 | 39,58 | 183,00 | 34,82 | 138,00 | 26,26 | 91,70 | 17,45 | 79,20 | 15,07 | 151,00 | 1820,00 |
| 173,00                               | 4,45  | 138,00 | 3,55  | 79,40  | 2,04  | 40,40  | 1,04  | 24,50 | 0,63  | 20,20 | 0,52  | 85,70  | 1030,00 |
| 173,00                               | 8,46  | 138,00 | 6,75  | 79,40  | 3,88  | 40,40  | 1,98  | 24,50 | 1,20  | 20,20 | 0,99  | 85,70  | 1030,00 |
| 173,00                               | 8,46  | 138,00 | 6,75  | 79,40  | 3,88  | 40,40  | 1,98  | 24,50 | 1,20  | 20,20 | 0,99  | 85,70  | 1030,00 |
| 173,00                               | 4,45  | 138,00 | 3,55  | 79,40  | 2,04  | 40,40  | 1,04  | 24,50 | 0,63  | 20,20 | 0,52  | 85,70  | 1030,00 |
| 199,00                               | 2,57  | 184,00 | 2,37  | 143,00 | 1,84  | 98,10  | 1,27  | 59,00 | 0,76  | 47,90 | 0,62  | 125,00 | 1500,00 |
| 196,00                               | 11,13 | 179,00 | 10,16 | 135,00 | 7,67  | 88,90  | 5,05  | 51,60 | 2,93  | 40,90 | 2,32  | 119,00 | 1430,00 |
| 201,00                               | 11,41 | 186,00 | 10,56 | 144,00 | 8,18  | 98,60  | 5,60  | 59,20 | 3,36  | 47,80 | 2,71  | 126,00 | 1510,00 |
| 196,00                               | 9,24  | 179,00 | 8,44  | 135,00 | 6,36  | 89,20  | 4,20  | 51,80 | 2,44  | 41,00 | 1,93  | 120,00 | 1440,00 |
| 201,00                               | 9,47  | 186,00 | 8,77  | 144,00 | 6,79  | 98,70  | 4,65  | 59,10 | 2,79  | 47,90 | 2,26  | 126,00 | 1520,00 |
| 196,00                               | 11,13 | 179,00 | 10,16 | 135,00 | 7,67  | 88,90  | 5,05  | 51,60 | 2,93  | 40,90 | 2,32  | 119,00 | 1430,00 |
| 201,00                               | 11,41 | 186,00 | 10,56 | 144,00 | 8,18  | 98,60  | 5,60  | 59,20 | 3,36  | 47,80 | 2,71  | 126,00 | 1510,00 |
| 214,00                               | 3,16  | 195,00 | 2,88  | 148,00 | 2,18  | 98,50  | 1,45  | 57,90 | 0,85  | 45,90 | 0,68  | 131,00 | 1570,00 |
| 214,00                               | 8,89  | 195,00 | 8,10  | 148,00 | 6,15  | 98,50  | 4,09  | 57,90 | 2,41  | 45,90 | 1,91  | 131,00 | 1570,00 |
| 214,00                               | 3,16  | 195,00 | 2,88  | 148,00 | 2,18  | 98,50  | 1,45  | 57,90 | 0,85  | 45,90 | 0,68  | 131,00 | 1570,00 |
| 203,00                               | 7,71  | 205,00 | 7,78  | 185,00 | 7,02  | 141,00 | 5,35  | 94,80 | 3,60  | 82,50 | 3,13  | 152,00 | 1820,00 |
| 164,00                               | 6,23  | 127,00 | 4,82  | 68,00  | 2,58  | 34,10  | 1,29  | 23,70 | 0,90  | 19,50 | 0,74  | 79,40  | 953,00  |
| 194,00                               | 2,11  | 177,00 | 1,93  | 134,00 | 1,46  | 88,20  | 0,96  | 51,20 | 0,56  | 40,60 | 0,44  | 118,00 | 1420,00 |
| 199,00                               | 2,17  | 184,00 | 2,00  | 143,00 | 1,56  | 98,10  | 1,07  | 59,00 | 0,64  | 47,90 | 0,52  | 125,00 | 1500,00 |
| 199,00                               | 2,29  | 185,00 | 2,13  | 144,00 | 1,66  | 98,30  | 1,13  | 59,10 | 0,68  | 47,90 | 0,55  | 126,00 | 1510,00 |
| 206,00                               | 8,12  | 207,00 | 8,16  | 184,00 | 7,25  | 139,00 | 5,48  | 92,80 | 3,66  | 80,40 | 3,17  | 152,00 | 1820,00 |
| 170,00                               | 6,05  | 134,00 | 4,77  | 75,50  | 2,69  | 38,00  | 1,35  | 24,20 | 0,86  | 20,00 | 0,71  | 83,40  | 1000,00 |
| 195,00                               | 2,24  | 178,00 | 2,05  | 134,00 | 1,54  | 88,40  | 1,02  | 51,30 | 0,59  | 40,80 | 0,47  | 119,00 | 1420,00 |
| 196,00                               | 0,72  | 182,00 | 0,66  | 142,00 | 0,52  | 97,60  | 0,36  | 58,70 | 0,21  | 47,70 | 0,17  | 124,00 | 1490,00 |
| 204,00                               | 0,73  | 206,00 | 0,73  | 184,00 | 0,66  | 140,00 | 0,50  | 94,10 | 0,33  | 81,80 | 0,29  | 152,00 | 1820,00 |
| 166,00                               | 0,59  | 129,00 | 0,46  | 70,60  | 0,25  | 35,10  | 0,12  | 23,90 | 0,09  | 19,70 | 0,07  | 80,80  | 970,00  |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual MDV Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                 | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 191,00                               | 0,70   | 175,00 | 0,64   | 132,00 | 0,48   | 87,00  | 0,32  | 50,50 | 0,18  | 40,10 | 0,15  | 117,00 | 1400,00 |
| 199,00                               | 1,36   | 185,00 | 1,26   | 144,00 | 0,98   | 98,30  | 0,67  | 59,10 | 0,40  | 47,90 | 0,33  | 126,00 | 1510,00 |
| 200,00                               | 1,85   | 204,00 | 1,89   | 185,00 | 1,71   | 142,00 | 1,31  | 96,10 | 0,89  | 84,00 | 0,78  | 151,00 | 1820,00 |
| 159,00                               | 1,47   | 121,00 | 1,12   | 62,40  | 0,58   | 32,50  | 0,30  | 23,30 | 0,22  | 19,20 | 0,18  | 76,40  | 916,00  |
| 195,00                               | 1,33   | 178,00 | 1,22   | 134,00 | 0,91   | 88,40  | 0,60  | 51,30 | 0,35  | 40,80 | 0,28  | 119,00 | 1420,00 |
|                                      | 195,11 |        | 178,95 |        | 137,44 |        | 93,68 |       | 58,61 |       | 48,73 |        |         |

