



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE
APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM**

Autor:

Leonardo Gómez, Andrea

Tutora:

**Zulueta Pérez, Patricia Beatriz
Área de Ingeniería de los Procesos
de Fabricación**

Valladolid, julio 2023.



Universidad de Valladolid

Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



RESUMEN:

El impacto del cambio climático representa una gran amenaza para nuestro bienestar y la salud del planeta. La necesidad de crear un mundo más sostenible y habitable es innegable y requiere una atención urgente.

En la actualidad, la gestión de proyectos está experimentando un nuevo enfoque basado en la planificación inteligente, el diseño sostenible y la economía circular. Este enfoque busca reducir el consumo energético y la contaminación. En este contexto, la metodología BIM desempeña un papel fundamental al permitir una gestión más eficiente y rentable de los proyectos facilitando la colaboración y el intercambio de información.

En este trabajo se realiza el modelado BIM de un edificio sostenible, de manera colaborativa mediante el software Revit de Autodesk, y se lleva a cabo el diseño y cálculo de la instalación fotovoltaica aplicando tecnología OpenBIM.

PALABRAS CLAVE:

BIM, construcción sostenible, Revit, CYPELEC PV, Interoperabilidad, OpenBIM.

ABSTRACT:

The impact of climate change represents a great threat to our well-being and the health of the planet. The need to create a more sustainable and liveable world is undeniable and requires urgent attention.

Today, project management is experiencing a new approach based on smart planning, sustainable design and the circular economy. This approach seeks to reduce energy consumption and pollution. In this context, BIM methodology plays a key role in enabling more efficient and cost-effective project management by facilitating collaboration and information sharing.

In this work, the BIM modelling of a sustainable building is carried out in a collaborative way using Autodesk Revit software, and the design and calculation of the photovoltaic installation is carried out using OpenBIM technology.

KEYWORDS:

BIM, sustainable construction, Revit, CYPELEC PV, Interoperability, OpenBIM.



Universidad de Valladolid

Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Índice:

1.	Introducción y objetivos	13
2.	Metodología BIM.....	18
2.1	¿En qué consiste el proceso BIM?.....	20
2.2	Tecnología Open BIM.....	21
3.	Trabajo colaborativo	23
3.1	Flujo de trabajo colaborativo en CYPE.....	23
3.2	Flujo de trabajo colaborativo en REVIT.....	25
3.3	IFC e interoperabilidad entre Revit y CYPE	28
3.4	BIM Server Center	31
4.	Descripción del proyecto.....	36
4.1	Emplazamiento	36
4.2	Orientación del edificio.....	37
4.3	Descripción del edificio	39
4.4	Utilidad.....	40
4.5	Distribución	40
5.	Sostenibilidad	42
5.1	Concepto.....	42
5.2	Construcción sostenible	43
5.3	Economía circular	44
6.	Aplicación de medidas en materia de economía circular.....	50
6.1	Sistemas pasivos	50
6.2	Materiales empleados.....	50
6.3	Cubiertas ajardinadas y exteriores	52
6.4	Energía solar	54
6.5	Reaprovechamiento de agua	55
7.	Diseño de instalación solar fotovoltaica mediante CYPE	56
7.1	Energía solar fotovoltaica: funcionamiento y componentes.....	56
7.2	Software empleado.....	59
7.3	Predimensionamiento energético.....	61



7.3.1	Opciones Generales	61
7.3.2	Condiciones de cálculo	63
7.3.3	Biblioteca de elementos	65
7.3.4	Predimensionamiento	67
7.4	Modelado de la instalación	75
7.5	Cálculo de la instalación	81
7.6	Unifilar	88
8.	Presupuesto de instalación fotovoltaica.....	89
9.	Conclusiones.....	90
10.	Línea futura.....	91
11.	Bibliografía	92
12.	Anexos	95
12.1	Planos	95
12.2	Renderizados	96
12.3	Energía generada por el panel.....	98
12.4	Canalizaciones	99
12.5	Potencia instalada	100
12.6	Cálculos justificativos	101
12.7	Presupuesto	102



Índice de figuras:

Figura 1. Evolución de las emisiones del CO2 en el mundo. Fuente: epdata [2]	13
Figura 2. Anomalías anuales de temperatura mundiales 2022. Fuente: OMM	13
Figura 3. Incendios y hectáreas quemadas en España en 2022 respecto a la media 2006-2021. Fuente [4].....	14
Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Fuente: ONU	15
Figura 5. Mercado global PV en 2021.	16
Figura 6. Dimensiones BIM. Fuente: SalvaMoret.....	18
Figura 7. Colaboración BIM.....	19
Figura 8. Implantación uso de BIM mundialmente. Fuente: Google imágenes.....	19
Figura 9. Ciclo BIM.Fuente: Google imágenes.....	20
Figura 10. Flujo de trabajo Open BIM con aplicaciones CYPE [17]	24
Figura 11. Flujo de trabajo colaborativo en REVIT	26
Figura 12. Metodología de trabajo BIM	28
Figura 13. Interoperabilidad mediante formato IFC. Fuente: Guía de interoperabilidad CYPE-REVIT.....	29
Figura 14. Traspaso de entidades. Fuente: Guía de interoperabilidad CYPE-REVIT	30
Figura 15. Plugin Open BIM-Revit. Fuente: CYPE	31
Figura 16. Dónde encontrar PLUGIN en Revit.	32
Figura 17.....	33
Figura 18.Inicio de sesión en la plataforma BIMserver.center	34
Figura 19.Plataforma BIMserver.center.....	34
Figura 20.Situación. Fuente: Google maps	36
Figura 21. Parcela. Fuente: Google maps.	36
Figura 22. Estudio solar periodo de invierno modelado en Revit.	38
Figura 23. Estudio solar periodo de verano modelo en Revit.	38
Figura 24. Fuente: [24]	42
Figura 25. Economía Circular. Fuente: Noticias Parlamento Europeo.	45
Figura 26. Proceso en extinción de construcción. Fuente: CONAMA.....	46
Figura 27. Proceso actual y futuro de construcción. Fuente: COMANA.....	46
Figura 28.Sello BRREAM. Fuente: Google imágenes.....	47



Figura 29. Sello LEED. Fuente: Google imágenes.....	48
Figura 30.Sello VERDE. Fuente: Google imágenes.	48
Figura 31. Sello WELL. Fuente: Google imágenes.	49
Figura 32. Cubierta ajardinada edificio secundario.....	52
Figura 33. Planta de cubiertas	53
Figura 34. Beneficios cubierta ajardinada. FUENTE: Ángel Sánchez Inocencio (Cubierta ajardinada – Ángel Sánchez Inocencio (angelsinocencio.com)).....	53
Figura 35. Zonas verdes exteriores.....	54
Figura 36. Efecto fotoeléctrico. Fuente: CSIC.....	56
Figura 37. Partes de un panel solar [33].....	57
Figura 38. Esquema de configuración de instalación fotovoltaica. Fuente: Google imágenes.....	58
Figura 39. CYPELEC PV Systems. Fuente: CYPE.....	59
Figura 40. Barra de herramientas pestaña “Instalación fotovoltaica” de CYPELEC PV Systems.....	60
Figura 41. Barra de herramientas pestaña “Unifilar” de CYPELEC PV Systems.....	60
Figura 42. Barra de herramientas pestaña “Presupuesto” de CYPELEC PV Systems	60
Figura 43. Barra de herramientas en "Vistas".....	61
Figura 44. Configurar Opciones generales del proyecto.....	62
Figura 45. Configuración de Parámetros generales	62
Figura 46. Opción de potencia instalada.....	63
Figura 47. Condiciones de cálculo	63
Figura 48. Página PVGIS de descarga de datos mensuales de Irradiancia y Temperatura.	64
Figura 49. Datos importados de la irradiación diaria en Valladolid.....	64
Figura 50. Desglose de las pérdidas de potencia.....	65
Figura 51. Barra de herramientas "Bibliotecas de elementos".	65
Figura 52. Panel solar de Teluro de Cadmio. Fuente: First Solar.	66
Figura 53. Introducción de los datos del módulo fotovoltaico seleccionado.....	66
Figura 54. Inversor Symo 20.0-3-M. Fuente: Fronius.	67
Figura 55. Introducción de los datos del inversor.....	67



Figura 56. Barra de herramientas “predimensionamiento energético”	67
Figura 57. Ventana de ejemplo del Predimensionamiento energético. Fuente: CYPE.	68
Figura 58. PVGIS.....	69
Figura 59. Datos de producción para la localización de Valladolid	70
Figura 60. Formulación empleada para el cálculo de la producción.....	70
Figura 61. Consumo de potencia por horas del edificio.....	71
Figura 62. Costes.....	72
Figura 63. Costes de los términos de energía por franja horario.	72
Figura 64. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 10 paneles solares.	73
Figura 65. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 84 paneles solares	74
Figura 66. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 160 paneles solares.....	74
Figura 67. Balance total de costes	75
Figura 68. Introducción de elementos	75
Figura 69. Ventana de modulo fotovoltaico	76
Figura 70. Ventana de caja de conexión	76
Figura 71. Inversor y caja de conexión a red.....	77
Figura 72. Canalización entre placas solares	78
Figura 73. Distribución de los módulos solares y cableado exterior.	79
Figura 74. Agrupaciones de placas solares.....	79
Figura 75. Opciones de cálculo	81
Figura 76. Ventana obtenida de opciones de cálculo.	81
Figura 77. Instalación calculada, muestra señal de advertencia.	81
Figura 78. Comprobaciones del inversor.....	82
Figura 79.....	82
Figura 80. Resultados obtenidos para el panel sombreado en azul	83
Figura 81.....	84
Figura 82. Pérdidas por sombra de un panel.....	84



Figura 83. Pérdidas por orientación e inclinación.	85
Figura 84. Módulo con un FS=0.98.	85
Figura 85. Perfil de sombras para un FS=0.98.....	86
Figura 86. Pérdidas por orientación e inclinación con FS=0.98.....	86
Figura 87. Barra de herramientas, “Listado” para obtener los cálculos deseados.	87
Figura 88. Unifilar.	88
Figura 89. Pestaña presupuesto.	89
Figura 90. Esquema del presupuesto.	89



Universidad de Valladolid

Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid

Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

1. Introducción y objetivos

La necesidad de hacer un mundo más sostenible y habitable es un asunto muy importante que es necesario abordar hoy en día. El cambio climático amenaza cada vez más nuestro bienestar y la salud del planeta, lo que constituye un gran peligro.

El ser humano es el principal motor del cambio climático. La quema de combustibles fósiles genera gases de efecto invernadero, como por ejemplo el dióxido de carbono o el metano. Según los datos ambientales aportados por la ONU, las emisiones siguen aumentando y han provocado que la temperatura de la Tierra sea ahora 1.1 °C mayor que a finales del siglo XIX y, a juzgar por la trayectoria actual de las emisiones de CO₂, las temperaturas globales podrían aumentar 4.4 °C para finales de siglo [1].



Figura 1. Evolución de las emisiones del CO₂ en el mundo. Fuente: epdata [2]

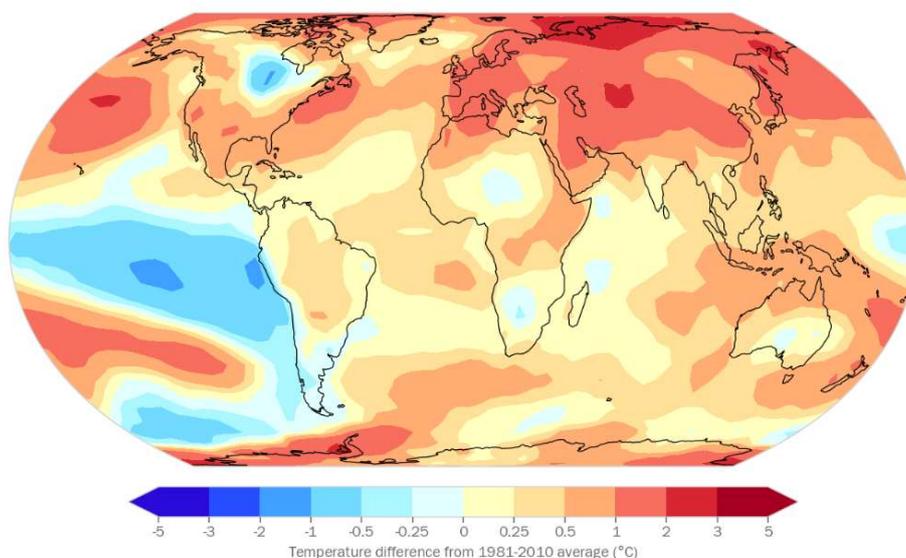


Figura 2. Anomalías anuales de temperatura mundiales 2022. Fuente: OMM

Las consecuencias del cambio climático generan graves impactos de los cuales algunos serán irreversibles. Varios de ellos ya se están viviendo y son, entre otros, graves incendios, escasez de agua, sequías intensas, inundaciones, aumento del nivel del mar, deshielo de los polos o la disminución de la biodiversidad [2].

En España, este año, la temporada de incendios ha sido la peor del siglo debido a que cada vez hay más olas de calor. El fuego ha arrasado más de 200.000 hectáreas de bosque y toda su biodiversidad [3].

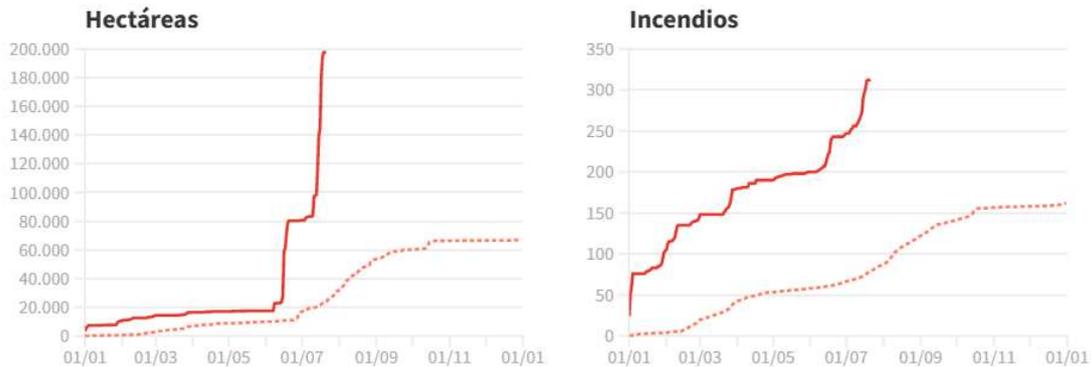


Figura 3. Incendios y hectáreas quemadas en España en 2022 respecto a la media 2006-2021. Fuente [4]

Los científicos apuntan a que el cambio climático está interrelacionado con varias tendencias globales, como el consumo insostenible de recursos naturales, el aumento de la edificación, la desigualdad social, los daños causados por eventos extremos y pandemias, lo que supone una amenaza del desarrollo futuro [4].

En los últimos años, la población ha comenzado a tener conciencia medioambiental sobre el agotamiento de recursos y las graves consecuencias que se están viviendo. Por ello se ha comenzado a proponer posibles soluciones que mejoren esta situación y a promover la economía circular y la sostenibilidad como estilo de vida.

Es una emergencia global que requiere cooperación y soluciones internacionales, para ello los líderes mundiales se reunieron en la Conferencia de Cambio Climático de la ONU (COP21) en París donde se propuso el Acuerdo de París, que fue firmado por 195 países.

Este acuerdo, con objetivos a largo plazo, propone reducir las emisiones de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 grados [5].

Además, en el año 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en los que se ha fijado un rumbo global de transformación económica y social [6].



Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Fuente: ONU

En España se cuenta con una Ley de Transición Energética y Cambio Climático, cuya principal meta es neutralizar las emisiones en 2050.

Se espera que un 74% de la electricidad se genere de fuentes renovables, Además, según el último informe Nacional de Emisiones a la Atmósfera, en 2020 se ha disminuido la contaminación un 12,5% [7].

A esta reducción en las emisiones ha ayudado el auge de las energías renovables, que han aportado el 44% de la electricidad generada en España en 2020. Por esta razón se considera que la transición hacia fuentes de energía limpias es el modelo más lógico para reducir las emisiones.

Durante el año 2021, en España, se siguieron batiendo récords en el sector de la energía fotovoltaica. Según los datos de la UNEF, la capacidad instalada de plantas solares alcanzó los 3,5 GWp, un 21% mayor frente al año anterior, y también aumento el autoconsumo un 102% respecto al 2020. La UNEF destaca que con estos datos se establecen las bases para el cumplimiento de los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) para 2030 [8].

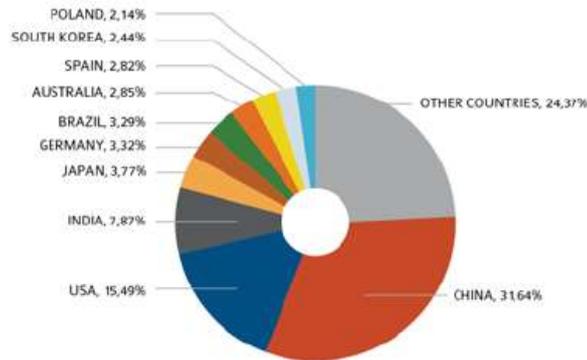
A nivel mundial, según el informe 'Tendencias en las aplicaciones fotovoltaicas 2022' publicado por El Programa de Sistemas de Energías Fotovoltaicas de la Agencia Internacional de la Energía (IEA-PVPS), la capacidad fotovoltaica global evito 1,060 millones de toneladas de CO2 anualmente, que equivale al 3% de las emisiones mundiales del consumo anual, llegando a las 33 Gt en 2021. Es por esto que, la energía fotovoltaica se ha convertido en una fuente de energía para la descarbonización [9].