| Irradiación mensual IPL, TRP1, TRP2 Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |              |        |              |        |               |        |               |        |               |        |               |
|--|---------------------|--------|-------|-------|--------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| ID   | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene        | Hfeb   | H'feb        | Hmar   | H'mar         | Habr   | H'abr         | Hmay   | H'may         | Hjun   | H'jun         |
| IPL 01   | 130,55              | 0,00   | 28,31 | 23,70 | 1,38         | 31,10  | 1,81         | 76,90  | 4,48          | 114,00 | 6,64          | 158,00 | 9,20          | 179,00 | 10,42         |
| IPL 02   | 929,85              | 89,39  | 26,09 | 49,00 | 20,32        | 71,40  | 29,61        | 125,00 | 51,84         | 150,00 | 62,21         | 181,00 | 75,06         | 196,00 | 81,29         |
| IPL 03   | 957,64              | 270,61 | 26,09 | 49,00 | 20,93        | 71,40  | 30,50        | 126,00 | 53,82         | 150,00 | 64,07         | 181,00 | 77,31         | 196,00 | 83,71         |
| IPL 04   | 60,57               | 89,38  | 25,87 | 49,00 | 1,32         | 71,40  | 1,93         | 125,00 | 3,38          | 150,00 | 4,05          | 181,00 | 4,89          | 196,00 | 5,29          |
| IPL 05   | 30,73               | 270,62 | 25,87 | 49,00 | 0,67         | 71,40  | 0,98         | 126,00 | 1,73          | 150,00 | 2,06          | 181,00 | 2,48          | 196,00 | 2,69          |
| IPL 06   | 101,69              | 180,00 | 27,71 | 79,10 | 3,59         | 106,00 | 4,81         | 162,00 | 7,35          | 172,00 | 7,80          | 191,00 | 8,66          | 199,00 | 9,03          |
| IPL 07   | 31,08               | 180,00 | 25,57 | 77,30 | 1,07         | 105,00 | 1,46         | 160,00 | 2,22          | 172,00 | 2,38          | 192,00 | 2,66          | 201,00 | 2,79          |
| <b>Stotal</b>                                    | <b>2242,11</b>      |        |       |       | <b>49,28</b> |        | <b>71,09</b> |        | <b>124,80</b> |        | <b>149,21</b> |        | <b>180,27</b> |        | <b>195,22</b> |
| TRP1 01  | 30,64               | 0,00   | 29,00 | 23,60 | 0,94         | 30,40  | 1,21         | 75,40  | 3,00          | 113,00 | 4,49          | 156,00 | 6,20          | 178,00 | 7,07          |
| TRP1 02  | 189,62              | 90,00  | 23,64 | 49,60 | 12,20        | 72,00  | 17,70        | 126,00 | 30,98         | 151,00 | 37,13         | 183,00 | 45,00         | 197,00 | 48,44         |
| TRP1 03  | 189,62              | 270,00 | 23,64 | 49,60 | 12,20        | 72,00  | 17,70        | 127,00 | 31,23         | 151,00 | 37,13         | 183,00 | 45,00         | 198,00 | 48,69         |
| TRP1 04  | 69,39               | 90,00  | 26,07 | 49,30 | 4,44         | 71,70  | 6,45         | 125,00 | 11,25         | 150,00 | 13,50         | 181,00 | 16,29         | 196,00 | 17,64         |
| TRP1 05  | 69,39               | 270,00 | 26,07 | 49,30 | 4,44         | 71,70  | 6,45         | 126,00 | 11,34         | 150,00 | 13,50         | 181,00 | 16,29         | 196,00 | 17,64         |
| TRP1 06  | 31,52               | 180,00 | 31,78 | 82,10 | 3,36         | 110,00 | 4,50         | 164,00 | 6,70          | 172,00 | 7,03          | 188,00 | 7,68          | 195,00 | 7,97          |
| TRP1 07  | 190,94              | 270,00 | 3,89  | 50,70 | 12,55        | 74,10  | 18,35        | 130,00 | 32,19         | 156,00 | 38,63         | 190,00 | 47,05         | 206,00 | 51,01         |
| <b>Stotal</b>                                    | <b>771,12</b>       |        |       |       | <b>50,11</b> |        | <b>72,37</b> |        | <b>126,69</b> |        | <b>151,41</b> |        | <b>183,50</b> |        | <b>198,46</b> |
| TRP2 01  | 32,47               | 180,00 | 31,78 | 82,10 | 4,41         | 110,00 | 5,91         | 164,00 | 8,81          | 172,00 | 9,24          | 188,00 | 10,10         | 195,00 | 10,47         |
| TRP2 02  | 197,28              | 90,00  | 25,41 | 49,40 | 16,12        | 71,70  | 23,39        | 125,00 | 40,78         | 151,00 | 49,27         | 182,00 | 59,38         | 196,00 | 63,95         |
| TRP2 03  | 197,28              | 270,00 | 25,41 | 49,40 | 16,12        | 71,70  | 23,39        | 126,00 | 41,11         | 151,00 | 49,27         | 182,00 | 59,38         | 197,00 | 64,27         |
| TRP2 04  | 30,70               | 180,00 | 33,85 | 83,60 | 4,24         | 111,00 | 5,64         | 165,00 | 8,38          | 171,00 | 8,68          | 187,00 | 9,49          | 193,00 | 9,80          |
| TRP2 05  | 58,12               | 90,00  | 25,41 | 49,40 | 4,75         | 71,70  | 6,89         | 125,00 | 12,01         | 151,00 | 14,51         | 182,00 | 17,49         | 196,00 | 18,84         |
| TRP2 06  | 58,12               | 270,00 | 25,41 | 49,40 | 4,75         | 71,70  | 6,89         | 126,00 | 12,11         | 151,00 | 14,51         | 182,00 | 17,49         | 197,00 | 18,94         |
| TRP2 07  | 30,70               | 0,00   | 33,85 | 22,80 | 1,16         | 26,60  | 1,35         | 65,10  | 3,31          | 103,00 | 5,23          | 148,00 | 7,51          | 170,00 | 8,63          |
| <b>Stotal</b>                                    | <b>604,67</b>       |        |       |       | <b>51,54</b> |        | <b>73,46</b> |        | <b>126,51</b> |        | <b>150,71</b> |        | <b>180,85</b> |        | <b>194,90</b> |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Irradiación mensual IPL, TRP1, TRP2 Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul   | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 180,00   | 10,48  | 146,00 | 8,50   | 88,10  | 5,13   | 46,20  | 2,69  | 23,80 | 1,39  | 20,70 | 1,21  | 90,50  | 1090,00 |
| 203,00   | 84,19  | 186,00 | 77,14  | 142,00 | 58,89  | 94,20  | 39,07 | 55,40 | 22,98 | 44,10 | 18,29 | 125,00 | 1500,00 |
| 203,00   | 86,70  | 186,00 | 79,44  | 142,00 | 60,65  | 95,30  | 40,70 | 56,20 | 24,00 | 44,90 | 19,18 | 125,00 | 1500,00 |
| 203,00   | 5,48   | 186,00 | 5,02   | 142,00 | 3,84   | 94,30  | 2,55  | 55,40 | 1,50  | 44,20 | 1,19  | 125,00 | 1500,00 |
| 203,00   | 2,78   | 186,00 | 2,55   | 142,00 | 1,95   | 95,30  | 1,31  | 56,20 | 0,77  | 44,90 | 0,62  | 125,00 | 1500,00 |
| 211,00   | 9,57   | 209,00 | 9,48   | 181,00 | 8,21   | 135,00 | 6,12  | 88,60 | 4,02  | 76,00 | 3,45  | 151,00 | 1810,00 |
| 213,00   | 2,95   | 209,00 | 2,90   | 180,00 | 2,50   | 133,00 | 1,84  | 86,70 | 1,20  | 74,10 | 1,03  | 150,00 | 1800,00 |
|  | 202,16 |        | 185,03 |        | 141,16 |        | 94,28 |       | 55,85 |       | 44,96 |        |         |
| 178,00   | 7,07   | 144,00 | 5,72   | 86,40  | 3,43   | 45,00  | 1,79  | 24,20 | 0,96  | 20,60 | 0,82  | 89,60  | 1080,00 |
| 205,00   | 50,41  | 187,00 | 45,98  | 143,00 | 35,16  | 95,10  | 23,39 | 55,90 | 13,75 | 44,50 | 10,94 | 126,00 | 1510,00 |
| 205,00   | 50,41  | 187,00 | 45,98  | 143,00 | 35,16  | 96,10  | 23,63 | 56,70 | 13,94 | 45,30 | 11,14 | 126,00 | 1510,00 |
| 203,00   | 18,27  | 186,00 | 16,74  | 142,00 | 12,78  | 94,60  | 8,51  | 55,70 | 5,01  | 44,40 | 4,00  | 125,00 | 1500,00 |
| 203,00   | 18,27  | 186,00 | 16,74  | 142,00 | 12,78  | 95,70  | 8,61  | 56,50 | 5,08  | 45,20 | 4,07  | 125,00 | 1500,00 |
| 208,00   | 8,50   | 208,00 | 8,50   | 183,00 | 7,48   | 138,00 | 5,64  | 91,90 | 3,76  | 79,40 | 3,25  | 152,00 | 1820,00 |
| 214,00   | 52,99  | 195,00 | 48,28  | 148,00 | 36,65  | 98,40  | 24,37 | 58,00 | 14,36 | 45,90 | 11,37 | 130,00 | 1560,00 |
|  | 205,92 |        | 187,95 |        | 143,44 |        | 95,93 |       | 56,86 |       | 45,57 |        |         |
| 208,00   | 11,17  | 208,00 | 11,17  | 183,00 | 9,83   | 138,00 | 7,41  | 91,90 | 4,93  | 79,40 | 4,26  | 152,00 | 1820,00 |
| 203,00   | 66,23  | 187,00 | 61,01  | 142,00 | 46,33  | 94,80  | 30,93 | 55,80 | 18,21 | 44,50 | 14,52 | 125,00 | 1500,00 |
| 204,00   | 66,56  | 187,00 | 61,01  | 142,00 | 46,33  | 95,80  | 31,26 | 56,60 | 18,47 | 45,20 | 14,75 | 126,00 | 1510,00 |
| 206,00   | 10,46  | 207,00 | 10,51  | 184,00 | 9,34   | 139,00 | 7,06  | 93,40 | 4,74  | 81,00 | 4,11  | 152,00 | 1820,00 |
| 203,00   | 19,51  | 187,00 | 17,97  | 142,00 | 13,65  | 94,80  | 9,11  | 55,80 | 5,36  | 44,50 | 4,28  | 125,00 | 1500,00 |
| 204,00   | 19,61  | 187,00 | 17,97  | 142,00 | 13,65  | 95,80  | 9,21  | 56,60 | 5,44  | 45,20 | 4,34  | 126,00 | 1510,00 |
| 169,00   | 8,58   | 133,00 | 6,75   | 74,20  | 3,77   | 36,60  | 1,86  | 24,20 | 1,23  | 19,90 | 1,01  | 82,70  | 992,00  |
|  | 202,12 |        | 186,40 |        | 142,89 |        | 96,83 |       | 58,38 |       | 47,27 |        |         |

| Irradiación mensual TRP3 Parte 1 de 2 |                     |        |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ID                                    | S (m <sup>2</sup> ) | A (°)  | E (°) | Hene  | H'ene | Hfeb   | H'feb | Hmar   | H'mar  | Habr   | H'abr  | Hmay   | H'may  | Hjun   | H'jun  |
| TRP3 01                               | 664,09              | 150,90 | 28,61 | 75,60 | 26,63 | 102,00 | 35,93 | 157,00 | 55,31  | 170,00 | 59,89  | 190,00 | 66,94  | 199,00 | 70,11  |
| TRP3 02                               | 27,50               | 60,90  | 36,87 | 33,00 | 0,48  | 50,10  | 0,73  | 97,80  | 1,43   | 126,00 | 1,84   | 160,00 | 2,33   | 176,00 | 2,57   |
| TRP3 03                               | 664,09              | 330,90 | 28,61 | 24,90 | 8,77  | 38,80  | 13,67 | 85,30  | 30,05  | 118,00 | 41,57  | 159,00 | 56,02  | 180,00 | 63,41  |
| TRP3 04                               | 324,00              | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 8,73  | 74,20  | 12,75 | 130,00 | 22,34  | 156,00 | 26,81  | 190,00 | 32,66  | 206,00 | 35,41  |
| TRP3 05                               | 29,29               | 60,90  | 34,29 | 33,90 | 0,53  | 51,40  | 0,80  | 99,90  | 1,55   | 129,00 | 2,00   | 163,00 | 2,53   | 179,00 | 2,78   |
| TRP3 06                               | 53,88               | 150,90 | 28,61 | 75,60 | 2,16  | 102,00 | 2,92  | 157,00 | 4,49   | 170,00 | 4,86   | 190,00 | 5,43   | 199,00 | 5,69   |
| TRP3 07                               | 53,88               | 330,90 | 28,61 | 24,90 | 0,71  | 38,80  | 1,11  | 85,30  | 2,44   | 118,00 | 3,37   | 159,00 | 4,54   | 180,00 | 5,14   |
| TRP3 08                               | 29,29               | 240,90 | 34,29 | 64,40 | 1,00  | 89,10  | 1,38  | 144,00 | 2,24   | 160,00 | 2,49   | 184,00 | 2,86   | 195,00 | 3,03   |
| TRP3 09                               | 39,00               | 180,00 | 0,00  | 50,80 | 1,05  | 74,20  | 1,54  | 130,00 | 2,69   | 156,00 | 3,23   | 190,00 | 3,93   | 206,00 | 4,26   |
| Stotal                                | 1885,02             |        |       |       | 50,07 |        | 70,83 |        | 122,54 |        | 146,06 |        | 177,24 |        | 192,40 |