La transición fotovoltaica se está extendiendo por todos los continentes

GLOBAL PV MARKET IN 2021



PVPS



SOURCE IEA PVPS, RTS CORPORATION

Figura 5. Mercado global PV en 2021.

Además, la Comisión Europea, está respaldando una nueva Alianza de la Industria Solar Fotovoltaica. Una iniciativa concreta de la Estrategia de Energía Solar de la UE, adoptada como parte del Plan REPowerEU, que ayudará a alcanzar más de 320 GW de capacidad solar fotovoltaica instalada para el 2025, y casi 600 GW para 2030 [10].

Las ciudades también están aportando soluciones para la acción climática, como la construcción de edificios verdes, o como los sistemas de transporte sostenibles que conectan las zonas urbanas y rurales.

Se sabe que la industria de la edificación consume un 50% de la energía y 75% de la electricidad. Además, es el principal consumidor de materias primas [11].

Es la actualidad se le está dando un nuevo enfoque a la gestión de proyectos. La planificación inteligente y el diseño sostenible ayudarían a reducir el consumo energético y la contaminación, dando paso al concepto de Construcción 4.0 un potencial digital cuya función principal es la mejora de los tiempos y el uso eficiente de los recursos.

Aquí también entra en juego la tecnología BIM, que es una herramienta clave que permite gestionar un proyecto de una forma más sostenible, eficiente y rentable.

Con el hecho de promover y fomentar la ejecución de proyectos sostenibles y la transición hacia energías limpias que permitan frenar el cambio climático.



OBJETIVOS:

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es diseñar un edificio académico fundando sus bases en la sostenibilidad y la economía circular.

Dicho edificio industrial será destinado a uso universitario, en el que los alumnos puedan participar, exponer y desarrollar diversas actividades relacionadas con el desarrollo de mejoras contra el cambio climático. También incluirá un pequeño museo donde los propios alumnos puedan mostrar al resto de compañeros sus propios trabajos realizadas dentro de la universidad.

Para cumplir con el objetivo principal se han marcado diferentes objetivos específicos en el ámbito académico y objetivos sostenible y particulares.

OBJETIVOS ACADÉMICOS:

- Diseño colaborativo de un edificio académico sostenible.
- Colaboración en BIM en la etapa de diseño a través de Revit.
- Proceso OpenBIM mediante IFC: Interoperabilidad a través de BimServer.center.

OBJETIVOS SOSTENIBLES Y PARTICULARES:

- Aplicación de medidas en materia de ecodiseño y economía circular.
- Diseño y cálculo de la instalación fotovoltaica mediante el software CYPELEC PV System, promoviendo una vez más la sostenibilidad y el uso de energías renovables y limpias.

2. Metodología BIM

BIM “Building Information Model” se define como una metodología de trabajo colaborativo que sirve para la concepción y gestión de proyectos en construcción. Su objetivo principal es centralizar toda la información del proyecto en un único modelo de información digital creado por todos los agentes implicados.

BIM contienen siete niveles de información de un modelo: geométrico (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambientales (6D) y de mantenimiento (7D). Además de estos siete niveles, ahora hay un debate abierto sobre tres nuevas dimensiones: seguridad (8D), construcción sin pérdidas (9D) e industrialización de la construcción (10D) [12].

Esto ha supuesto una evolución de los sistemas de diseño tradicionales. Por eso su uso va más allá de las fases de diseño, ya que implica desde la ejecución del proyecto y se extiende durante todo el ciclo de vida del edificio, lo que posibilita la gestión de este con una reducción del coste de operación [13].

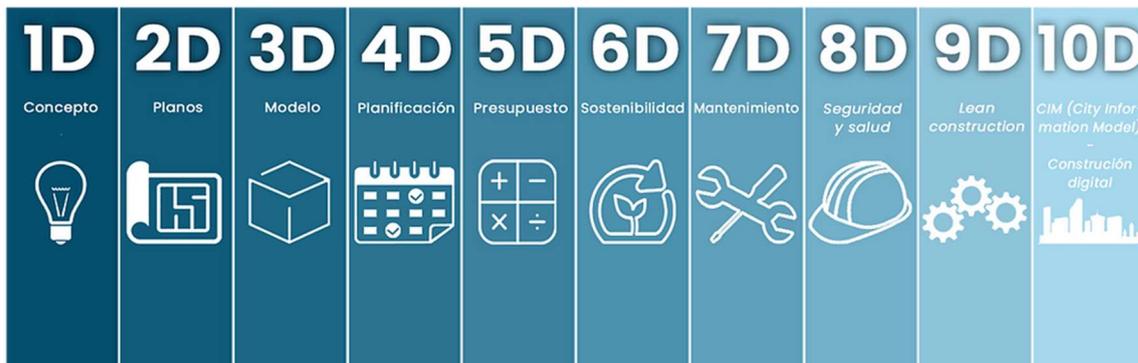


Figura 6. Dimensiones BIM. Fuente: SalvaMoret.

Principalmente se usa para crear y administrar datos durante el proceso de diseño, construcción y operaciones. Es capaz de crear representaciones digitales detalladas ya que integra datos multidisciplinares que se comparten en tiempo real en una nube con un fin colaborativo. Esto permite una mejora en la toma de decisiones, opciones más sostenibles y un ahorro en los costes [14].

Por lo tanto, la definición de BIM abarca tres aspectos interconectados:

- 1- Existe un “modelo” que representa las características físicas y funcionales del proyecto.
- 2- Hay un proceso de desarrollo en que se le introduce toda la información a lo largo de la vida útil de la construcción.
- 3- Un entorno interdisciplinario que requiere la coordinación de diferentes áreas de proyecto.



Figura 7. Colaboración BIM

Esta metodología se ha ido implantando de forma progresiva en diversos países durante la última década. Su utilización persigue principalmente un incremento de la eficacia en la inversión pública por ello su uso se ha vuelto objetivo prioritario en algunas de sus Administraciones Públicas. Esto es debido a que usa estándares abiertos, como el IFC, que sirve como formato de intercambio de datos basándose en la NORMA ISO 161739:2013.

En Europa, a la cabeza están Inglaterra y los Países Escandinavos que fueron los primeros países en implantar BIM en sus territorios. En España desde el año 2018 es obligatorio su uso en obras públicas. Por último, Alemania, Francia e Italia han implementado su uso a lo largo del año 2022.

En Sudamérica esta metodología llegó más tarde, pero ya está implementada en Colombia, Perú, Chile, Venezuela Ecuador, Costa Rica, Argentina, Brasil y México.

Estados Unidos son los pioneros y creadores de esta metodología por lo que está muy desarrollado, igualmente pasa en Canadá o en Australia [15].



Figura 8. Implantación uso de BIM mundialmente. Fuente: Google imágenes

2.1 ¿En qué consiste el proceso BIM?

El proceso BIM permite crear datos inteligentes que se pueden utilizar durante todo el ciclo de vida de un proyecto. Se caracteriza por cuatro fases:

1. Planificación: se generan modelos en una realidad virtual del entorno construido y natural mediante una combinación de datos y herramientas de captura del mundo real.
2. Diseño: se analiza y se detalla el diseño conceptual, así como la documentación del proyecto. En esta fase se comienza a usar datos BIM para orientar al personal de programación y logística.
3. Construcción: en esta fase el equipo de fabricación utiliza los datos de especificaciones obtenidos en BIM. A su vez estos datos son compartidos con los contratistas para garantizar el cumplimiento de plazos.
4. Operaciones: Una vez finalizado el proyecto los datos de BIM son transferidos al equipo de operaciones y mantenimiento lo que permite que en un futuro se pueda realizar una rehabilitación o desmontar una construcción de forma eficiente y sostenible [14].



Figura 9. Ciclo BIM. Fuente: Google imágenes.



2.2 Tecnología Open BIM

Según la buildingSMART Open BIM “es un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos”.

Cabe destacar varios aspectos por los que este es importante.

En primer lugar, nos ofrece un flujo de trabajo transparente y abierto permitiendo la participación de los agentes implicados en el proyecto, indistintamente de las herramientas de software empleado. Permite flujos de trabajo digitales basados en formatos neutrales del proveedor como IFC, BCF, COBie, CityGML, gbXML, etc.

Se caracteriza por tener un lenguaje común para procesos generalizados. De este modo, se pueden obtener proyectos comercialmente transparentes en el que se asegura una calidad de los datos y una mejor evaluación comparativa.

Open BIM es capaz de proporcionar datos perdurables que se pueden utilizar durante todo el ciclo de vida del proyecto, por lo que se evitan entradas de los mismos datos y se evitan errores posteriores.

Los proveedores de software tanto de compañías grandes como pequeñas pueden participar y competir con sistemas independientes, de esta manera se puede ofrecer al cliente la mejor solución posible.

Open BIM brinda una gran oferta online de productos, los propios usuarios pueden explorar más soluciones de acuerdo con sus necesidades y obtener un producto orientado directamente para BIM.

Por último, permite la creación de un gemelo digital proporcionando la base central de una estrategia de datos a largo plazo para los activos construidos.

OpenBIM amplía los beneficios de BIM ya que mejora la accesibilidad, usabilidad, gestión y sostenibilidad de los datos digitales en la industria. Además, facilita la interoperabilidad para beneficiar a proyectos y activos a lo largo de su ciclo de vida.

Los principios de OpenBIM garantizan que:

1. La interoperabilidad es clave para asegurar la transformación digital en la industria de activos construidos.
2. Deben crearse normas abiertas para facilitar dicha interoperabilidad.
3. El intercambio de datos fiables depende de puntos de referencia de calidad independientes.
4. Con formatos de datos abiertos y ágiles se ven mejorados los flujos de trabajo colaborativos.
5. La flexibilidad a la hora de seleccionar una tecnología crea un mayor valor para todas las partes interesadas.



6. Se garantiza la sostenibilidad por estándares de datos interoperables a largo plazo.

Para la industria de activos construidos los beneficios obtenidos son múltiples entre ellos algunos son:

- Mejora la colaboración para la entrega de los proyectos
- Mejora la gestión de los activos
- Tener acceso en todo momento a los datos BIM creados desde el diseño durante todo el ciclo de vida.
- Creación de un lenguaje común basándose en los estándares internacionales.
- Facilita un entorno de datos comunes facilitando a los usuarios crear nuevos flujos de trabajo.
- Permite un gemelo digital accesible que permite ser la base central de datos a largo plazo [13].



3. Trabajo colaborativo

3.1 Flujo de trabajo colaborativo en CYPE

La primera intención para trabajar colaborativamente con metodología BIM fue utilizar el software CYPE Architecture como plataforma de desarrollo del proyecto.

En un primer momento parecía buena idea dado que a través de CYPE se pueden realizar proyectos completos. Principalmente se caracteriza por tener una amplia gama de programas, desde el diseño y cálculo de estructuras, como de instalaciones, así como el cálculo de residuos generados a lo largo de todo el proyecto, y esto son solo unos pocos ejemplos.

Además, según la plataforma CYPE: “Mediante la tecnología Open BIM es posible implantar un flujo de trabajo colaborativo, multidisciplinar y multiusuario que permite el desarrollo de proyectos de forma abierta, coordinada y simultánea entre los distintos técnicos o agentes intervinientes. En dicho flujo de trabajo, propuesto por CYPE, el proyecto se resuelve de forma iterativa mediante la resolución progresiva de sus diferentes aspectos o componentes” [16].

Tras varios intentos de sincronizar el trabajo en curso, se investigó más profundamente sobre el modo exacto de colaboración de esta plataforma.

CYPE trabaja con modelos IFC (Industry Foundation Classes), son formatos de intercambio estándar abiertos y públicos. De esta forma el contenido del proyecto BIM no se vincula concretamente a un programa o aplicación. Además, este formato de intercambio tiene la ventaja de que las aplicaciones específicas que han sido utilizadas durante la resolución de todo el proyecto (estructura, saneamiento, instalaciones, etc.) no tienen por qué estar vinculadas a un único fabricante de software.

Las etapas seguidas en este flujo de trabajo son:

- Creación e inicio del modelo 3D BIM
- Uso de aplicaciones especializadas para la resolución del proyecto
- Actualización del modelo
- Exportación de ficheros IFC al proyecto BIM
- Consolidación del modelo BIM

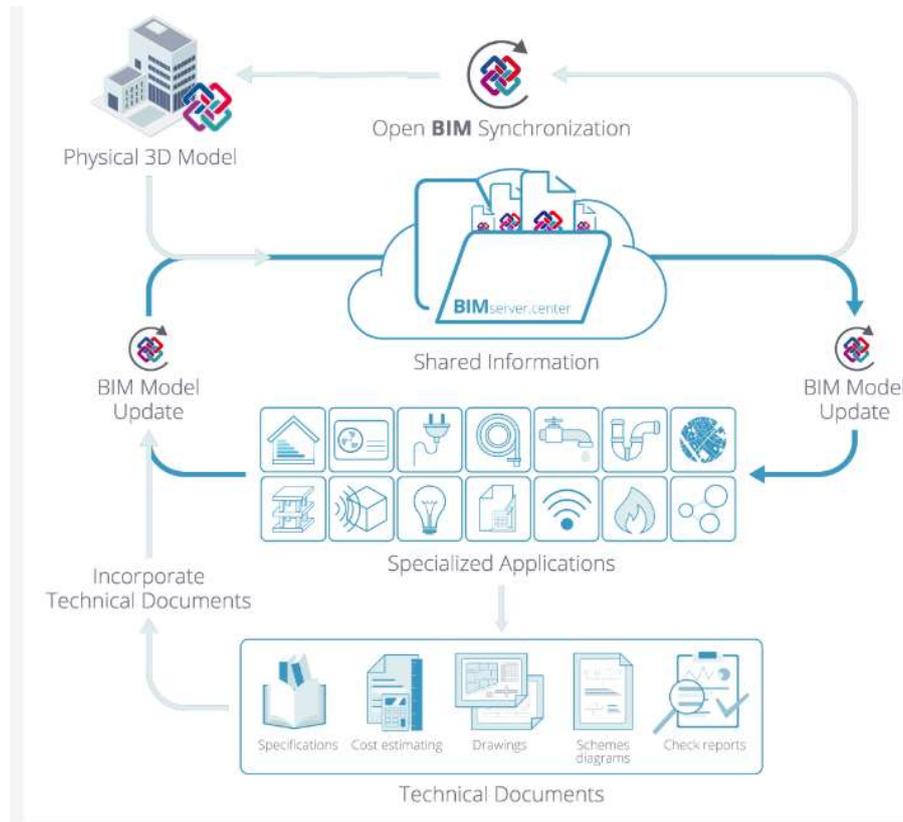


Figura 10. Flujo de trabajo Open BIM con aplicaciones CYPE [17]

Debido a la reciente aparición de parte del software necesario para la creación del modelo, se necesitó contactar en varias ocasiones con el soporte técnico de CYPE. Nos informaron de que no era factible establecer la colaboración dentro de un mismo modelo creado con el programa de diseño “Architecture”, ya que en el flujo de trabajo cada agente es único responsable de su fichero. Asimismo, se debía tener en cuenta que en el flujo de trabajo hay información nativa que se queda en el disco local y no viajaría a la nube.

Finalmente, tras los inconvenientes iniciales, se consideró que aquel no era el modo correcto de trabajo colaborativa que estábamos buscando para desarrollar este TFG. Se optó por trabajar con Revit en la fase de diseño 3D mediante las opciones de colaboración que nos ofrecía el programa Revit y, posteriormente, continuar con la fase específica de otras dimensiones BIM mediante la tecnología OpenBIM.



3.2 Flujo de trabajo colaborativo en REVIT

REVIT, siguiendo la metodología BIM, busca la colaboración entre los participantes de un proyecto.

Es muy común trabajar en proyectos donde intervienen al mismo tiempo agentes de diferentes campos, como arquitectos, ingenieros, instaladores o constructores. Por esta razón, hay que definir de una forma clara y concisa cómo va a ser el flujo de trabajo para mejorar la coordinación entre los participantes.

En primer lugar, se ha de saber que en un proyecto colaborativo se trabaja a través de un archivo central. Este estará ubicado en la nube compartida y será accesible para cualquier agente del equipo.

Un archivo central es un archivo que contiene la versión más actualizada del proyecto y que incluirá toda la información a medida que avance el proyecto. Además, como ya he dicho anteriormente, está ubicado en la nube o en un servidor, siendo así el enlace entre todos los miembros del equipo.

CREACIÓN DEL ARCHIVO CENTRAL

Por lo tanto, el primer paso para colaborar en Revit es la creación de un archivo central, para ello es necesario seguir una serie de instrucciones:

1. El coordinador del equipo, creará una carpeta propia del proyecto la nube y la compartirá con el resto de los miembros del equipo. Esta carpeta deberá tener el mismo nombre y estar ubicada en el disco local (C:) de todos los ordenadores.

2. Crear el archivo central. Este será generado por el coordinador a partir de un archivo cualquiera desde el que comenzará el proyecto. Para generar el archivo por primera vez, desde la pestaña “colaborar” se debe habilitar el trabajo colaborativo.