| Irradiación mensual TRP3 Parte 2 de 2 |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |        |         |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Hjul                                  | H'jul  | Hago   | H'ago  | Hsep   | H'sep  | Hoct   | H'oct | Hnov  | H'nov | Hdic  | H'dic | Hav    | Haño    |
| 211,00                                | 74,34  | 207,00 | 72,93  | 177,00 | 62,36  | 129,00 | 45,45 | 84,40 | 29,73 | 72,10 | 25,40 | 148,00 | 1770,00 |
| 179,00                                | 2,61   | 157,00 | 2,29   | 110,00 | 1,60   | 68,50  | 1,00  | 37,20 | 0,54  | 28,20 | 0,41  | 102,00 | 1220,00 |
| 181,00                                | 63,77  | 150,00 | 52,84  | 95,50  | 33,64  | 55,70  | 19,62 | 28,20 | 9,93  | 20,60 | 7,26  | 94,70  | 1140,00 |
| 214,00                                | 36,78  | 195,00 | 33,52  | 148,00 | 25,44  | 98,50  | 16,93 | 57,90 | 9,95  | 45,90 | 7,89  | 131,00 | 1570,00 |
| 183,00                                | 2,84   | 160,00 | 2,49   | 112,00 | 1,74   | 70,20  | 1,09  | 38,30 | 0,60  | 29,00 | 0,45  | 104,00 | 1250,00 |
| 211,00                                | 6,03   | 207,00 | 5,92   | 177,00 | 5,06   | 129,00 | 3,69  | 84,40 | 2,41  | 72,10 | 2,06  | 148,00 | 1770,00 |
| 181,00                                | 5,17   | 150,00 | 4,29   | 95,50  | 2,73   | 55,70  | 1,59  | 28,20 | 0,81  | 20,60 | 0,59  | 94,70  | 1140,00 |
| 204,00                                | 3,17   | 196,00 | 3,05   | 161,00 | 2,50   | 115,00 | 1,79  | 73,10 | 1,14  | 61,40 | 0,95  | 137,00 | 1650,00 |
| 214,00                                | 4,43   | 195,00 | 4,03   | 148,00 | 3,06   | 98,50  | 2,04  | 57,90 | 1,20  | 45,90 | 0,95  | 131,00 | 1570,00 |
|                                       | 199,14 |        | 181,35 |        | 138,14 |        | 93,19 |       | 56,31 |       | 45,96 |        |         |

## **ANEXO IV: CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LA IRRADIACIÓN MENSUAL INCIDENTE EN TEJADOS**

En el presente anexo se presentarán las tablas utilizadas para la elaboración del diagrama de cajas y bigotes. Dicho diagrama sirvió para comparar la irradiación mensual entre cada edificio. La característica más útil de este diagrama es que muestra en qué valores se concentran las variables o, en este caso, entre qué valores de irradiación se encuentran los edificios en cada mes. En primer lugar se muestran las tablas que contienen los valores de irradiación de cada uno de los doce meses del año para cada edificio. En segundo lugar se muestra la tabla de cálculo de las variables necesarias para el diagrama, como la mediana, los cuartiles, etc.

ANTONIO DUELO URCELAY

| Irradiación mensual total por edificio Parte 1 de 2 |                         |               |                          |            |            |                         |                  |              |          |                   |             |                      |
|---|-------------------------|---------------|--------------------------|------------|------------|-------------------------|------------------|--------------|----------|-------------------|-------------|----------------------|
| Túnel del Viento                                    | Jefatura de Instrucción | Polideportivo | Cuartel Francisco Moreno | Torpedos 1 | Torpedos 2 | Taller de automóviles 2 | Sección de Obras | Edificio CUD | Imprenta | Cuartel Marinería | Isaac Peral | Residencia Oficiales |
| 57,71   | 50,70                   | 50,20         | 50,02                    | 50,11      | 51,54      | 50,00                   | 49,20            | 53,01        | 51,10    | 50,20             | 49,28       | 49,89                |
| 81,82   | 74,06                   | 73,04         | 72,50                    | 72,37      | 73,46      | 72,04                   | 71,23            | 74,18        | 72,95    | 71,64             | 71,09       | 71,48                |
| 137,06  | 129,64                  | 127,77        | 126,56                   | 126,69     | 126,51     | 125,33                  | 124,67           | 126,30       | 125,53   | 124,34            | 124,80      | 124,45               |
| 159,03  | 155,66                  | 153,50        | 151,88                   | 151,41     | 150,71     | 150,11                  | 149,89           | 148,20       | 148,91   | 148,44            | 149,21      | 148,77               |
| 188,49  | 189,55                  | 186,67        | 184,81                   | 183,50     | 180,85     | 182,00                  | 182,65           | 178,12       | 178,80   | 180,18            | 180,27      | 180,11               |
| 201,97  | 205,55                  | 202,60        | 200,35                   | 198,46     | 194,90     | 196,95                  | 198,06           | 192,20       | 193,45   | 195,07            | 195,22      | 194,42               |
| 210,47  | 213,55                  | 210,44        | 207,96                   | 205,92     | 202,12     | 204,41                  | 205,31           | 199,97       | 200,67   | 202,15            | 202,16      | 201,78               |
| 196,51  | 194,57                  | 191,51        | 189,41                   | 187,95     | 186,40     | 186,47                  | 186,48           | 183,01       | 183,86   | 184,35            | 185,03      | 184,30               |
| 155,57  | 147,86                  | 145,61        | 144,03                   | 143,44     | 142,89     | 142,14                  | 141,51           | 141,97       | 141,66   | 140,49            | 141,16      | 140,93               |
| 106,82  | 98,28                   | 96,93         | 95,98                    | 95,93      | 96,83      | 95,11                   | 94,38            | 97,34        | 96,10    | 94,64             | 94,28       | 94,63                |
| 65,06   | 57,82                   | 57,08         | 56,84                    | 56,86      | 58,38      | 56,65                   | 55,85            | 59,82        | 57,67    | 56,69             | 55,85       | 56,40                |
| 53,11   | 45,78                   | 45,34         | 45,33                    | 45,57      | 47,27      | 45,47                   | 44,63            | 49,36        | 46,77    | 46,14             | 44,96       | 45,84                |

| Irradiación mensual total por edificio Parte 2 de 2 |                            |                       |            |            |                                |                         |          |                   |                      |        |         |                       |
|---|----------------------------|-----------------------|------------|------------|--------------------------------|-------------------------|----------|-------------------|----------------------|--------|---------|-----------------------|
| Edificio correos                                    | Barrio Industrial Talleres | Edificio Dep. Táctica | Lavandería | Torpedos 3 | Cuartel Marqués de la Victoria | Taller de automóviles 1 | Hospital | Casino de alumnos | Jefatura de Estudios | Bazar  | Aula 14 | Barrio Industrial Sur |
| 49,07   | 49,82                      | 50,05                 | 49,85      | 50,07      | 52,35                          | 49,94                   | 50,89    | 49,84             | 50,52                | 49,93  | 49,76   | 48,03                 |
| 71,07   | 71,42                      | 71,10                 | 71,45      | 70,83      | 71,95                          | 70,86                   | 69,74    | 70,05             | 71,22                | 69,99  | 69,59   | 67,80                 |
| 124,20  | 124,02                     | 122,95                | 124,50     | 122,54     | 122,05                         | 122,11                  | 119,73   | 120,27            | 121,69               | 119,10 | 118,54  | 117,00                |
| 148,77  | 148,05                     | 147,00                | 148,00     | 146,06     | 144,86                         | 144,86                  | 142,79   | 142,71            | 142,83               | 139,94 | 139,19  | 138,79                |
| 179,34  | 179,00                     | 179,00                | 179,00     | 177,24     | 174,18                         | 174,21                  | 173,21   | 172,43            | 170,35               | 167,32 | 166,47  | 166,56                |
| 194,40  | 193,32                     | 194,00                | 194,00     | 192,40     | 188,01                         | 188,18                  | 187,15   | 186,13            | 183,08               | 180,23 | 179,24  | 179,79                |
| 200,86  | 200,51                     | 201,00                | 201,00     | 199,14     | 195,11                         | 195,10                  | 193,69   | 192,77            | 189,87               | 186,28 | 185,22  | 185,66                |
| 183,74  | 183,31                     | 182,50                | 183,50     | 181,35     | 178,95                         | 178,67                  | 176,48   | 176,19            | 175,00               | 171,11 | 170,09  | 169,80                |
| 140,65  | 139,90                     | 139,50                | 140,50     | 138,14     | 137,44                         | 137,07                  | 134,83   | 135,03            | 136,11               | 132,64 | 131,92  | 130,39                |
| 94,14   | 94,23                      | 93,80                 | 94,20      | 93,19      | 93,68                          | 93,00                   | 91,49    | 92,03             | 93,42                | 91,26  | 90,79   | 88,80                 |
| 55,66   | 56,32                      | 56,60                 | 56,30      | 56,31      | 58,61                          | 56,24                   | 56,65    | 56,03             | 56,76                | 56,03  | 55,82   | 53,87                 |
| 44,57   | 45,41                      | 46,05                 | 45,35      | 45,96      | 48,73                          | 45,77                   | 47,41    | 46,22             | 46,56                | 46,23  | 46,10   | 44,04                 |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE  
MARÍN

| Dato             | Parámetros de utilidad para el diagrama de cajas y bigotes Parte 1 de 2 |                         |               |                          |            |            |                         |                  |              |          |                   |             |
|------------------|---|-------------------------|---------------|--------------------------|------------|------------|-------------------------|------------------|--------------|----------|-------------------|-------------|
|                  | Túnel del Viento  | Jefatura de Instrucción | Polideportivo | Cuartel Francisco Moreno | Torpedos 1 | Torpedos 2 | Taller de automóviles 2 | Sección de Obras | Edificio CUD | Imprenta | Cuartel Marinería | Isaac Peral |
| MEDIA            | 134,47  | 130,25                  | 128,39        | 127,14                   | 126,52     | 125,99     | 125,55                  | 125,32           | 125,29       | 124,79   | 124,53            | 124,44      |
| Q1 (CUARTIL 1)   | 77,63   | 70,00                   | 69,05         | 68,59                    | 68,49      | 69,69      | 68,19                   | 67,39            | 70,59        | 69,13    | 67,90             | 67,28       |
| Q3 (CUARTIL 3)   | 190,49  | 190,81                  | 187,88        | 185,96                   | 184,62     | 182,24     | 183,12                  | 183,61           | 179,34       | 180,06   | 181,22            | 181,46      |
| RANGO INTERC.    | 112,87  | 120,81                  | 118,83        | 117,37                   | 116,13     | 112,55     | 114,93                  | 116,22           | 108,76       | 110,94   | 113,32            | 114,18      |
| MEDIANA          | 146,31  | 138,75                  | 136,69        | 135,30                   | 135,07     | 134,70     | 133,73                  | 133,09           | 134,13       | 133,60   | 132,42            | 132,98      |
| VALOR MÍNIMO     | 53,11   | 45,78                   | 45,34         | 45,33                    | 45,57      | 47,27      | 45,47                   | 44,63            | 49,36        | 46,77    | 46,14             | 44,96       |
| VALOR MÁXIMO     | 210,47  | 213,55                  | 210,44        | 207,96                   | 205,92     | 202,12     | 204,41                  | 205,31           | 199,97       | 200,67   | 202,15            | 202,16      |
| L. INFERIOR      | 53,11   | 45,78                   | 45,34         | 45,33                    | 45,57      | 47,27      | 45,47                   | 44,63            | 49,36        | 46,77    | 46,14             | 44,96       |
| L. SUPERIOR      | 210,47  | 213,55                  | 210,44        | 207,96                   | 205,92     | 202,12     | 204,41                  | 205,31           | 199,97       | 200,67   | 202,15            | 202,16      |
| BASE DEL GRÁFICO | 77,63   | 70,00                   | 69,05         | 68,59                    | 68,49      | 69,69      | 68,19                   | 67,39            | 70,59        | 69,13    | 67,90             | 67,28       |
| CAJÓN 1          | 68,69   | 68,75                   | 67,64         | 66,71                    | 66,58      | 65,01      | 65,54                   | 65,70            | 63,54        | 64,47    | 64,51             | 65,70       |
| CAJÓN 2          | 44,18   | 52,06                   | 51,19         | 50,67                    | 49,55      | 47,54      | 49,38                   | 50,52            | 45,21        | 46,47    | 48,81             | 48,48       |
| BIGOTE INF       | 24,52   | 24,22                   | 23,71         | 23,26                    | 22,92      | 22,42      | 22,72                   | 22,76            | 21,23        | 22,36    | 21,76             | 22,32       |
| BIGOTE SUP       | 19,98   | 22,75                   | 22,56         | 22,00                    | 21,30      | 19,88      | 21,29                   | 21,70            | 20,62        | 20,61    | 20,92             | 20,70       |