Colaborar > Colaborar > Guardar el modelo y continuar

Una vez hecho esto, el archivo se guardará en cualquier sitio, y acto seguido, se abrirá un cuadro “Colaborar” donde se pedirá que se seleccione la opción “Colaborar en la red” o “Colaborar en la nube”. En nuestro caso seleccionaremos “Colaborar en la red” y elegiremos la ubicación para guardar el archivo del que, más adelante, se obtendrá el archivo central.

3. Hay que definir un subproyecto, para ello se accede a la pestaña “Subproyecto” donde se abre otro cuadro con dos subproyectos que crea REVIT por defecto. Aceptaremos para continuar. De esta manera el proyecto ya es un “archivo central” y está preparado para compartirlo con el resto del equipo.

4. Para guardarlo debemos ir a “guardar como” “Proyecto”. En el cuadro de diálogo que nos aparece deberemos seleccionar la carpeta compartida desde un principio (punto 1) y, además, también debemos fijarnos en que está marcada la

opción “convertir en modelo central después de guardar”, lo que nos permite verificar que el archivo sí se convertirá en archivo central.

5. Este archivo creado será se ubicará permanentemente en la nube y no se podrá modificar ni volver a guardar.

Una vez creado el archivo central, el siguiente paso es crear un archivo local a partir de él, uno por cada miembro del equipo.

Un archivo local es donde trabajará cada miembro del equipo. Son copias del archivo central y, por lo tanto, contienen la misma información que el modelo central. Se debe de ir sincronizando con el archivo central a medida que se vaya trabajando para dejar constancia de nuestras intervenciones en el proyecto, así como actualizar el trabajo del resto de profesionales.

CREACIÓN DEL ARCHIVO LOCAL

Para crear el archivo local se debe abrir REVIT y desde ahí abrir el archivo central. Antes de abrirlo hay que asegurarse que está seleccionada la opción “Crear nuevo archivo local”. Este archivo será guardado en el ordenador de cada miembro en la ubicación que se quiera, pero no en Dropbox. Este archivo guardado ya será local.

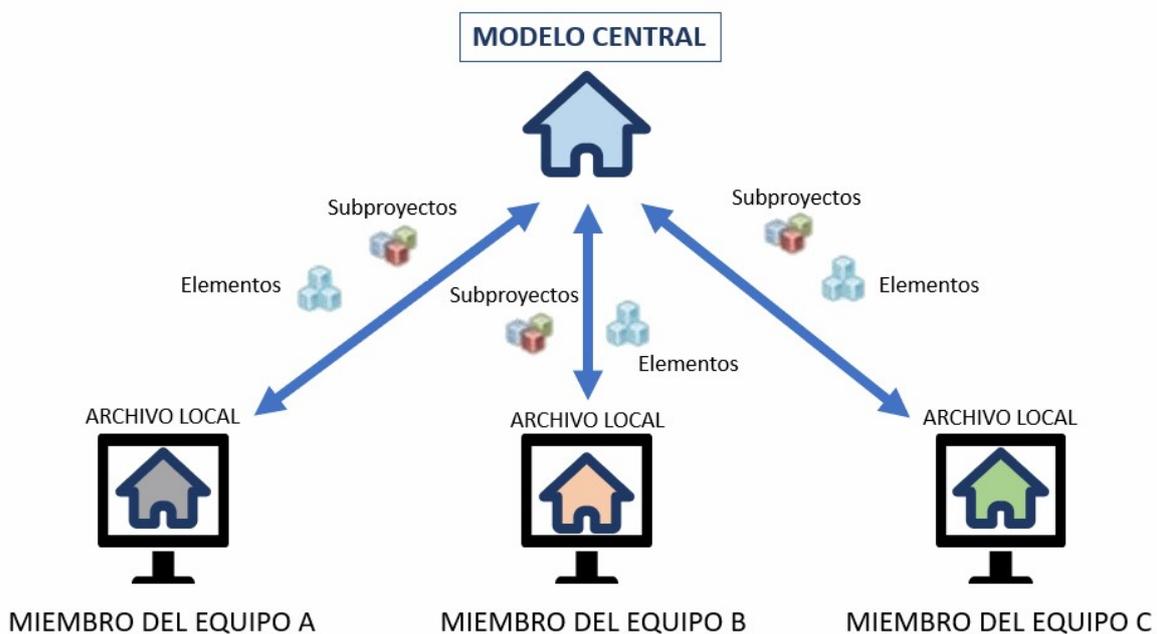


Figura 11. Flujo de trabajo colaborativo en REVIT



FLUJO DE TRABAJO COLABORATIVO

Una vez creada la copia local ya se puede trabajar de forma independiente, pero colaborando con el resto del equipo. Para que esta forma de trabajo fluya de manera correcta hay que prestar atención a la forma de guardar este archivo.

Cada vez que un miembro del equipo abra su copia local, lo primero que ha de hacer es sincronizar su copia con el modelo central. Para ello dentro de la pestaña “Colaborar” se encuentra el botón de “Sincronizar” y “Sincronizar ahora”. De esta forma se visualizará, en casa de que los haya, los cambios realizados por los otros agentes.

Después de sincronizar el modelo se puede trabajar y modificar la copia local. Al terminar, se debe dar a “Guardar” y nuevamente a “Sincronizar” para que los cambios realizados queden reflejados en la copia central.

Por lo tanto, el flujo de trabajo es el siguiente:

Abrir desde REVIT la copia local > Sincronizar > Trabajar > Guardar > Sincronizar

[17] [18].

3.3 IFC e interoperabilidad entre Revit y CYPE

Un modelo IFC (Industry Foundation Classes) es un formato de archivo basado en objetos, desarrollado por buildingSMART Internacional. Su principal objetivo es facilitar la interoperabilidad dentro del sector de la construcción y es empleado en proyectos basados en BIM. Permite el intercambio de un modelo informativo sin pérdida de datos.

Como ya se ha explicado anteriormente, en la fase de proyecto y ejecución de un edificio participan diversos profesionales y es importante el intercambio correcto de información para poder colaborar de forma eficaz. Para que esto sea posible es necesario un formato estándar que permita el intercambio de datos de forma segura sin pérdida de información y sin errores. Es esta entonces la finalidad del formato IFC y del modelo IFC [19].

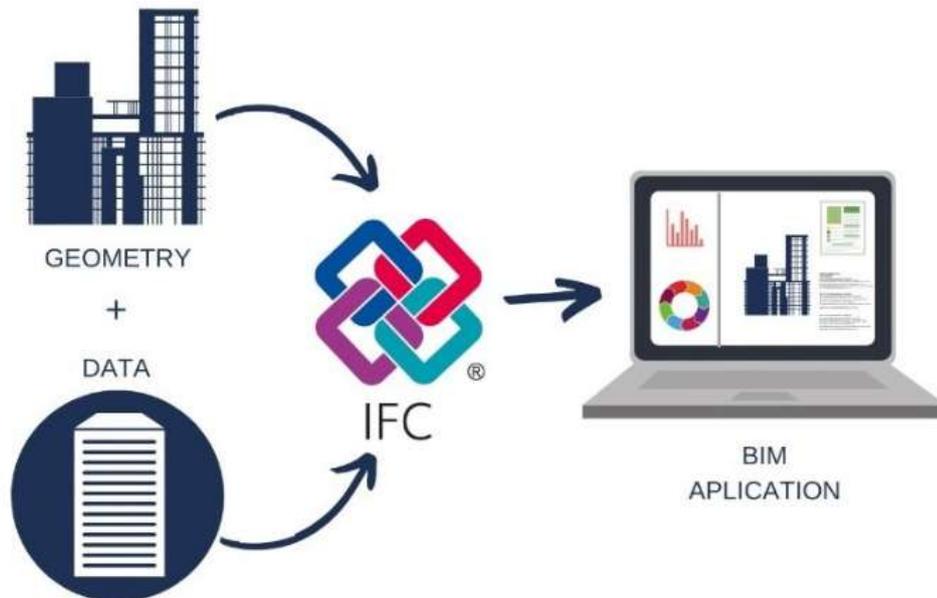


Figura 12. Metodología de trabajo BIM

La comunicación de información óptima entre el modelado Revit y programas técnicos de CYPE está basada en el formato IFC.

IFC es un formato neutro de intercambio de datos abiertos y de libre acceso que permite el intercambio de información de modelos entre aplicaciones de distintas casas comerciales, en este caso, Revit y CYPE.



Figura 13. Interoperabilidad mediante formato IFC. Fuente: Guía de interoperabilidad CYPE-REVIT

Este intercambio de información implica un flujo de trabajo Open BIM cumpliendo la norma ISO 16739:2013.

La versión más actual es el IFC 4, utiliza un sistema estandarizado que agrupa sus entidades geométricas con información en Clases y Tipos. Las Clases son una agrupación genérica de los elementos (techos, paredes, suelos, etc) y los Tipos son una agrupación específica dentro de las Clases que distingue entre sus componentes individuales (distingue, por ejemplo, un tipo en concreto de viga).

Este sistema estandarizado de Clases y Tipos es imprescindible durante la importación de un IFC ya que es la forma con la que los programas pueden encontrar las entidades necesarias.

Un IFC de Revit se caracteriza porque tiene 3 tipos de elementos que es capaz de exportar según la operación geométrica con la que han sido generados:

1. Extrusiones
2. Barridos
3. B-rep (“Boundary Representation”) o modelos de superficies delimitantes.

Estas tres entidades se representan correctamente en el espacio tridimensional del IFC pero hay que tener en cuenta que cada elemento tendrá su clase y tipo de IFC independientemente de su origen geométrico.

No obstante, hay que tener en consideración las propias reglas de generación geométrica que tenga cada software. En general, la definición geométrica cuanto más sencilla sea mayor es la posibilidad de ser reconocida por la otra aplicación. Lo más sencillo son las extrusiones simples y por el contrario los B-rep son las más complejas.

Revit por defecto generará todas las entidades posibles como extrusiones simples, y en caso de que sea imposible la definición geométrica se exportará como barrido o B-rep.

Es por todo esto que tiene especial importancia la manera en la que se modela en Revit, ya que si se consigue una exportación total como extrusión simple contribuirá a un buen enlace con otras aplicaciones de CYPE.

Para realizar una exportación de datos Revit-IFC-CYPE con éxito lo más importante a tener en cuenta es la optimización de información. Para ello hay que tener en cuenta dos cosas:

1. Lo más seguro es exportar modelos sencillos, que contengan los elementos básicos más relevantes (muros, paredes, ventanas, etc.). Esto permite asegurar que la interoperabilidad será fluida.
2. Se debe elegir un método de trabajo donde las estructuras de las entidades sean parecidas a las estructuras de las aplicaciones. Esto es debido a que cada software tiene una estructura y lógica diferente. Revit es un programa bastante generalista y se pueden tomar diferentes caminos a la hora de hacer las cosas, pero hay otros programas que requieren mayor rigor ya que realizan cálculos complejos o necesitan una justificación bajo normativa.

Por último, CYPE tiene una gran variedad de programas, y todos ellos se pueden clasificar en dos grandes grupos, los que modelan con elementos arquitectónicos (CYPECAD MEP, IFC Builder) y los que no (CYPETHERM, CYPELEC PV, CYPELUX...). Hay que tener esto muy presente ya que la exportación a los primeros será mucho más compleja que a los segundos. En general, el modelado deberá de ser más riguroso cuantas más funcionalidades tenga la aplicación de CYPE para tener un IFC bien definido [20].

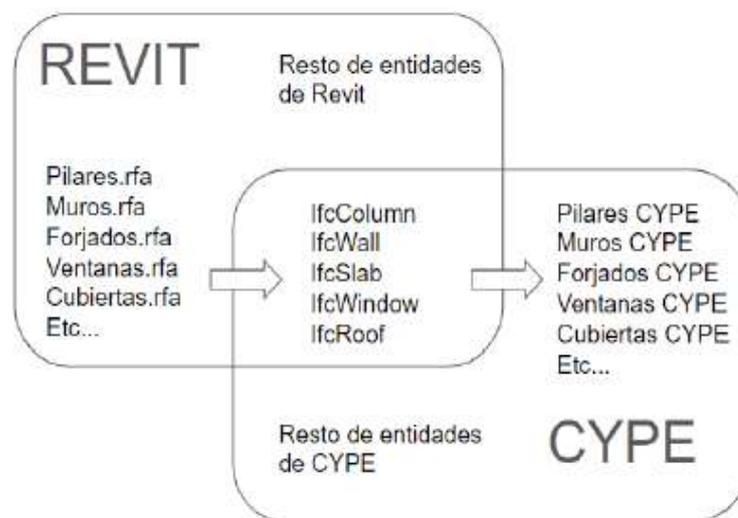


Figura 14. Traspaso de entidades. Fuente: Guía de interoperabilidad CYPE-REVIT

3.4 BIM Server Center

Una vez se tiene todo el edificio diseñado el siguiente paso es exportar su modelo IFC a la nube de BIMServer.center para posteriormente poder usar el software deseado de CYPE.

En primer lugar, BIMServer.center es una plataforma establecida para desarrollar y gestionar proyectos BIM interactuando con otros profesionales en tiempo real. Permite crear un proyecto, compartir archivos y analizar el progreso para conseguir las mejores soluciones del mercado.

Esta plataforma almacena todos los archivos en un servidor en la nube lo que hace que su accesibilidad sea muy sencilla para todos los agentes implicados. Se puede acceder desde cualquier navegador asegurando que se esté trabajando con la última versión. Además, si se es necesario, se puede tener acceso a copias de seguridad en el momento que se precise.

Desde BIMserver.center cada profesional se responsabiliza de su propia disciplina pudiendo emplear las herramientas que le ofrece BIM y, asimismo, podrá encontrar e invitar a otros profesionales a su equipo de trabajo en función de sus necesidades y experiencia.

Por último, cuenta con un sistema de notificaciones avanzado que permite mantener a los profesionales al día facilitando el flujo de trabajo colaborativo, multidisciplinar y multiusuario [21].

-SINCRONIZACIÓN-

Para realizar dicha sincronización con la nube se ha utilizado como herramienta el complemento PLUGIN Open BIM para Revit. Es de acceso libre siempre que se tenga licencia del propio Revit y es la mejor forma de exportar a IFC garantizando que la comunicación con los programas de CYPE será óptima.



Figura 15. Plugin Open BIM-Revit. Fuente: CYPE

Con el PLUGIN cualquier usuario de Revit es capaz de exportar el IFC de su proyecto dentro de la plataforma BIMserver.center ya que es un complemento que se encuentra integrado en Revit.

Sus principales características son las siguientes:

- Informa al usuario de las modificaciones que se hayan podido generar en los proyectos de otras disciplinas, permitiendo al usuario elegir si quiere o no actualizar la información. Si no tuviéramos este complemento la actualización de datos en Revit sería obligatoria.
- Es capaz de convertir los elementos IFC generados por otras aplicaciones integradas en BIMServer.center a elementos nativos de Revit. Para ello utiliza una tabla de mapeado que equipara la información que se ha sincronizado del proyecto Open BIM con parámetros del usuario.
- La exportación a IFC mediante este complemento permite optimizar automáticamente el fichero que se genera IFC [22].

Una vez instalado lo podremos encontrar en Revit en la ventana de complementos.

Complementos > Colaboración Open BIM > Colaborar en proyecto Open BIM

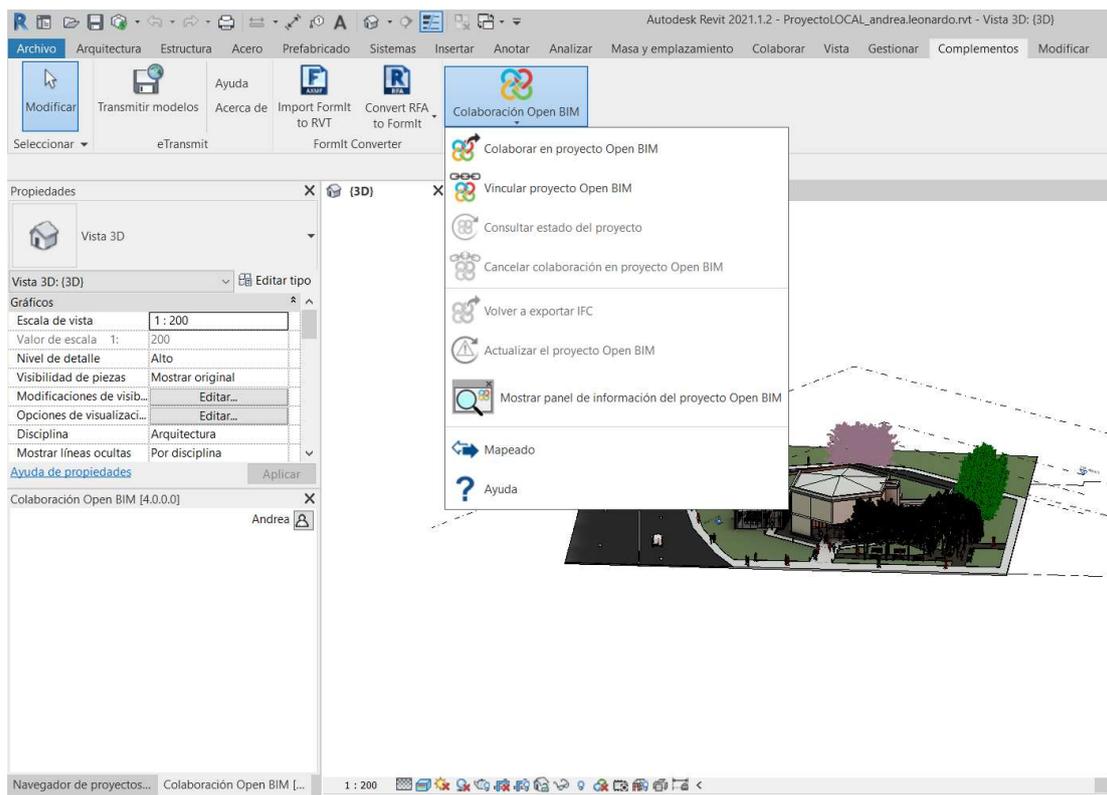


Figura 16. Dónde encontrar PLUGIN en Revit.