ANTONIO DUELO URCELAY

| Parámetros de utilidad para el diagrama de cajas y bigotes Parte 2 de 2 |                     |                               |                          |                |                |                                   |                            |              |                      |                         |        |            |                          |
|---|---------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|--------|------------|--------------------------|
| Residencia<br>Oficiales   | Edificio<br>correos | Barrio Industrial<br>Talleres | Edificio Dep.<br>Táctica | Lavand<br>ería | Torped<br>os 3 | Cuartel Marqués de<br>la Victoria | Taller de<br>automóviles 1 | Hospit<br>al | Casino de<br>alumnos | Jefatura de<br>Estudios | Bazar  | Aula<br>14 | Barrio<br>Industrial Sur |
| 124,42  | 123,87              | 123,78                        | 123,63                   | 123,97         | 122,77         | 122,16                            | 121,33                     | 120,34       | 119,98               | 119,78                  | 117,50 | 116,89     | 115,88                   |
| 67,71   | 67,22               | 67,65                         | 67,48                    | 67,66          | 67,20          | 68,61                             | 67,20                      | 66,47        | 66,55                | 67,60                   | 66,50  | 66,14      | 64,32                    |
| 181,16  | 180,44              | 180,08                        | 179,88                   | 180,13         | 178,27         | 175,37                            | 175,32                     | 174,03       | 173,37               | 171,51                  | 168,26 | 167,37     | 167,37                   |
| 113,45  | 113,22              | 112,43                        | 112,40                   | 112,46         | 111,07         | 106,76                            | 108,12                     | 107,56       | 106,82               | 103,91                  | 101,77 | 101,23     | 103,05                   |
| 132,69  | 132,42              | 131,96                        | 131,23                   | 132,50         | 130,34         | 129,75                            | 129,59                     | 127,28       | 127,65               | 128,90                  | 125,87 | 125,23     | 123,70                   |
| 45,84   | 44,57               | 45,41                         | 46,05                    | 45,35          | 45,96          | 48,73                             | 45,77                      | 47,41        | 46,22                | 46,56                   | 46,23  | 46,10      | 44,04                    |
| 201,78  | 200,86              | 200,51                        | 201,00                   | 201,00         | 199,14         | 195,11                            | 195,10                     | 193,69       | 192,77               | 189,87                  | 186,28 | 185,22     | 185,66                   |
| 45,84   | 44,57               | 45,41                         | 46,05                    | 45,35          | 45,96          | 48,73                             | 45,77                      | 47,41        | 46,22                | 46,56                   | 46,23  | 46,10      | 44,04                    |
| 201,78  | 200,86              | 200,51                        | 201,00                   | 201,00         | 199,14         | 195,11                            | 195,10                     | 193,69       | 192,77               | 189,87                  | 186,28 | 185,22     | 185,66                   |
| 67,71   | 67,22               | 67,65                         | 67,48                    | 67,66          | 67,20          | 68,61                             | 67,20                      | 66,47        | 66,55                | 67,60                   | 66,50  | 66,14      | 64,32                    |
| 64,98   | 65,21               | 64,31                         | 63,75                    | 64,84          | 63,14          | 61,13                             | 62,39                      | 60,81        | 61,11                | 61,30                   | 59,37  | 59,09      | 59,38                    |
| 48,46   | 48,02               | 48,12                         | 48,65                    | 47,63          | 47,93          | 45,63                             | 45,73                      | 46,75        | 45,72                | 42,61                   | 42,39  | 42,14      | 43,68                    |
| 21,87   | 22,64               | 22,23                         | 21,43                    | 22,31          | 21,24          | 19,88                             | 21,43                      | 19,06        | 20,33                | 21,04                   | 20,27  | 20,04      | 20,28                    |
| 20,62   | 20,41               | 20,44                         | 21,13                    | 20,88          | 20,87          | 19,74                             | 19,78                      | 19,66        | 19,40                | 18,36                   | 18,01  | 17,84      | 18,29                    |

## **ANEXO V: TABLAS DE CÁLCULOS ENERGÉTICOS Y COSTES**

En el presente anexo se expondrán los cálculos y resultados relativos al cálculo de la potencia de pico, la energía eléctrica anual producida y los costes relativos a la inversión inicial necesaria de la instalación, los de operación y mantenimiento y los debidos a impuestos. Las tablas que se exponen a continuación han sido extraídas de la hoja de cálculo de Excel utilizada en el desarrollo del trabajo.

| Cálculo P*                     | P*=Ppanel-Stejado/Spapel |                           |                          |          |          |                     |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------|----------|---------------------|
| Edificio                       | Ppanel (Wp)              | Stejado (m <sup>2</sup> ) | Spapel (m <sup>2</sup> ) | P* (Wp)  | P* (kWp) |                     |
| Aula 14                        | 150                      | 128,87                    | 1                        | 19330,5  | 19,3305  |                     |
| Barrio Industrial Sur          | 150                      | 317,04                    | 1                        | 47556    | 47,556   |                     |
| Barrio Industrial Talleres     | 150                      | 1392,48                   | 1                        | 208872   | 208,872  |                     |
| Bazar                          | 150                      | 132,4                     | 1                        | 19860    | 19,86    |                     |
| Casino de alumnos              | 150                      | 1856,03                   | 1                        | 278404,5 | 278,4045 |                     |
| Cuartel Francisco Moreno       | 150                      | 3135,27                   | 1                        | 470290,5 | 470,2905 |                     |
| Cuartel Marinería              | 150                      | 2202,84                   | 1                        | 330426   | 330,426  |                     |
| Cuartel Marqués de la Victoria | 150                      | 2696,67                   | 1                        | 404500,5 | 404,5005 |                     |
| Edificio correos               | 150                      | 645,88                    | 1                        | 96882    | 96,882   |                     |
| Edificio CUD                   | 150                      | 1554,51                   | 1                        | 233176,5 | 233,1765 |                     |
| Edificio Dep. Táctica          | 150                      | 858,72                    | 1                        | 128808   | 128,808  |                     |
| Hospital                       | 150                      | 2171,89                   | 1                        | 325783,5 | 325,7835 |                     |
| Imprenta                       | 150                      | 350,3                     | 1                        | 52545    | 52,545   |                     |
| Isaac Peral                    | 150                      | 2242,11                   | 1                        | 336316,5 | 336,3165 |                     |
| Jefatura de Estudios           | 150                      | 677,9                     | 1                        | 101685   | 101,685  |                     |
| Jefatura de Instrucción        | 150                      | 1439,64                   | 1                        | 215946   | 215,946  |                     |
| Lavandería                     | 150                      | 513,4                     | 1                        | 77010    | 77,01    |                     |
| Polideportivo                  | 150                      | 2463,22                   | 1                        | 369483   | 369,483  |                     |
| Residencia Oficiales           | 150                      | 1212,79                   | 1                        | 181918,5 | 181,9185 |                     |
| Sección de Obras               | 150                      | 1207,56                   | 1                        | 181134   | 181,134  |                     |
| Taller de automóviles 1        | 150                      | 414,66                    | 1                        | 62199    | 62,199   |                     |
| Taller de automóviles 2        | 150                      | 1138,28                   | 1                        | 170742   | 170,742  |                     |
| Torpedos 1                     | 150                      | 771,12                    | 1                        | 115668   | 115,668  |                     |
| Torpedos 2                     | 150                      | 604,67                    | 1                        | 90700,5  | 90,7005  |                     |
| Torpedos 3                     | 150                      | 1885,02                   | 1                        | 282753   | 282,753  |                     |
| Túnel del Viento               | 150                      | 247,05                    | 1                        | 37057,5  | 37,0575  |                     |
|                                |                          |                           |                          | 4839048  | 4839,048 | <b>P* total kWp</b> |

| <b>Eaño=P*·H'año*PR</b>        |                 |                        |           |                   |                         |  |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|--|
| <b>Edificio</b>                | <b>P* (kWp)</b> | <b>H'año (kWh/kWp)</b> | <b>PR</b> | <b>Eaño (kWh)</b> | <b>Eaño total (kWh)</b> |  |
| Aula 14                        | 19,3305         | 1402,338               | 0,7       | 18975,5263        | 5057527,825             |  |
| Barrio Industrial Sur          | 47,556          | 1391,147               | 0,7       | 46310,17071       |                         |  |
| Barrio Industrial Talleres     | 208,872         | 1486,452               | 0,7       | 217334,7415       |                         |  |
| Bazar                          | 19,86           | 1409,631               | 0,7       | 19596,69016       |                         |  |
| Casino de alumnos              | 278,4045        | 1440,632               | 0,7       | 280754,9022       |                         |  |
| Cuartel Francisco Moreno       | 470,2905        | 1526,665               | 0,7       | 502583,2323       |                         |  |
| Cuartel Marinería              | 330,426         | 1494,674               | 0,7       | 345715,4058       |                         |  |
| Cuartel Marqués de la Victoria | 404,5005        | 1466,479               | 0,7       | 415234,0421       |                         |  |
| Edificio correos               | 96,882          | 1487,108               | 0,7       | 100851,7981       |                         |  |
| Edificio CUD                   | 233,1765        | 1504,043               | 0,7       | 245495,2378       |                         |  |
| Edificio Dep. Táctica          | 128,808         | 1485                   | 0,7       | 133895,916        |                         |  |
| Hospital                       | 325,7835        | 1443,358               | 0,7       | 329155,5547       |                         |  |
| Imprenta                       | 52,545          | 1497,815               | 0,7       | 55091,88242       |                         |  |
| Isaac Peral                    | 336,3165        | 1494,346               | 0,7       | 351801,2516       |                         |  |
| Jefatura de Estudios           | 101,685         | 1436,769               | 0,7       | 102268,499        |                         |  |
| Jefatura de Instrucción        | 215,946         | 1565,748               | 0,7       | 236681,9123       |                         |  |
| Lavandería                     | 77,01           | 1485                   | 0,7       | 80051,895         |                         |  |
| Polideportivo                  | 369,483         | 1542,51                | 0,7       | 398951,8556       |                         |  |
| Residencia Oficiales           | 181,9185        | 1493,15                | 0,7       | 190142,1258       |                         |  |
| Sección de Obras               | 181,134         | 1504,812               | 0,7       | 190800,8318       |                         |  |
| Taller de automóviles 1        | 62,199          | 1456                   | 0,7       | 63393,2208        |                         |  |
| Taller de automóviles 2        | 170,742         | 1507,124               | 0,7       | 180130,5562       |                         |  |
| Torpedos 1                     | 115,668         | 1516,167               | 0,7       | 122760,4032       |                         |  |
| Torpedos 2                     | 90,7005         | 1511,862               | 0,7       | 95988,64753       |                         |  |
| Torpedos 3                     | 282,753         | 1473,562               | 0,7       | 291657,8533       |                         |  |
| Túnel del Viento               | 37,0575         | 1615,392               | 0,7       | 41903,67233       |                         |  |

| <b>Coste inicial por edificio=<math>P \cdot C_{llave}</math></b> |                              |
|--|------------------------------|
| <b>Edificio</b>  | <b>Inversión inicial (€)</b> |
| Aula 14  | 30928,8                      |
| Barrio Industrial Sur  | 76089,6                      |
| Barrio Industrial Talleres                                       | 334195,2                     |
| Bazar  | 31776                        |
| Casino de alumnos  | 445447,2                     |
| Cuartel Francisco Moreno   | 752464,8                     |
| Cuartel Marinería  | 528681,6                     |
| Cuartel Marqués de la Victoria                                   | 647200,8                     |
| Edificio correos   | 155011,2                     |
| Edificio CUD   | 373082,4                     |
| Edificio Dep. Táctica  | 206092,8                     |
| Hospital   | 521253,6                     |
| Imprenta   | 84072                        |
| Isaac Peral  | 538106,4                     |
| Jefatura de Estudios   | 162696                       |
| Jefatura de Instrucción  | 345513,6                     |
| Lavandería   | 123216                       |
| Polideportivo  | 591172,8                     |
| Residencia Oficiales   | 291069,6                     |
| Sección de Obras   | 289814,4                     |
| Taller de automóviles 1  | 99518,4                      |
| Taller de automóviles 2  | 273187,2                     |
| Torpedos 1   | 185068,8                     |
| Torpedos 2   | 145120,8                     |
| Torpedos 3   | 452404,8                     |
| Túnel del Viento   | 59292                        |
| <b>Total</b>   | <b>7742476,8</b>             |

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO INTEGRADO EN EDIFICIOS EN LAS  
INSTALACIONES DE LA ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN

| Coste OyP por edificio         | 0,033 (€/Wp)                |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Edificio                       | Coste                       |
| Aula 14                        | 637,9065                    |
| Barrio Industrial Sur          | 1569,348                    |
| Barrio Industrial Talleres     | 6892,776                    |
| Bazar                          | 655,38                      |
| Casino de alumnos              | 9187,3485                   |
| Cuartel Francisco Moreno       | 15519,5865                  |
| Cuartel Marinería              | 10904,058                   |
| Cuartel Marqués de la Victoria | 13348,5165                  |
| Edificio correos               | 3197,106                    |
| Edificio CUD                   | 7694,8245                   |
| Edificio Dep. Táctica          | 4250,664                    |
| Hospital                       | 10750,8555                  |
| Imprenta                       | 1733,985                    |
| Isaac Peral                    | 11098,4445                  |
| Jefatura de Estudios           | 3355,605                    |
| Jefatura de Instrucción        | 7126,218                    |
| Lavandería                     | 2541,33                     |
| Polideportivo                  | 12192,939                   |
| Residencia Oficiales           | 6003,3105                   |
| Sección de Obras               | 5977,422                    |
| Taller de automóviles 1        | 2052,567                    |
| Taller de automóviles 2        | 5634,486                    |
| Torpedos 1                     | 3817,044                    |
| Torpedos 2                     | 2993,1165                   |
| Torpedos 3                     | 9330,849                    |
| Túnel del Viento               | 1222,8975                   |
|                                | 159688,584 <b>3992214,6</b> |

| Cargo variable anual (€/kWh) | Eaño (kWh)  | Impuesto anual (€) | Impuesto total (€) |
|------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| 0,029399                     | 5057527,825 | 148686,2605        | 3717156,513        |



## **ANEXO VI: TABLAS DE CÁLCULO DEL ESTUDIO DE AMORTIZACIÓN**

En el presente anexo se presentarán los cálculos realizados con el objetivo de obtener los valores de los parámetros NPV y SIR, así como los resultados del estudio de amortización. Estos cálculos se realizaron mediante la tabla que se expone a continuación, que se extrae de una hoja de cálculo de Excel y que sirvió asimismo para el cálculo de los distintos valores de NPV y SIR utilizados en el análisis de sensibilidad. En la tabla, se indican en verde los valores finales del NPV y SIR, además del año número 10 en el que se pasa de un valor negativo a un positivo del NPV, lo que significa que en ese año se amortiza la instalación.