Pinchando sobre la pestaña 'Colaborar en proyecto Open BIM' aparecerá la siguiente ventana con dos opciones:



Figura 17.

1. Seleccionar proyecto. Si existe un proyecto creado previamente en la plataforma BIMServer.center donde se quiere exportar el IFC, se seleccionará de la lista de proyectos que aparecerá en un menú contextual.
2. Crear nuevo proyecto. En este caso queremos crear un proyecto en la plataforma directamente desde Revit.

En este caso, se creará un nuevo proyecto en la nube BIMServer.center. La ventaja de tener este complemento es que desde Revit se puede acceder de manera directa a esta plataforma, ya que se accede de forma directa a la siguiente ventana:

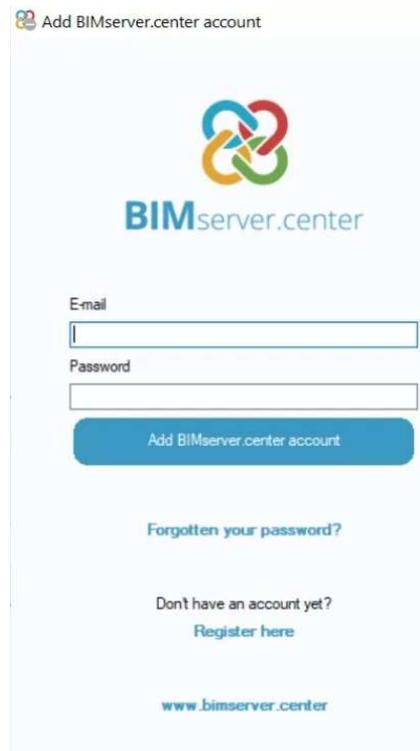


Figura 18. Inicio de sesión en la plataforma BIMserver.center

En ella debemos introducir nuestro usuario de BIMServer.center y nos llevará directamente a la plataforma donde podremos guardar nuestro proyecto.

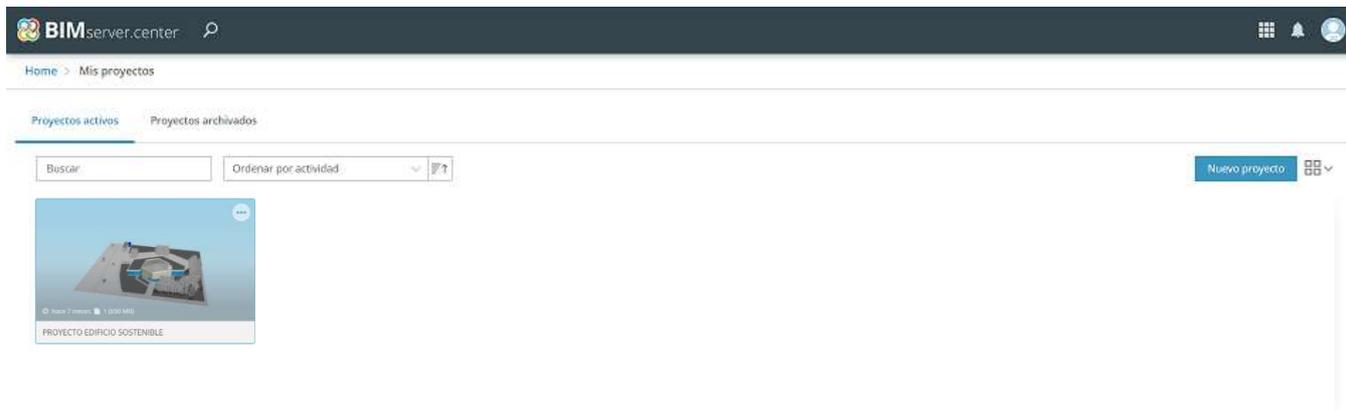


Figura 19. Plataforma BIMserver.center.



En resumen, los pasos a seguir son los siguientes:

Revit > Complementos > Colaborar en proyecto Open BIM (PLUGIN) > Crear proyecto nuevo > BIMServer.center

Una vez se tenga el modelo IFC exportado en la nube ya se podrá disponer del proyecto para seguir trabajando de forma colaborativa y, además, permitiendo la sincronización con otros IFC subidos al mismo proyecto desarrollados por otros miembros del equipo con cualquier herramienta de la plataforma CYPE.

Una vez sincronizado el archivo Revit con BIMserver.center se podrán seguir vinculando los archivos que se creen posteriormente.

Teniendo el archivo en la nube, ya podrá ser abierto en cualquier aplicación de CYPE para trabajar con él.

4. Descripción del proyecto

4.1 Emplazamiento

El edificio se ha diseñado para que este destinado al uso público y docente que dará servicio a la Universidad de Valladolid. Por esta razón estará ubicado en el Campus Universitario Miguel de Delibes.



Figura 20. Situación. Fuente: Google maps

La parcela seleccionada cuenta con una superficie total de 2.047,77 m².



Figura 21. Parcela. Fuente: Google maps.



Se ha optado por esta ubicación por varias razones. Principalmente porque el enfoque de este edificio es de uso universitario, y en este entorno, hay una proximidad muy cercana a otros edificios pertenecientes a la Universidad de Valladolid, en especial al Edificio Lucia, otro edificio sostenible y eficiente.

Otra de las razones de la elección de esta ubicación es debida a su facilidad de acceso. Cuenta con el servicio de autobús urbano de Valladolid, la línea 8, situada muy cerca del edificio.

4.2 Orientación del edificio

La orientación de un edificio es un factor clave de sostenibilidad energética y depende de la localización geográfica y de la climatología local. Este edificio está situado en Valladolid y la mejor opción es que la fachada principal este orientada hacia el Sur.

La orientación Sur tiene como ventaja principal tener la máxima captación solar de luz natural durante todo el año, a este concepto se le denomina asoleamiento y proviene del diseño bioclimático. Este se centra en el aprovechamiento de los recursos disponibles intentando reducir los consumos energéticos teniendo en cuenta las condiciones climáticas.

Enfocándonos en la localización geográfica y la climatología local, en Valladolid los inviernos son fríos y los veranos son cálidos. Esta orientación posibilita una reducción del consumo energético mediante el máximo aprovechamiento de la luz solar, reduciendo gastos en calefacción en invierno y de refrigeración en verano. Además, no solo es una cuestión energética, si no también, una cuestión de confort y calidad de vida ya que se ha demostrado que la captación solar influye en la salud de las personas.

Se ha realizado un estudio solar en Revit para comprobar que dicha orientación sea la más adecuada. Este nos permite simular el comportamiento del sol respecto a nuestro edificio durante todo el año. A continuación, se muestran varias imágenes donde se representa el recorrido del sol durante el invierno y el verano. En ambas la fachada orientada al sur tiene luz natural durante todo el día.

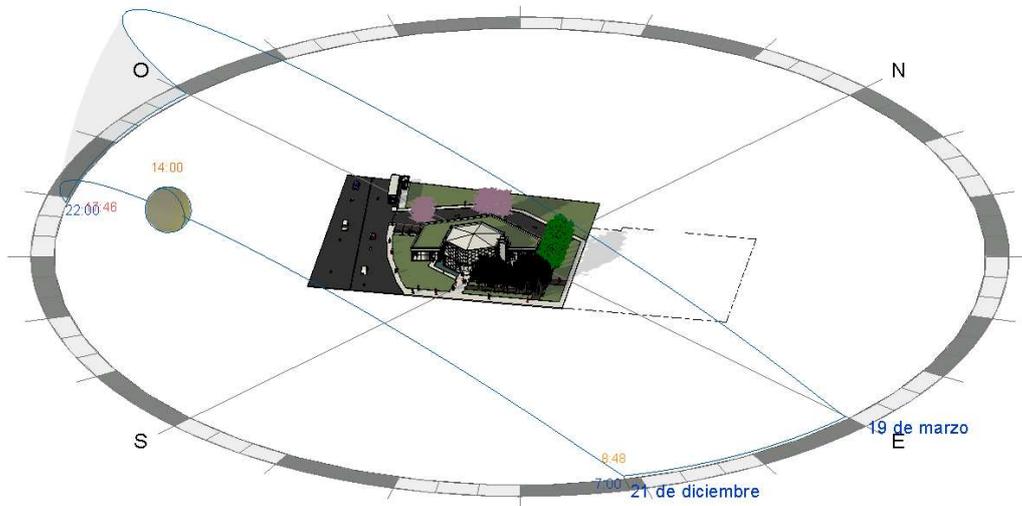


Figura 22. Estudio solar periodo de invierno modelado en Revit.

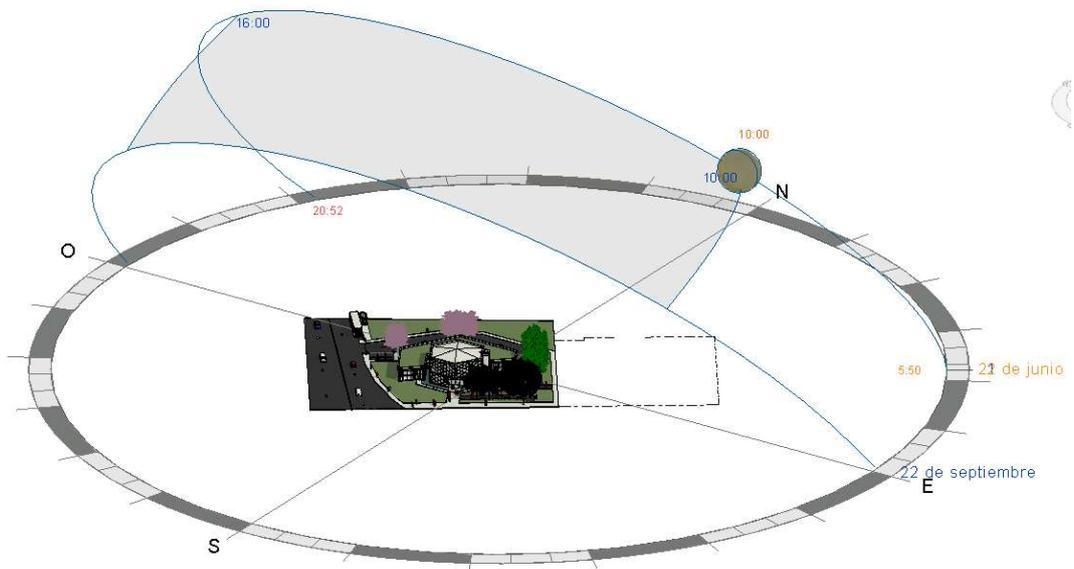


Figura 23. Estudio solar periodo de verano modelo en Revit.



4.3 Descripción del edificio

Este proyecto, como ya se ha comentado anteriormente, tiene como objetivo principal desarrollar un edificio sostenible cuyas bases principales estén fundadas en la economía circular y, además, sirva como ejemplo de edificación verde.

La naturaleza ha sido la mayor fuente de inspiración para el diseño. Su peculiar estructura en forma hexagonal se debe a querer simular un panel de abejas. Esto está basado en la biomímesis, un concepto muy arraigado a la edificación sostenible.

El edificio está compuesto por dos edificios independientes interconectados entre sí por medio de una pasarela. La diferenciación entre edificios es debida simplemente al uso para el que van a estar destinados cada uno.

El primer edificio o edificio principal, es el que tiene la forma hexagonal completa. Está destinado al uso público en general, sea universitarios o no, ya que su finalidad principal es la divulgación del desarrollo sostenible y promover la economía circular y las energías verdes. Consta de dos plantas, con una entrada principal y acceso para personas de movilidad reducida.

El segundo edificio, estará destinado únicamente al uso universitario, donde el alumnado pueda investigar y desarrollar nuevos materiales o productos sostenibles.

Este edificio sigue también la forma hexagonal, pero está cortado a la mitad abrazando al edificio principal. Cuenta con tan solo una planta, dos entradas principales y un acceso desde los aparcamientos. Todas las entradas tienen también acceso para personas con movilidad reducida.

Sobre este edificio secundario se encuentra la cubierta ajardinada sobre la que se instalará posteriormente la instalación fotovoltaica que dará soporte eléctrico a ambos edificios.

En la parte posterior del edificio se encuentra ubicado un parking privado para coches exclusivamente eléctricos, en concreto cuenta con 15 plazas y posee 5 puntos de recarga eléctrica. A su vez, también tiene un aparcamiento para bicicletas y una parada de autobús muy cercana.

Por último, todo el edificio se encuentra rodeado de césped, y en su parte lateral cuenta con un pequeño jardín con bancos a la sombra de los árboles. Una vez más logrando así el acercamiento a la naturaleza y la conservación de la biodiversidad de las especies de la zona.

4.4 Utilidad

El edificio está pensando para uso académico y este va a desarrollar las siguientes funciones:

- Promover y divulgar la necesidad del aplicar técnicas pensando en el desarrollo sostenible y la economía circular ya que cuenta con una sala donde poder impartir conferencias relacionadas con este ámbito.
- Apoyar al alumnado en sus proyectos e ideas sostenibles fomentando su desarrollo.
- Centro de exposiciones para mostrar nuevas propuestas innovadoras.
- Centro de creación de nuevas ideas en el aula y el laboratorio
- Centro de investigación.

4.5 Distribución

Como se ha explicado anteriormente, el edificio está distribuido en dos edificios independientes interconectados entre sí por una pasarela. El edificio principal está compuesto por dos plantas mientras que el secundario por una sola.

DISTRIBUCIÓN EDIFICIO PRINCIPAL

Este edificio será público. Está pensando para realizar exposiciones y conferencias relacionadas el ámbito sostenible.

La primera planta está distribuida en cuatro espacios:

- Recepción
- Museo, cuenta con un amplio espacio que se puede subdividir en varias salas para poder realizar distintas exposiciones a la vez
El museo cuenta con paneles correderos para poder hacer diferentes espacios y poder hacer distintas exposiciones en función de las necesidades.
- Sala de realidad virtual
- Zona de café y descanso

La segunda planta únicamente tendrá una amplia sala de conferencias.

- Sala de conferencias

DISTRIBUCION EDIFICIO SECUNDARIO

Este edificio cuenta con una única planta que está pensando para el uso universitario, donde se puedan investigar, crear y desarrollar nuevos elementos sostenibles.

- Aseo masculino



- Aseo femenino
- Aseo PMR
- Biblioteca
- Aula
- Taller
- Sala de ordenadores
- Mantenimiento
- Sala de ordenadores

5. Sostenibilidad

5.1 Concepto

Las Naciones Unidas la sostenibilidad como “aquello que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias” [23].

Este concepto ha ido evolucionando a lo largo de la historia, y hoy en día busca encontrar el equilibrio en varios ámbitos que deben complementarse para conseguir una completa sostenibilidad. Tiene en cuenta tres aspectos importantes que son el crecimiento económico, el cuidado medio ambiental y el bienestar social. Nace así el término llamado desarrollo sostenible que es el encargado de mantener el equilibrio entre estos tres factores como modo de progreso.



Figura 24. Fuente: [24]

La sostenibilidad ambiental es la más común ya que hoy en día se pone mucho ímpetu en tomar medidas contra el cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales. Busca preservar la biodiversidad sin poner en riesgo el progreso económico y social.

La sostenibilidad económica se centra en que las decisiones o medidas adoptadas de mejora en el ámbito social y ambiental sean rentables económicamente.

Por último, la sostenibilidad social busca la equidad de la población, su propia estabilidad y la distribución de la riqueza [25].

5.2 Construcción sostenible

Si ligamos el concepto de sostenibilidad al mundo de la edificación nace una nueva idea que se le conoce como construcción sostenible y es un término que se ha tenido muy presente a la hora de realizar este proyecto.

Si hubiera que dar una definición concreta de construcción sostenible sería algo así como aquella práctica que trata de crear estructuras a partir de procesos responsables con el medio ambiente y siendo eficientes en el uso de cualquier recurso implicado a lo largo de todo el ciclo de vida de un edificio, desde el inicio a fin de este, es decir, diseño, construcción, operación y hasta su propia deconstrucción.

Se sabe que la industria de la construcción es el consumidor de más del 30% de los recursos naturales y genera una cuarta parte de los residuos sólidos mundiales. Esta cifra podría aumentar al 50% si se tienen en cuenta las arenas o gravas que son extraídas para el uso en la construcción. También es uno de los principales sectores que contribuye al aumento de las emisiones globales ya que consume un 36% de la energía global y produce un 39% de emisiones de CO₂. Por todas estas razones la construcción ha tenido que dar un giro de 360 grados y orientar las nuevas edificaciones hacia la sostenibilidad fomentando iniciativas de construcciones ecológicas que mejoren la sostenibilidad global.

Hoy en día se están explorando nuevos métodos de construcción sostenibles que, como ya se ha dicho anteriormente, comienzan en la fase de diseño y siguen presentes durante toda su operabilidad y, algunos de ellos se presentan a continuación.

- Lean Construction. También es denominada construcción ajustada o sin pérdidas. Se trata de una estrategia colaborativa de ejecución de un proyecto donde todos los miembros trabajan juntos optimizando el proyecto y minimizando los residuos generados, logrando así, una eficiencia de los recursos.
- Construcción prefabricada, modular e industrializada. Analiza el diseño y la construcción de cara a su fabricación. Esto permite usar menos recursos naturales ya que optimiza el uso de materiales, así como reduce la contaminación.
- Materiales de construcción sostenibles. Este método aprecia la construcción sostenible a partir de materiales con bajo impacto material, no solo se centra en el propio material, sino también en la forma de obtención de este. Se busca trabajar con materiales que sean reciclables y que tengan mucha vida útil.
- Herramientas de reducción de carbono. Los materiales que se utilizan en las obras de construcción contribuyen perjudicialmente a las emisiones de

carbono. Con este método los fabricantes de materiales deberán analizar e indicar las emisiones que generan sus materiales e intentar mejorar la forma de producción para disminuir dicha huella.

- Construcción circular. Está directamente relacionado con el concepto de circularidad que se verá más adelante. Aborda la fase de diseño y construcción en la que se intenta reducir, reutilizar y reciclar todos los recursos. Incluso se tiene muy en cuenta que ocurrirá con los materiales después de su demolición, la forma en la que se desechan o se reutilizan.
- BIM. Usar esta metodología en la construcción aumenta la eficiencia, beneficiando a todas las fases del ciclo de vida del proyecto pudiendo reducir así el impacto ambiental.

[26]

5.3 Economía circular

En el Congreso Nacional del Medio Ambiente “COMANA” se definió la economía circular como un modelo económico que engloba varios aspectos:

- Satisfacer las necesidades requeridas minimizando la cantidad empleada de los recursos naturales que sean necesarios en ese momento.
- Escoger con inteligencia los recursos que se emplean, priorizando siempre que sea posible el uso de materiales reciclados y evitando la utilización de materias primas limitadas o no renovables.
- Gestionar eficientemente los recursos consumidos. Tratar de que los materiales se mantengan en buen estado o en recirculación el mayor tiempo posible en el sistema económico logrando así que los residuos generados sean mínimos y, además, abstenerse así del uso innecesario de recursos.
- Disminuir los impactos ambientales, asimismo, permite la restitución del medio y su regeneración [27].

En resumen, es un modelo económico más eficiente que busca reutilizar, reparar o reciclar los materiales tantas veces como sea posible, creando así valor añadido ya que prolonga el ciclo de vida de los productos.



Figura 25. Economía Circular. Fuente: Noticias Parlamento Europeo.

ECONOMÍA CIRCULAR EN LA EDIFICACIÓN

Como ya se ha dicho anteriormente, el sector de la construcción emplea muchos recursos naturales, generalmente no renovables, y es una fuente de emisiones contaminantes. Por estas razones es clave que este sector sufra una reconversión hacia una economía circular donde se reduzca el uso de recursos y mejore el sistema económico ya que sería menos dependiente y cuidaría del medio.

Lo que se ha venido haciendo a lo largo de la historia de la construcción es un proceso lineal. Inicialmente en la fase de producción se realiza la extracción de las materias primas con la que se fabrican los materiales. A continuación, sucede la propia construcción y después durante la fase de uso se produce el mantenimiento o rehabilitación. Por último, al final de la vida útil se gestionan los residuos de construcción y demolición (RCD) donde dichos materiales iniciales morían en un vertedero, prácticamente la recuperación de materiales o componentes era inexistente.

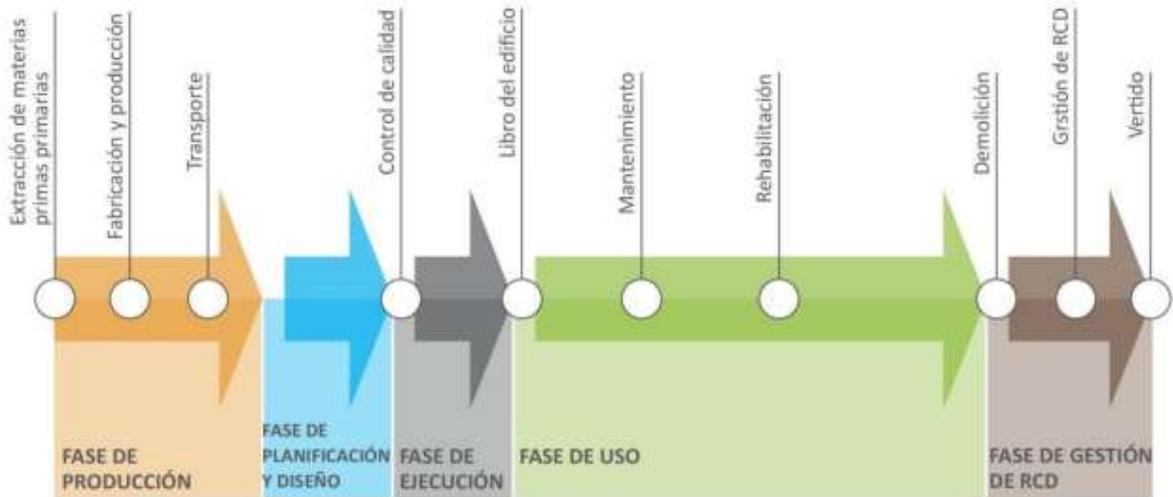


Figura 26. Proceso en extinción de construcción. Fuente: CONAMA.

Dando el nuevo enfoque hacia la economía circular a la hora de realizar un proyecto se logra que el ciclo de vida de los útiles se prolongue. En este caso los residuos no mueren en un vertedero, sino que, se reutilizan o se reciclan en su mayor medida.

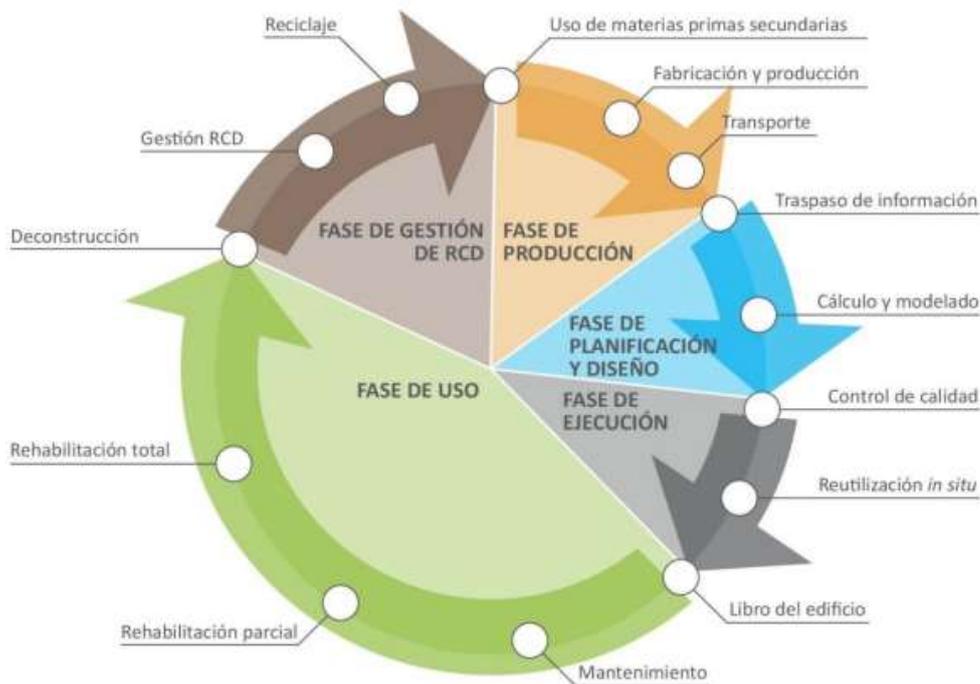


Figura 27. Proceso actual y futuro de construcción. Fuente: COMANA.

Además, en este nuevo modelo, el traspaso de información y colaboración entre los agentes implicados en cada fase de construcción es fundamental. Existen tecnologías en auge como BIM que facilitan dicha comunicación.

Se logra un alargamiento en la fase de uso gracias al mantenimiento donde se realizan pequeñas reparaciones, limpiezas, buen uso, etc. Asimismo, ahora hay dos fases de rehabilitación, parcial y total, donde se pueden mejorar diferentes zonas o rehabilitar completamente por cambio, o no, de uso.

[27]

CERTIFICADORES

En la actualidad, los edificios que son construidos mediante procesos basados en la economía circular pueden cuantificar cuanto de sostenibles son mediante sistemas de certificación reconocidos internacionalmente, lo que le darían mucho valor añadido al proyecto.

Los certificados ambientales o de sostenibilidad para edificios son sellos otorgados a construcciones que cumplen diferentes aspectos desde el punto de vista ambiental-energético. Estos sellos son concedidos por organismos internacionales imparciales que son los encargados de verificar que se cumplen las normas.

La obtención de estos certificados aumenta el valor en el mercado del edificio, tiene mayor reconocimiento y además incrementa el nivel de vida de los usuarios.

Algunos de estos certificados son:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology). Ha sido el primer sistema de certificaciones del mundo originado en Reino Unido, busca evaluar el rendimiento de los edificios empleando metodologías positivas que equilibren medio ambiente, sociedad y economía. Los criterios en los que se centra esta certificación son:

Eficiencia energética.
Salud y bienestar colectiva.
Innovación.
Uso responsable de los recursos naturales.
Cuidado de la contaminación.
Transporte eficiente.
Administración y reutilización de la basura.



Figura 28.Sello BRREAM. Fuente: Google imágenes

- LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental). Es uno de los más empleados a nivel mundial, actualmente se encuentra implementado en más de 160 países. Su modo de evaluación es mediante calificaciones, deben obtener un mínimo de 40 puntos para conseguirlo. Los parámetros que se emplean en esta certificación se muestran a continuación:

Desarrollo sostenible.
Materiales eficientes y de poco impacto.
Reducción del consumo de agua.
Eficiencia energética empleando energías renovables.
Confort y calidad ambiental en el interior.
Innovación y diseño.

Ubicación.



Figura 29. Sello LEED. Fuente: Google imágenes.

- VERDE (Valoración de Eficiencia de Referencia de Edificios). Este sello es originario de España y trata de evaluar la sostenibilidad a través del ciclo de vida del edificio basándose en las normas UNE 15643-2, UNE 15643-3 y UNE 15643-4. Esta certificación tiene en cuenta los siguientes factores:

Protección del medio ambiente
Calidad de vida social
Prosperidad económica
Recursos naturales
Calidad de atmósfera interior
Energía



Figura 30. Sello VERDE. Fuente: Google imágenes.

- WELL. Este es un sistema que está enfocado en la salud y el confort de los usuarios, se base en la identificación y medición de las características de los espacios y como estos pueden llegar a afectar en la salud de los usuarios.



Figura 31. Sello WELL. Fuente: Google imágenes.

[28]

Estos son solo unos ejemplos de los certificados ecológicos más importantes, lo que demuestra que hay muchas iniciativas en el sector de la construcción para disminuir el consumo energético, reducir la huella de carbono y ser responsables con el medio.

6. Aplicación de medidas en materia de economía circular

6.1 Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos tratan de aprovechar los recursos naturales y las características del entorno como estrategia de diseño en edificios sostenibles, con lo que se pretende un mayor confort para el usuario y un ahorro en el consumo energético.

Uno de los aspectos clave en el diseño es la orientación, en el apartado 4.2 se ha especificado que las fachadas principales se han orientado al sur para un mayor aprovechamiento de luz natural y de radiación solar.

A su vez, el edificio cuenta con una gran extensión de muros cortina como cerramiento lo que permite maximizar la entrada de luz natural, reduciendo así el uso de iluminación artificial durante el día. Esto reduce el consumo de energía y, además, proporciona una iluminación más saludable y agradable logrando un mayor confort. Las partes de fachada que no están cubiertas por muros cortina, serán fachadas ventiladas con un buen aislante térmico para minimizar al máximo las pérdidas o ganancias de calor según sea invierno o verano.

En la zona posterior del edificio principal, donde se encuentra situada la galería que interconecta ambos edificios, se ha colocado un muro cortina de agua. Su funcionalidad es refrescar y proporcionar un control térmico por la evaporación del agua.

Por último, el edificio está rodeado de árboles que proporcionan sombra natural reduciendo así la exposición directa a los rayos del sol ayudando a mantener la temperatura del interior, y por otro lado, también mejoran la calidad del aire exterior.

6.2 Materiales empleados

La selección de los materiales de construcción desempeña un papel crucial en el cumplimiento de los principios de economía circular y sostenibilidad. Es importante tener en cuenta diversos factores para asegurar una elección adecuada.

Es fundamental considerar tanto las propiedades mecánicas para funciones estructurales, aislantes y estéticas, como también prestar atención al factor ambiental. Hasta ahora, los materiales eran escogidos únicamente para cumplir con las necesidades estructurales sin tener en cuenta su impacto ambiental o huella de carbono. Sin embargo, con la creciente contaminación y en conciencia con el cambio climático, es necesario que la elección de los materiales aborde también el factor ambiental.



Se buscan materiales con alta ciclabilidad, es decir que puedan ser reciclados o reutilizados al final de la vida útil del mismo. Ayudaría a la reducción de residuos e incluso poder ser reintegrados en nuevos ciclos de producción. Para facilitar esta tarea, se está intentando que los componentes y elementos de la construcción sean fácilmente desmontables, permitiendo su separación y recuperación.

El empleo de materiales con alta durabilidad también logra beneficios con el medio ambiente, puesto que necesitan menos mantenimiento y reemplazo a lo largo del tiempo. De este modo se reducen los residuos de la generación de productos nuevos y se alarga la vida útil del edificio.

La renovabilidad también es un factor a considerar, utilizar materiales renovables como la madera cuya regeneración puede ir a la par con el consumo.

Se debe tener en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la explotación y producción de los materiales y emplear aquellos que tengan baja huella de carbono.

También es necesario evaluar la eficiencia energética de los materiales, teniéndola en cuenta desde el proceso de edificación empleando tecnologías de bajo consumo energético, así como durante su vida útil, proporcionando por ejemplo un buen aislamiento térmico reduciendo la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano, empleando pinturas reflectantes, diseñando una ventilación natural o empleo de energías renovables que consigan reducir el consumo energético.

El factor de proximidad en cuanto al transporte también es relevante ya que puede generar emisiones significativas. Por esto, sería adecuado dar preferencia, siempre que sea posible, a los materiales producidos en el entorno próximo a la construcción, para reducir distancias de transporte y por consiguiente reducir emisiones asociadas.

Por último, sería apropiado emplear materiales que cuenten con certificaciones de sostenibilidad, de las que ya hemos hablado anteriormente, garantizando la calidad y la contribución a la construcción sostenible.

Una vez analizado todos los factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar los materiales adecuados se seleccionaron los siguientes para la construcción.

- Hormigón: es un material 100% reciclable, que posee alta resistencia y ofrece muy buena garantía en cuanto a la durabilidad de la infraestructura del edificio. Todo el armazón estructural está diseñado en hormigón.
- Lana de roca: empleado como material aislante, proviene de rocas volcánicas, es decir es un recurso natural abundante.

- Madera: este material es una fuente renovable que además deja poca huella de carbono siendo duradero y resistente. Este material será empleado para la construcción de la cercha colocada en el edificio principal.
- Muros cortina: formados por vidrio reciclado y aluminio que facilita la entrada de luz natural a ambos edificios dando un mayor confort al usuario. Con ellos se consigue que el edificio sea más eficiente energéticamente, permiten integrar en ellos lamas o sistemas de control solar para regular la temperatura interior. Además, son resistentes y tienen la posibilidad de incorporar dentro de los mismos paneles fotovoltaicos.
- Pintura fotocatalítica: es una pintura cuya tecnología permite reducir el CO2 mejorando la calidad del aire y de alta durabilidad. Aplicada sobre la fachada.

6.3 Cubiertas ajardinadas y exteriores

Las cubiertas ajardinadas, también conocidas como cubiertas verdes o vegetales, consisten en la incorporación de vegetación y sustratos sobre la superficie de una cubierta plana o azotea.

Dado que el edificio secundario posee una cubierta plana con carácter no transitable, se ha decidido colocar una cubierta ajardinada extensiva. Se caracterizan por ser ligeras, tienen un espesor de sustrato de unos 10-20 cm, lo que limita la variedad de plantas que pueda albergar siendo lo más empleado sedums, céspedes, o musgos. En este proyecto se va a utilizar la vegetación tapizante tipo sedum, que requiere un mantenimiento muy reducido y un escaso aporte de agua.