ANTONIO DUELO URCELAY

| año | Ci       | Ce       | Cr       | Csol     | OUT      | Beg      | Bet      | IN       | CashFlow  | NPV       | IN i     | OUTI     | CumIN i  | Cum      | SIR      |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0   | 7,74E+06 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,74E+06 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,74E+06 | -7,74E+06 | 0,00E+00 | 7,74E+06 | 0,00E+00 | 7,74E+06 | 0,00E+00 |
| 1   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,03E+05  | -6,94E+06 | 1,11E+06 | 3,12E+05 | 1,11E+06 | 8,05E+06 | 1,38E-01 |
| 2   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,13E+05  | -6,13E+06 | 1,13E+06 | 3,16E+05 | 2,24E+06 | 8,37E+06 | 2,68E-01 |
| 3   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,22E+05  | -5,30E+06 | 1,14E+06 | 3,20E+05 | 3,39E+06 | 8,69E+06 | 3,90E-01 |
| 4   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,32E+05  | -4,47E+06 | 1,16E+06 | 3,24E+05 | 4,54E+06 | 9,01E+06 | 5,04E-01 |
| 5   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,43E+05  | -3,63E+06 | 1,17E+06 | 3,28E+05 | 5,71E+06 | 9,34E+06 | 6,11E-01 |
| 6   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,53E+05  | -2,78E+06 | 1,18E+06 | 3,32E+05 | 6,90E+06 | 9,67E+06 | 7,13E-01 |
| 7   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,63E+05  | -1,91E+06 | 1,20E+06 | 3,36E+05 | 8,09E+06 | 1,00E+07 | 8,09E-01 |
| 8   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,74E+05  | -1,04E+06 | 1,21E+06 | 3,40E+05 | 9,31E+06 | 1,03E+07 | 8,99E-01 |
| 9   | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,84E+05  | -1,56E+05 | 1,23E+06 | 3,44E+05 | 1,05E+07 | 1,07E+07 | 9,85E-01 |
| 10  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 8,95E+05  | 7,39E+05  | 1,24E+06 | 3,48E+05 | 1,18E+07 | 1,10E+07 | 1,07E+00 |
| 11  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,06E+05  | 1,64E+06  | 1,26E+06 | 3,52E+05 | 1,30E+07 | 1,14E+07 | 1,14E+00 |
| 12  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,17E+05  | 2,56E+06  | 1,27E+06 | 3,56E+05 | 1,43E+07 | 1,17E+07 | 1,22E+00 |
| 13  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,28E+05  | 3,49E+06  | 1,29E+06 | 3,61E+05 | 1,56E+07 | 1,21E+07 | 1,29E+00 |
| 14  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,39E+05  | 4,43E+06  | 1,30E+06 | 3,65E+05 | 1,69E+07 | 1,25E+07 | 1,35E+00 |
| 15  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,51E+05  | 5,38E+06  | 1,32E+06 | 3,70E+05 | 1,82E+07 | 1,28E+07 | 1,42E+00 |
| 16  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,62E+05  | 6,34E+06  | 1,34E+06 | 3,74E+05 | 1,96E+07 | 1,32E+07 | 1,48E+00 |
| 17  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,74E+05  | 7,32E+06  | 1,35E+06 | 3,79E+05 | 2,09E+07 | 1,36E+07 | 1,54E+00 |
| 18  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,86E+05  | 8,30E+06  | 1,37E+06 | 3,83E+05 | 2,23E+07 | 1,40E+07 | 1,59E+00 |
| 19  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 9,98E+05  | 9,30E+06  | 1,39E+06 | 3,88E+05 | 2,37E+07 | 1,44E+07 | 1,65E+00 |
| 20  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,01E+06  | 1,03E+07  | 1,40E+06 | 3,93E+05 | 2,51E+07 | 1,48E+07 | 1,70E+00 |
| 21  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,02E+06  | 1,13E+07  | 1,42E+06 | 3,97E+05 | 2,65E+07 | 1,52E+07 | 1,75E+00 |
| 22  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,03E+06  | 1,24E+07  | 1,44E+06 | 4,02E+05 | 2,79E+07 | 1,56E+07 | 1,79E+00 |
| 23  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,05E+06  | 1,34E+07  | 1,45E+06 | 4,07E+05 | 2,94E+07 | 1,60E+07 | 1,84E+00 |
| 24  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,06E+06  | 1,45E+07  | 1,47E+06 | 4,12E+05 | 3,09E+07 | 1,64E+07 | 1,88E+00 |
| 25  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,60E+05 | 1,49E+05 | 3,08E+05 | 1,10E+06 | 0,00E+00 | 1,10E+06 | 1,07E+06  | 1,55E+07  | 1,49E+06 | 4,17E+05 | 3,23E+07 | 1,68E+07 | 1,93E+00 |

| P* (Wp)  | E (kWh)  | C (kWh)  | venta (€/kWh) | instalación (€/Wp) | OyM (€/Wp) | csol (€/kWh) | i     | in | if    |
|----------|----------|----------|---------------|--------------------|------------|--------------|-------|----|-------|
| 4,84E+06 | 5,06E+06 | 3,10E+06 | 0,2178        | 1,6                | 0,033      | 0,029399     | 0,988 | 0  | 1,18% |

## ANEXO VII: TABLA DE CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En el presente anexo se expondrá la tabla de cálculo utilizada para generar las gráficas resultado del análisis de sensibilidad. Para confeccionar dicha tabla se calcularon distintos valores del NPV y SIR a partir de la variación de las variables seleccionadas en el análisis de sensibilidad, utilizando la tabla expuesta en el Anexo IV. La tabla que se muestra a continuación se extrajo de una hoja de cálculo de Excel.

| NPV         |                     |              |                |          |          |
|-------------|---------------------|--------------|----------------|----------|----------|
| % variación | Precio venta elect. | $\eta$ panel | Precio "llave" | C OyM    | i        |
| -75         | -8,71E+06           | 3,89E+06     | 2,14E+07       | 1,91E+07 | 1,29E+07 |
| -50         | -6,26E+05           | 7,77E+06     | 1,94E+07       | 1,79E+07 | 1,37E+07 |
| -25         | 7,46E+06            | 1,17E+07     | 1,75E+07       | 1,67E+07 | 1,46E+07 |
| 0           | 1,55E+07            | 1,55E+07     | 1,55E+07       | 1,55E+07 | 1,55E+07 |
| 25          | 2,36E+07            | 1,94E+07     | 1,36E+07       | 1,44E+07 | 1,65E+07 |
| 50          | 3,17E+07            | 2,33E+07     | 1,17E+07       | 1,32E+07 | 1,74E+07 |
| 75          | 3,98E+07            | 2,72E+07     | 9,74E+06       | 1,20E+07 | 1,85E+07 |

| SIR         |                     |              |                |            |            |
|-------------|---------------------|--------------|----------------|------------|------------|
| % variación | Precio venta elect. | $\eta$ panel | Precio "llave" | C OyM      | i          |
| -75         | 4,81E-01            | 1,93E+00     | 2,94E+00       | 2,44E+00   | 1,82E+00   |
| -50         | 9,63E-01            | 1,93E+00     | 2,50E+00       | 2,24E+00   | 1,85E+00   |
| -25         | 1,44E+00            | 1,93E+00     | 2,18E+00       | 2,07E+00   | 1,89E+00   |
| 0           | 1,925446764         | 1,92544676   | 1,925446764    | 1,92544676 | 1,92544676 |
| 25          | 2,41E+00            | 1,93E+00     | 1,73E+00       | 1,80E+00   | 1,96E+00   |
| 50          | 2,89E+00            | 1,93E+00     | 1,56E+00       | 1,69E+00   | 1,99E+00   |
| 75          | 3,37E+00            | 1,93E+00     | 1,43E+00       | 1,59E+00   | 2,03E+00   |