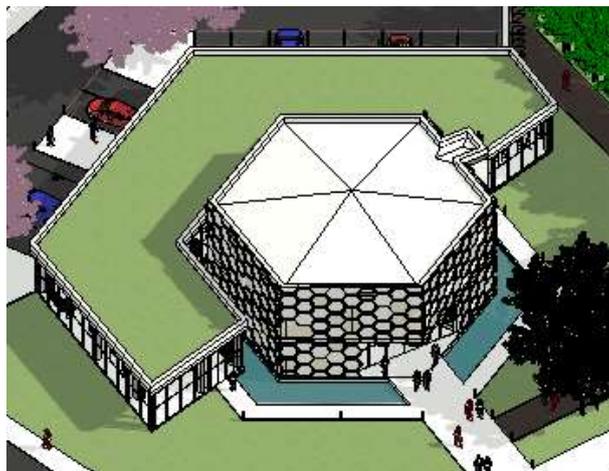


Figura 32. Cubierta ajardinada edificio secundario

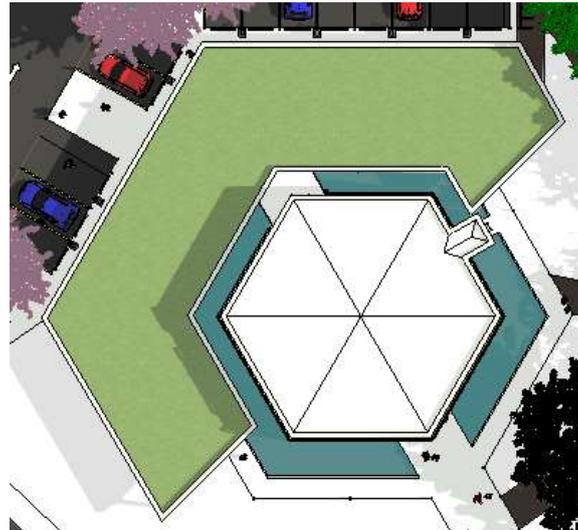


Figura 33. Planta de cubiertas

Estas cubiertas ofrecen una serie de ventajas que contribuyen a la mejora de la calidad del entorno urbano y a promover la sostenibilidad. Son capaces de reducir el efecto isla de calor y reducir el CO₂ de la atmósfera. La vegetación presente en estas cubiertas absorbe el CO₂ durante la fotosíntesis, ayudando así a mitigar el calentamiento global.

Otro aspecto que destacar es que actúan como un sistema de captación y retención de aguas pluviales, además la depuran mediante procesos de biofiltración natural evitando que contaminantes lleguen a los canales.

También tiene un impacto positivo en la calidad del aire del entorno, la cubierta actúa como filtro natural, atrapando la polución urbana o partículas contaminantes del ambiente creando entornos más saludables.

En cuanto a términos de eficiencia energética, las cubiertas verdes aportan inercia térmica al edificio, ayudando a regular la temperatura interior. También mejoran el aislamiento térmico y acústico.

[29]

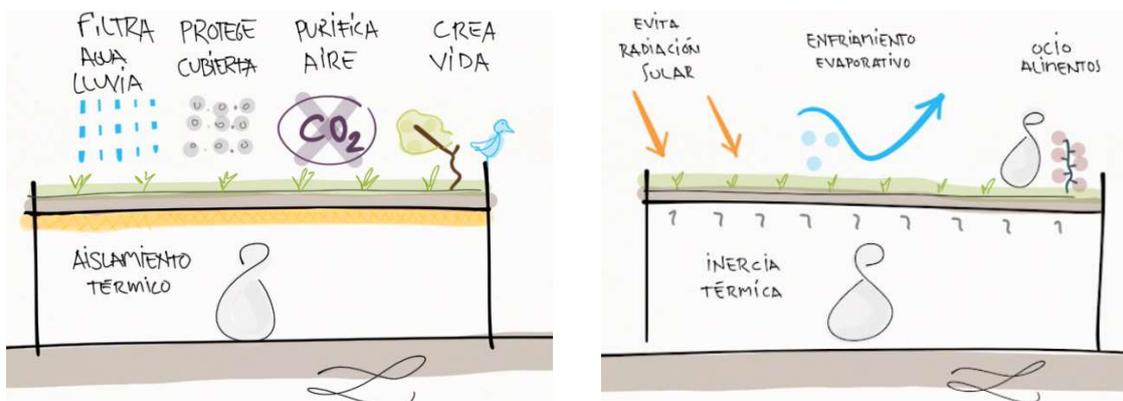


Figura 34. Beneficios cubierta ajardinada. FUENTE: Ángel Sánchez Inocencio ([Cubierta ajardinada - Ángel Sánchez Inocencio \(angelsinocencio.com\)](http://Cubierta ajardinada - Ángel Sánchez Inocencio (angelsinocencio.com)))

Por último, se ha buscado tener la mayor superficie ajardinada posible, por eso el edificio se ha rodeado de césped y grandes árboles autóctonos.

Además de todos los beneficios citados anteriormente, como la reducción del efecto de calor y mejora de la calidad del aire, se brinda un hábitat valioso para la fauna local, como aves e insectos contribuyendo a la preservación de especies autóctonas. Además, los jardines proporcionan sombra natural proporcionando un aislamiento térmico, reduciendo el consumo energético.



Figura 35. Zonas verdes exteriores

6.4 Energía solar

La energía solar es una forma de obtener beneficio de la radiación solar para generar electricidad o calor. Es una energía limpia y renovable que aprovecha las radiaciones electromagnéticas del sol. Hacer uso de esta energía contribuye a reducir el impacto ambiental y se aprovecha una fuente de energía inagotable.

Esta energía ofrece múltiples ventajas para favorecer la sostenibilidad. En primer lugar, al ser una fuente renovable e inagotable, contribuye a reducir la dependencia de combustibles fósiles y a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero creando un entorno más limpio.

En el ámbito económico, aunque sea una energía que inicialmente supone una inversión alta, a largo plazo se obtiene un gran ahorro en la electricidad para el consumo.

[30]



Se va a emplear energía solar, en concreto fotovoltaica, para dar suministro eléctrico al edificio, pero este punto se va a desarrollar de forma más extensa posteriormente.

6.5 Reaprovechamiento de agua

En la actualidad, gran parte de España está sufriendo una situación hidrológica preocupante debido a los efectos de la sequía que se vienen padeciendo desde años anteriores. Esta falta de agua tiene consecuencias directas sobre el agua potable, muchos municipios necesitan ser abastecidos con camiones cisterna, para la agricultura y para otros sectores que dependen de este recurso.

Por esta razón, es importante tomar medidas y acciones frente a esta situación. La edificación sostenible vuelve a jugar un papel crucial respecto al reaprovechamiento de agua.

Existen estrategias ambientales aplicables en el diseño y mantenimiento de los edificios que favorecen el ahorro y la eficiencia en el uso del agua.

Se instalarán sanitarios de alta eficiencia con cisternas de doble descarga que no consuman más de 6 litros por descarga. A su vez, también se colocarán urinarios secos los cuales no emplean agua y requieren poco mantenimiento.

Por otro lado, en los lavabos se va a disponer de aireadores y sensores de movimiento permitiendo reducir el caudal contribuyendo en un ahorro de agua.

Por último, se va a recolectar las aguas pluviales de las canalizaciones, que serán guardadas en tanques, para posteriormente emplearla para el riego de las zonas verdes.

7. Diseño de instalación solar fotovoltaica mediante CYPE

7.1 Energía solar fotovoltaica: funcionamiento y componentes

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que convierte la radiación solar en electricidad mediante el uso de células solares fotovoltaicas.

Su funcionamiento está basado en el efecto fotoeléctrico, un fenómeno mediante el cual las partículas lumínicas incidentes sobre la placa solar provocan la liberación de electrones generando así una corriente eléctrica. Las células están conformadas por láminas de un semiconductor que son los que absorben los fotones de la luz solar.

La absorción de los fotones provoca en el semiconductor una excitación de los electrones haciendo que se liberen de sus órbitas y pasen a ser portadores de carga negativa. A su vez, se generan huecos por falta de electrones y permiten que se desplacen a otra región de carga positiva. Esta separación de cargas crea un campo eléctrico interno en la placa solar, generando una corriente eléctrica que puede ser recolectada y utilizada como energía eléctrica utilizable [31].

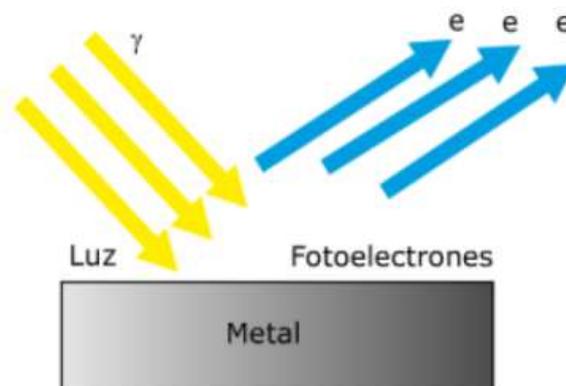


Figura 36. Efecto fotoeléctrico. Fuente: CSIC

Los elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica son los siguientes:

- Paneles solares o módulo fotovoltaicos: como ya se ha dicho anteriormente son los encargados de captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica.

Cada panel está constituido por una serie de elementos físicos:

- Marco de apoyo: su función principal es proteger los componentes internos y ofrecer robustez mecánica al conjunto.

- Vidrio templado: proporciona protección a la célula de factores externos como la lluvia, suciedad, etc.
- Encapsulante: formado por EVA (Ethylene Vinyl Acetate) es un polímero termoplástico que permite pasar perfectamente la luz solar y su función es adherir las células solares a la capa de vidrio templado y a la superficie posterior del módulo. De este modo se crea una película sellante y aislante que evita la entrada de aire y la formación de humedad en el interior.
- Células Solares: la parte principal del conjunto.
- Cubierta posterior: su propósito es de protección del módulo de las radiaciones UV y proporcionar aislamiento eléctrico.
- Caja de conexión: las corrientes eléctricas generadas por la célula fotovoltaica son dirigidas a esta caja para ser unificadas [32].



Figura 37. Partes de un panel solar [33]

- Regulador: este elemento no necesariamente aparece en todas las instalaciones fotovoltaicas. Se encarga de proteger de sobrecargas a los inversores y controlar la carga y descarga de las baterías.
- Batería o acumulador: es un componente opcional que no aparece en todas las instalaciones. Su misión es almacenar la energía generada por los paneles para su uso posterior, actúa como un reservorio de energía permitiendo un suministro continuo y estable.

- Inversor o convertidor: es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA) que es la que se emplea normalmente en hogares y edificios. Estos son los responsables de que se monitoricen la información sobre el consumo de red, la producción fotovoltaica y el estado de la instalación.
[34]

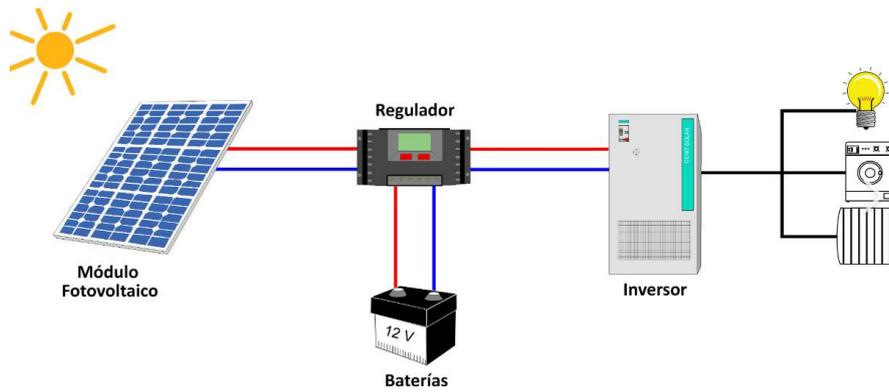


Figura 38. Esquema de configuración de instalación fotovoltaica. Fuente: Google imágenes.

7.2 Software empleado

Para la realización del diseño de la instalación se ha empleado el software CYPELEC PV Systems. Es un programa de diseño y cálculo de instalaciones solares fotovoltaicas desarrollado por la empresa CYPE.



Soluciones profesionales > CYPELEC PV Systems > Información detallada

CYPELEC PV Systems

Figura 39. CYPELEC PV Systems. Fuente: CYPE

Pertenece al entorno BIM-CYPE permitiendo así estar conectado con otros programas que pudieran ser utilizados a lo largo del proyecto a través de la plataforma BIMserver.center. Esta nube permite a los usuarios trabajar y almacenar los trabajos de manera rápida y eficaz, evitando la pérdida de información.

No es necesario tener un modelo 3D para trabajar con este programa, pero si recomendable para modelar y calcular la instalación sobre el modelo arquitectónico. El mínimo necesario para comenzar a trabajar con este programa sería tener la cubierta, los forjados y los recintos.

Este programa es capaz de leer cualquier modelo arquitectónico generado con otros programas CAD/BIM definidos con un estándar IFC, en nuestro caso desde Revit, que ya se explicó en los apartados 3.3 y 3.4 como realizar esta importación.

Las principales características y funcionalidades por las que destaca el programa son:

- Predimensionamiento energético, el programa permite la realización de un dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, haciendo una aproximación del número de paneles que serán necesarios a partir de los datos de radiación solar, consumo eléctrico y otros parámetros que se irán introduciendo.
- Permite seleccionar los componentes y configurar los paneles solares, inversores, cables y todos los elementos que se requieren para la instalación.
- Dispone de una biblioteca de elementos donde el usuario puede definir las propiedades de los equipos que quiere emplear en la instalación.
- Realiza cálculos detallados de las pérdidas de la instalación, teniendo en cuenta la colocación de las placas, el sombreado, la inclinación, temperaturas del lugar, pérdidas de los cables empleados, etc.

- Es capaz de hacer un análisis económico de la instalación, al introducir el gasto de los componentes el programa calcula el costo de inversión y el ahorro energético conseguido.
- Genera informes y documentación técnica detallada de toda la instalación, incluyendo planos unifilares y de ubicación.

Por todas estas funcionalidades expuestas CYPELEC PV System es una herramienta muy usada por los profesionales del sector eléctrico, ya que permite generar un diseño óptimo asegurando un funcionamiento eficiente y rentable para el cliente [35].

El programa dispone de una barra de herramientas con tres pestañas:

- **Instalación fotovoltaica.** El objetivo de esta pestaña es realizar de una forma sencilla el diseño de la instalación con la introducción de elementos y realizar los cálculos.

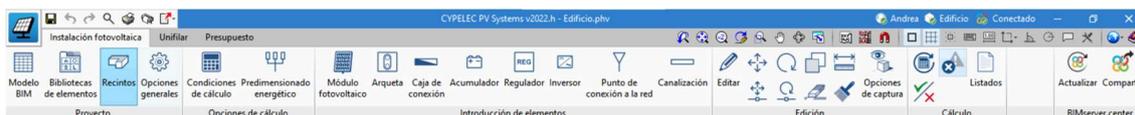


Figura 40. Barra de herramientas pestaña “Instalación fotovoltaica” de CYPELEC PV Systems

- **Unifilar.** Esta pestaña permite crear al usuario el esquema unifilar de la instalación una vez realizado todo el diseño.



Figura 41. Barra de herramientas pestaña “Unifilar” de CYPELEC PV Systems

- **Presupuesto.** Para finalizar el proyecto, el programa permite obtener el presupuesto completo de la instalación a partir de una base de datos.



Figura 42. Barra de herramientas pestaña “Presupuesto” de CYPELEC PV Systems

Por otro lado, el programa permite trabajar con un interfaz 3D, donde destaca la herramienta de las vistas.

La funcionalidad de las vistas reside en permitir una navegación más eficiente a través del modelo, centrándose en las secciones más relevantes para el usuario, en este caso las cubiertas.

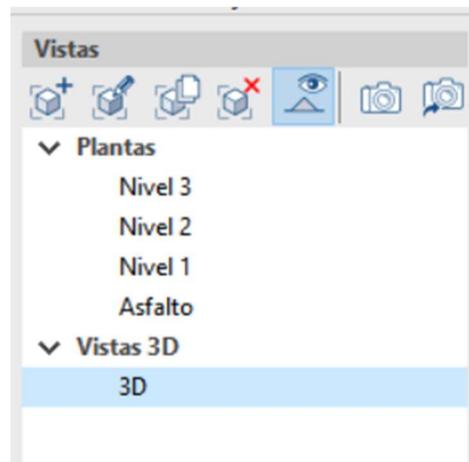


Figura 43. Barra de herramientas en "Vistas".

7.3 Predimensionamiento energético

En primer paso para comenzar a trabajar con este programa es conectar la obra a un proyecto Open BIM situado en la plataforma BIMserver.center.

A continuación, se necesita realizar una estimación preliminar de la instalación antes de proceder al diseño y la introducción de elementos, y para ello, se va a realizar un predimensionamiento energético.

Esta etapa inicial es importante tanto para saber la viabilidad como para el dimensionado de la instalación en función de las necesidades que se prevean para el edificio. Proporciona al usuario una primera idea de los componentes necesarios para cubrir las necesidades energéticas, pudiendo también tener una primera estimación económica del proyecto.

Antes de realizar el predimensionamiento energético, es necesario configurar el programa introduciendo en él las opciones generales con las que se va a trabajar y las condiciones de cálculo.

7.3.1 Opciones Generales

Para configurar las Opciones Generales desde la barra de herramientas, en la pestaña "Instalación fotovoltaica" desde "Proyecto" < "Opciones generales".

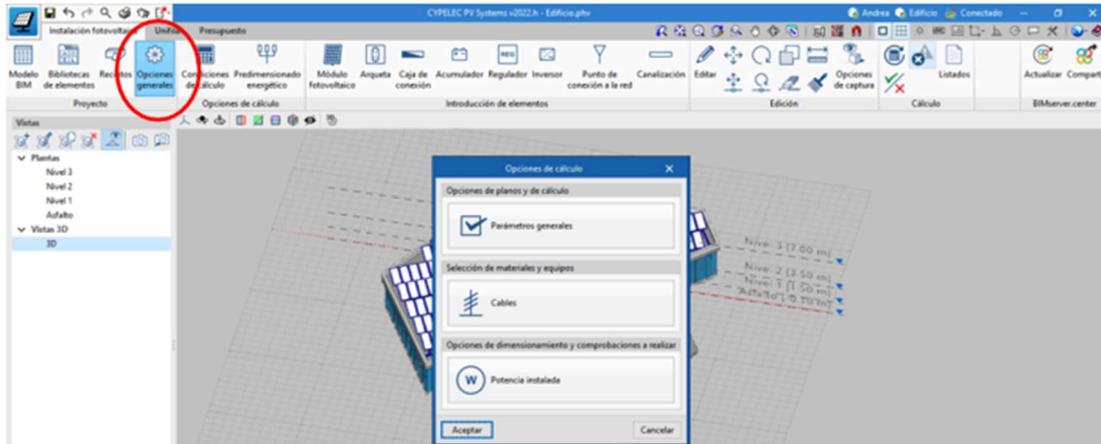


Figura 44. Configurar Opciones generales del proyecto.

Nos aparecerá la ventana que se muestra en la Fig. 44, donde se ha de configurar los parámetros generales, los cables y la potencia instalada.

En los parámetros generales, se indicará la orientación de la obra respecto al norte, la caída de tensión máxima admisible, la autonomía mínima de la instalación en caso de usar baterías y, por último, la potencia mínima del inversor que vendrá especificada por el Código Técnico de la Edificación donde se indica que es necesario mínimo un 80%. En este caso para estar al lado de la seguridad se impone un 90%.

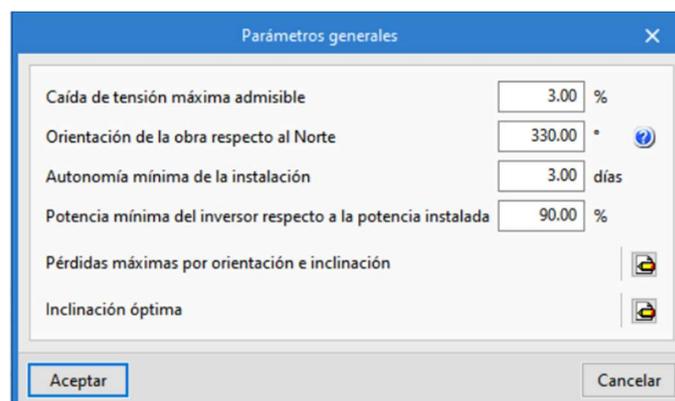


Figura 45. Configuración de Parámetros generales

En la selección de materiales y equipos, “Cables” se selecciona los cables, fusibles, magnetotérmicos y diferenciales que se van a utilizar en la instalación.

Por último, en las opciones de dimensionamiento y comprobaciones a realizar, “Potencia Instalada” viene determinada por el CTE DB HE 5, esto se rellenaría automáticamente basándose en la normativa.

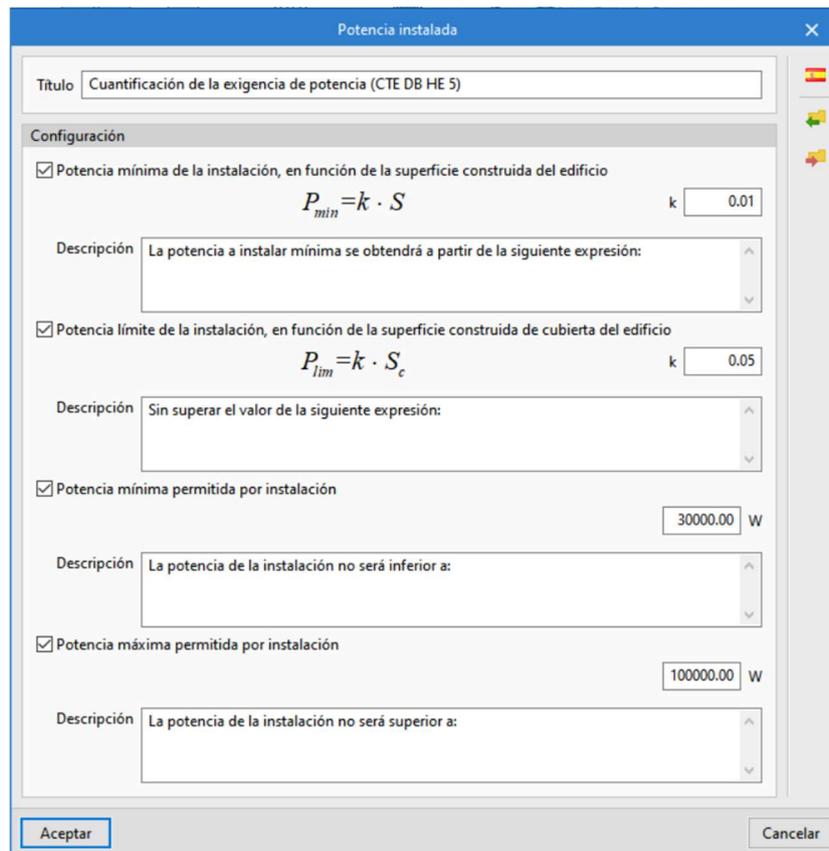


Figura 46. Opción de potencia instalada

7.3.2 Condiciones de cálculo

Para configurar las condiciones de cálculo, lo primero que se debe hacer es situar el edificio para tener la irradiancia mensual y la temperatura media mensual del lugar donde está situada la obra, en este caso es Valladolid. Este paso es muy sencillo ya que nos permite importar directamente los datos de cálculo de una población concreta.

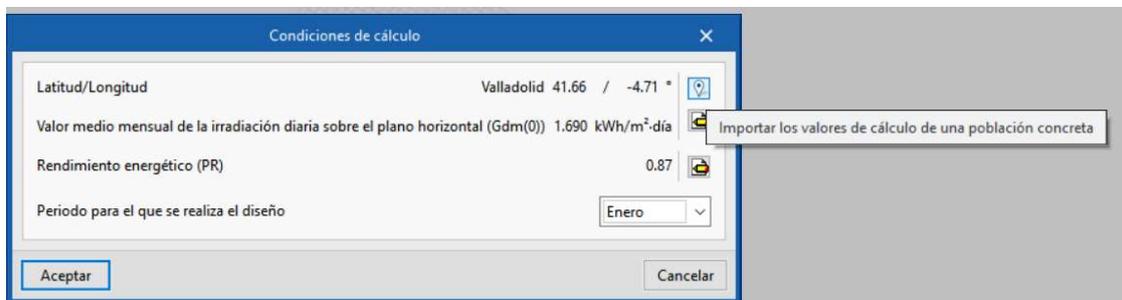


Figura 47. Condiciones de cálculo

Por otro lado, para introducir el valor medio de la irradianción diaria, el programa también permite importar los valores descargados de la página de PVGIS

(Photovoltaic Geographical Information System). Es un archivo en línea desarrollado por el Joint Research Centre de la Comisión Europea que proporciona información detallada sobre el rendimiento y la estimación de la energía solar fotovoltaica en diferentes ubicaciones geográficas.

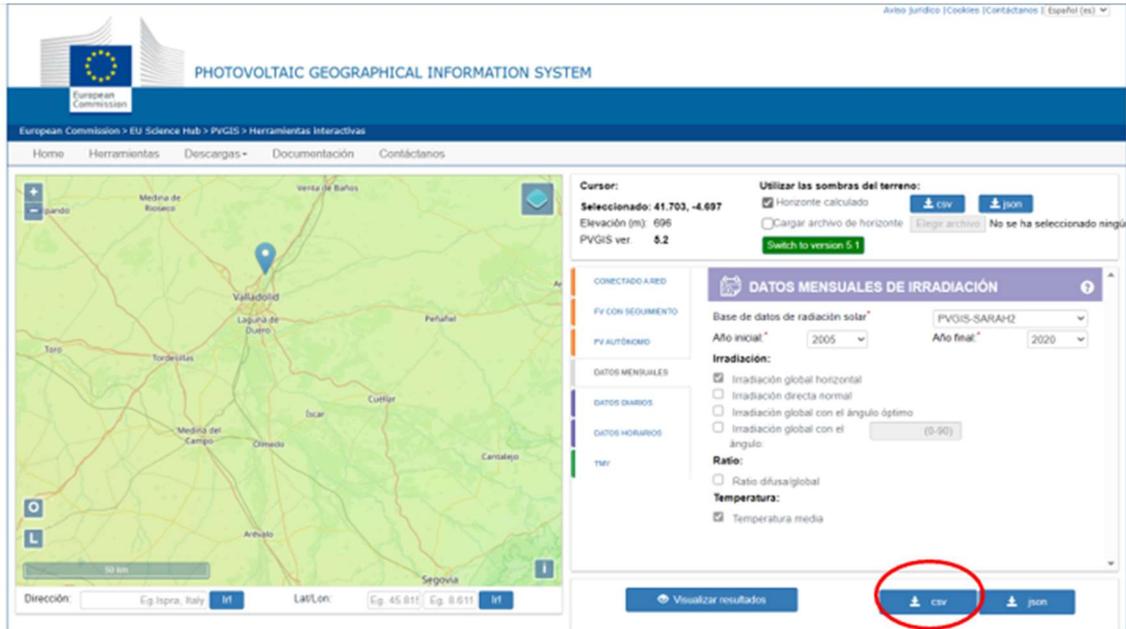


Figura 48. Página PVGIS de descarga de datos mensuales de Irradiancia y Temperatura.

Hay que descargarse el archivo CSV y posteriormente importarlo al programa, desde la opción “importar fichero de PVGIS”, que se muestra en la Fig. 50.

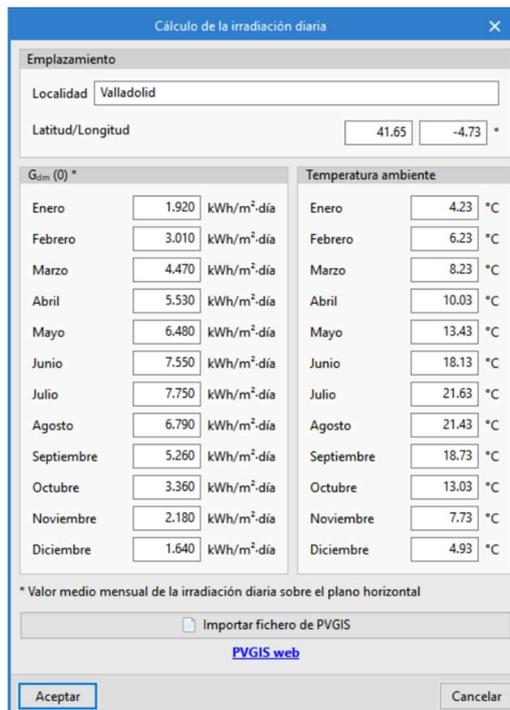


Figura 49. Datos importados de la irradiación diaria en Valladolid

Para terminar de configurar las condiciones de cálculo, es necesario definir las pérdidas de potencia. Estas se imponen a criterio del proyectista, y en este caso, se ha dejado las que el programa tiene por defecto.

Pérdidas de potencia	
Pérdidas en el cableado	6 %
Pérdidas debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos	3 %
Pérdidas por dispersión de parámetros entre módulos	2 %
Pérdidas por reflectancia angular espectral	3 %
Otras pérdidas	0 %

Buttons: Aceptar, Cancelar

Figura 50. Desglose de las pérdidas de potencia.

7.3.3 Biblioteca de elementos

El siguiente paso después de haber configurado las opciones generales y de cálculo es definir los elementos que queremos emplear en nuestra instalación acorde con las fichas técnicas que tengamos de los productos.

Se realizará desde la barra de herramientas, “Proyecto” < “Biblioteca de elementos”.



Figura 51. Barra de herramientas “Bibliotecas de elementos”.

- Módulo fotovoltaico.

En primer lugar, se ha definido el módulo fotovoltaico seleccionado. Se ha seleccionado paneles de teluro de cadmio (CdTe), del proveedor First Solar [36], puesto que usan una tecnología mucho más sostenible y los índices de eficiencia rondan al 19%, un valor relativamente alto dentro de la industria fotovoltaica.

Por otro lado, este tipo de células favorecen la economía circular puesto que permiten ser recicladas en un 90%, y el resto de los materiales que no se pueden reciclar tienen un bajo impacto ambiental [37].

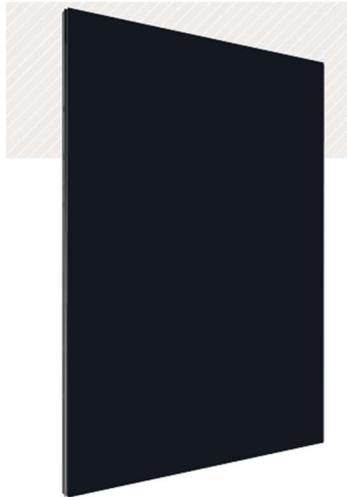


Figura 52. Panel solar de Teluro de Cadmio. Fuente: First Solar.

Módulo fotovoltaico	
Referencia	Series 6-460
Dimensiones (Anchura x Altura x Espesor)	1232.00 mm x 2009.00 mm x 49.00 mm
Potencia nominal	460.00 W
Temperatura de operación nominal del módulo (TONC)	45.00 °C
Coefficiente de corrección de la potencia por temperatura (g)	0.0032 1/°C
Intensidad de cortocircuito (Isc)	2.09 A
Voltaje en vacío (Voc)	210.40 V
Intensidad máxima en el pico de potencia (Impp)	1.97 A
Voltaje máximo en el pico de potencia (Vmpp)	176.30 V
Eficiencia	18.60 %

Figura 53. Introducción de los datos del módulo fotovoltaico seleccionado.

- Inversor

Se ha seleccionado el modelo Symo 20.0-3-M del proveedor Fronius, que permite rangos de potencia de entre 3 y 20 kW [38].



Figura 54. Inversor Symo 20.0-3-M. Fuente: Fronius.

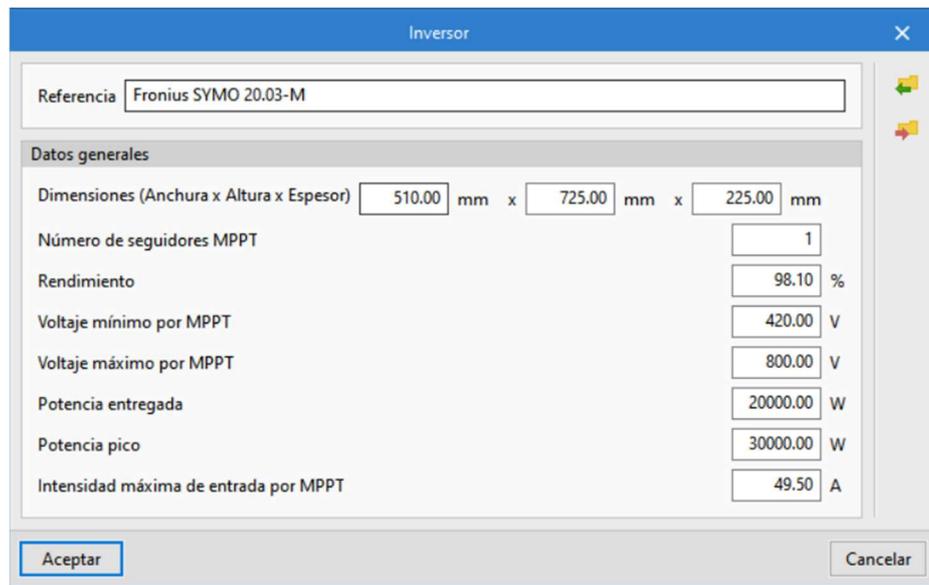


Figura 55. Introducción de los datos del inversor.

7.3.4 Predimensionamiento

Una vez realizado todos los pasos explicados anteriormente, ya se puede comenzar a realizar el predimensionamiento energético.

Esta opción se encuentra en la pestaña de opciones de cálculo de la barra de herramientas.



Figura 56. Barra de herramientas "predimensionamiento energético".

Al seleccionar esta opción, aparece una ventana como la mostrada en la Fig.57 en la cual hay que configurar varias opciones.

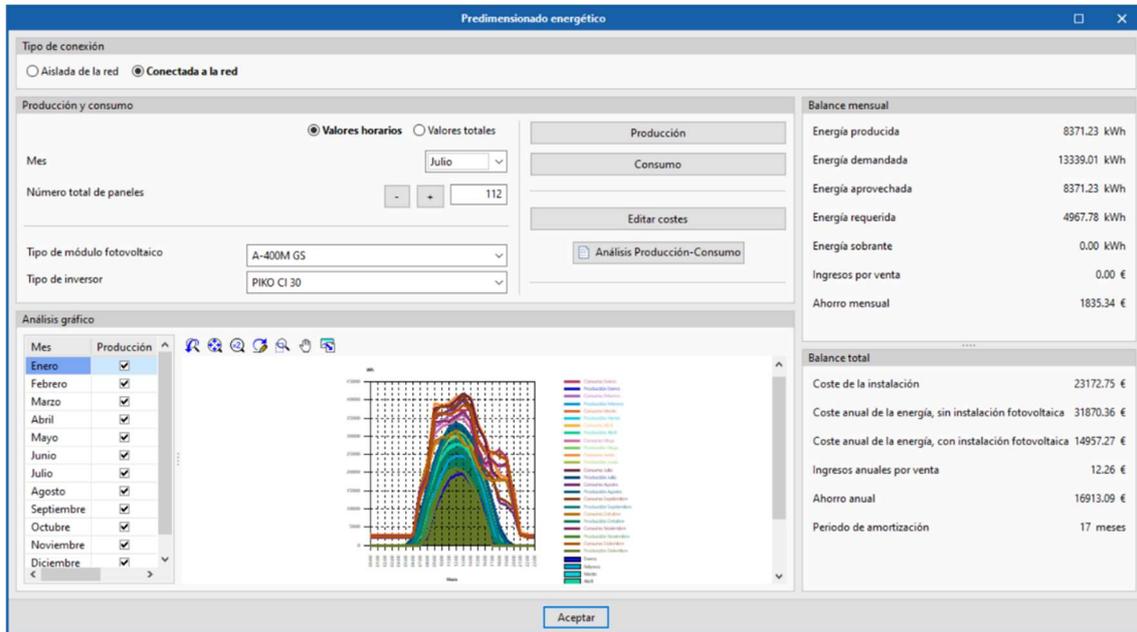


Figura 57. Ventana de ejemplo del Predimensionamiento energético. Fuente: CYPE.

En primer lugar, se ha seleccionado el tipo de conexión: conectada a la red puesto que con el diseño que se va a realizar no se trata de cubrir todo el consumo de electricidad del edificio. Con esta selección se tiene acceso constante a la electricidad de la red, permitiendo tener una mayor flexibilidad y respaldo de respuesta frente a picos de demanda, es decir en el caso de insuficiencia energética la red nos proporcionaría la energía necesaria.

Para realizar este predimensionamiento se va a hacer un balance por valores horarios donde el usuario tiene que facilitar el consumo de energía eléctrica estimada o real y los datos de irradiación para el emplazamiento y la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos.

ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN-CONSUMO

En primer lugar, se ha de indicar el modelo fotovoltaico y el tipo de inversor ya elegidos e introducidos en el programa previamente.

A continuación, es necesario meter los datos de producción y consumo mensuales que se estiman para la instalación, para ello se ha de seleccionar el mes e introducir los datos correspondientes a dicho mes.

- PRODUCCIÓN

Para introducir los datos de producción, dentro del programa existe la opción de importar un fichero de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System).

Como ya se ha hecho anteriormente, desde la página web se va a descargar el fichero CSV que será importado al programa. Esta vez, se quieren obtener los datos diarios en vez de mensuales, para ello se introducen los datos de localización, irradiancia propia de la zona y el perfil diario de temperaturas. Con todo esto se descargan los datos horarios de cada mes y se importan al programa uno a uno.

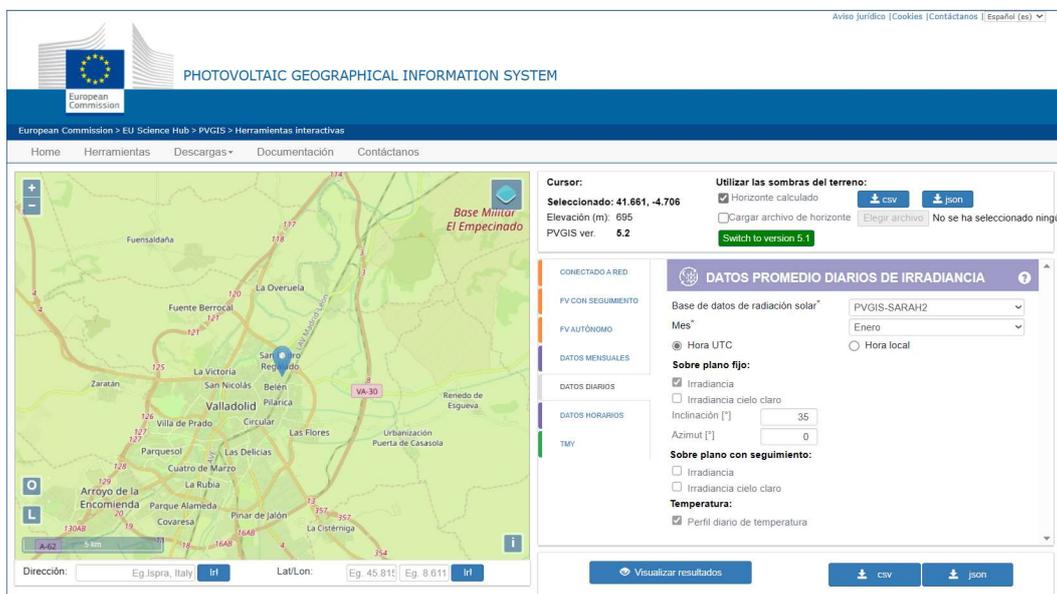


Figura 58. PVGIS

En la Fig.43 se muestra como el programa ha importado la irradiancia (W/m^2) con el azimut(α) y la inclinación(β) y las temperaturas medias. Con estos datos el programa calcula las pérdidas por temperatura (L_{temp}) y el rendimiento energético en función del PR definido en las condiciones de cálculo más las pérdidas por temperatura.

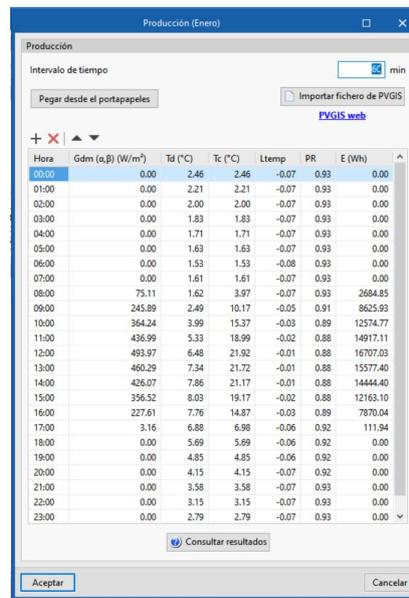


Figura 59. Datos de producción para la localización de Valladolid

Si consultamos los resultados se puede obtener la formulación que el programa ha empleado para el cálculo y los resultados obtenidos. En este caso se muestra los resultados obtenidos para el mes de enero.

$$E_p = \frac{P_0 \cdot G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR}{G_{CEM}}$$

$$P_0 = P_n \cdot n$$

$$PR = (1 - L_{cab}) \cdot (1 - L_{dis}) \cdot (1 - L_{inv}) \cdot (1 - L_{pol}) \cdot (1 - L_{ref}) \cdot (1 - L_{tem}) \cdot (1 - L_{usu})$$

$$L_{tem} = g \cdot (T_c - 25)$$

$$T_c = T_d + \frac{(TONC - 20) \cdot G}{800}$$

E	Energía producida (Enero)	(105676.56 Wh)
P ₀	Potencia del generador en CEM	(38640.00 W)
P _n	Potencia nominal del generador en CEM	(460.00 W)
n	Número total de paneles	(84)
G _{dm} (α,β)	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras	(3089.85 W/m²)
G _{cem}	Irradiación sobre los paneles en CEM	(1000.00 W/m²)
PR	Rendimiento energético	(0.88 / 0.93)
g	Coefficiente de temperatura de la potencia	(0.00320 1 / C°)
L _{tem}	Pérdidas por temperatura	
T _c	Temperatura de las células solares	(1.53 / 21.92 °C)
TONC	Temperatura de operación nominal del módulo	(45.00 °C)
L _{cab}	Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor	(0.06)
L _{dis}	Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos	(0.02)
L _{inv}	Pérdidas de potencia en el inversor	(0.02)
L _{pol}	Pérdidas de potencia debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos	(0.03)
L _{ref}	Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral	(0.03)
L _{usu}	Otras pérdidas de potencia	(0.00)
CEM	Condiciones Estándar de Medida	

Figura 60. Formulación empleada para el cálculo de la producción

Es importante volver a recalcar que se debe descargar los datos e importarlos para cada mes del año obteniendo de este modo la producción mensual de nuestras placas solares.

- CONSUMO

Para introducir los datos de consumo se ha realizado previamente una estimación para un edificio de continuo funcionamiento (educativo) a lo largo del día. En la aproximación se ha tenido en cuenta los aparatos eléctricos, enchufes, ascensor, máquinas de refrescos, etc.

Por otro lado, para saber el consumo que podría generar la iluminación del edificio se ha empleado el método de los lúmenes. Con este método se calculan cuantos puntos de luz se necesitan, y por ende poder estimar su consumo.

Una vez realizada la estimación completa se importan los datos al programa.

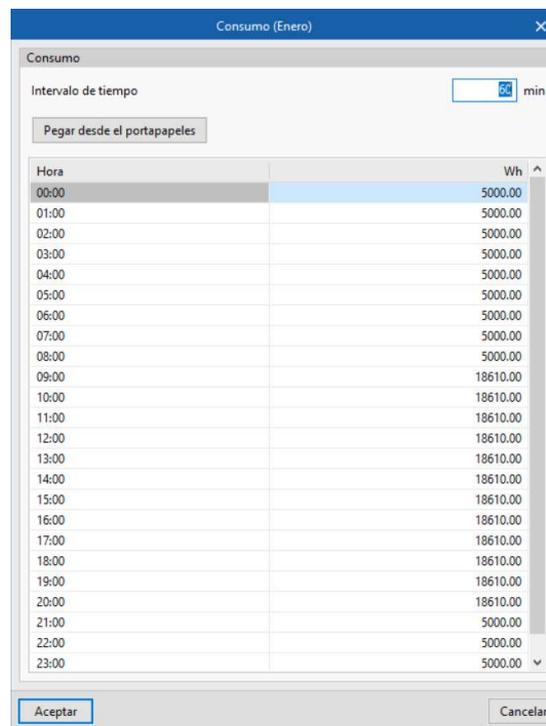


Figura 61. Consumo de potencia por horas del edificio

Por último, se van a editar los costes para que el programa pueda hacer un balance económico aproximado. Para ello solo hay que introducir el precio de cada panel, del inversor, del cableado y el coste anual del término de potencia.

Editar costes

Precio de cada panel	170.0000	€
Precio de cada inversor	3171.0300	€
Coste del cableado	53.7500	€
Coste de las protecciones y elementos adicionales	190.0000	€
Coste del término de energía		
Coste anual del término de potencia	8000.0000	€/año
Precio de venta de la energía	0.0000	€/kWh

Aceptar Cancelar

Figura 62. Costes.

Para los costes del término de energía se han introducido los diferentes precios tarifarios estipulados según la franja horaria.

Término de energía

Referencia	Desde	Hasta	Precio (€/kWh)
Valle	00:00	08:00	0.0895
Llano 1	08:00	10:00	0.1244
Punta 1	10:00	14:00	0.2178
Llano 2	14:00	18:00	0.1244
Punta 2	18:00	22:00	0.2178
Llano 3	22:00	00:00	0.1244

Figura 63. Costes de los términos de energía por franja horaria.

Una vez introducidos los datos de producción, consumo y costes ya se tiene todo listo para hacer el predimensionado de la instalación donde se va a obtener un balance mensual numérico, otro en forma de gráfico y uno total de costes en función del número de paneles que se seleccione.

El predimensionamiento consiste en ir variando el número total de paneles, a criterio del proyectista, y analizar lo que son capaces de proporcionar. De este modo se puede realizar una aproximación de los paneles requeridos para cubrir las necesidades de la instalación.

En este caso, lo que se va a realizar es meter el número óptimo de paneles que pueden ser colocados en el espacio del que se dispone en la azotea, saber cuánto nos va a producir y que energía será necesaria demandar de la red.

Por ejemplo, para el mes de enero usando tan solo 10 paneles se observa en el balance mensual que hay muy baja producción, tan solo se producen 390 kWh cuando lo que se demanda son 8782,92 kWh.

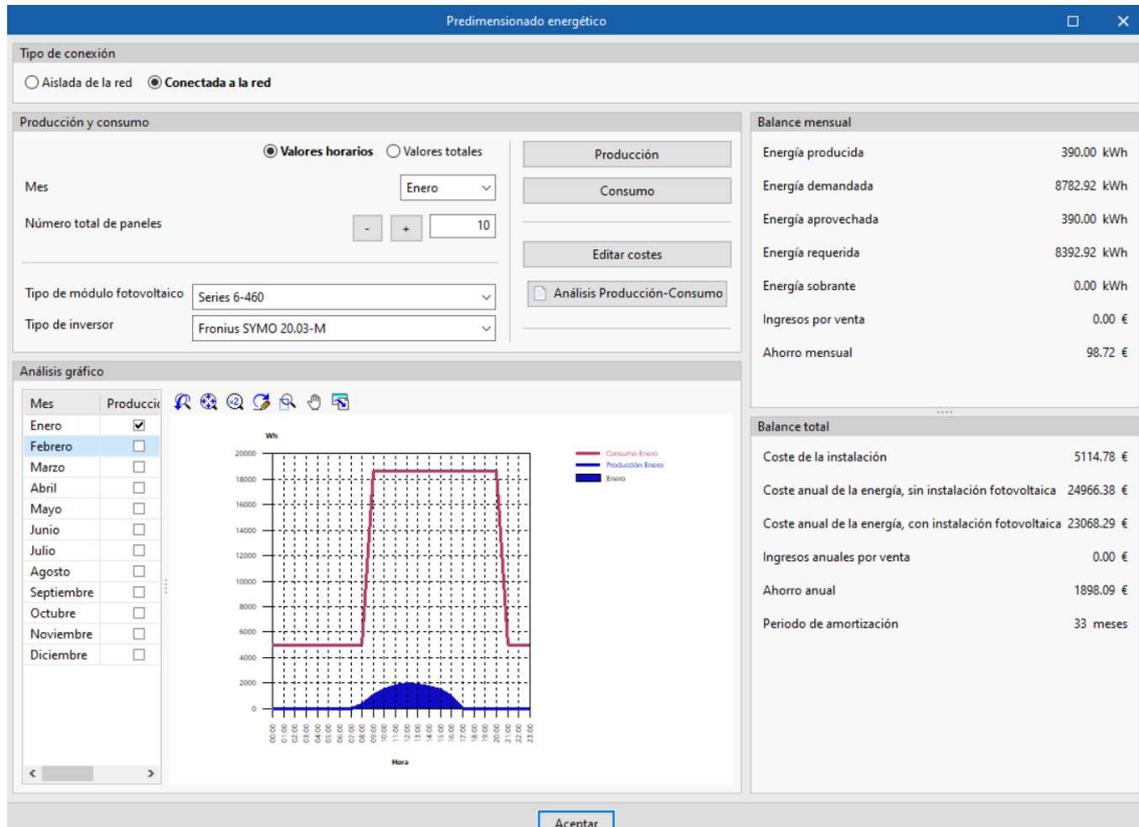


Figura 64. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 10 paneles solares.

Aprovechando al máximo el espacio de la azotea del edificio secundario, se han estimado 84 paneles que son capaces de producir 3275,97 kWh necesitando de la red 5506.95 Kwh.

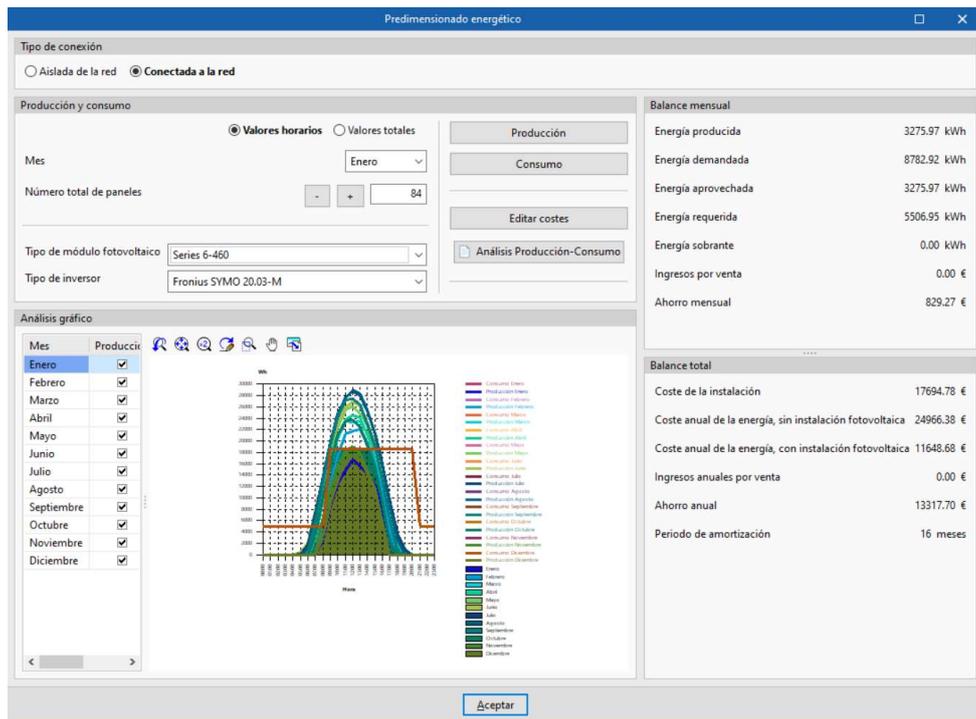


Figura 65. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 84 paneles solares

Para cubrir toda la demanda necesaria serían necesarios unos 160 paneles. Teniendo en cuenta que enero es el mes que menos energía produce cubriendo por completo el resto de los meses incluso produciendo energía de más que podría ser almacenada en baterías.

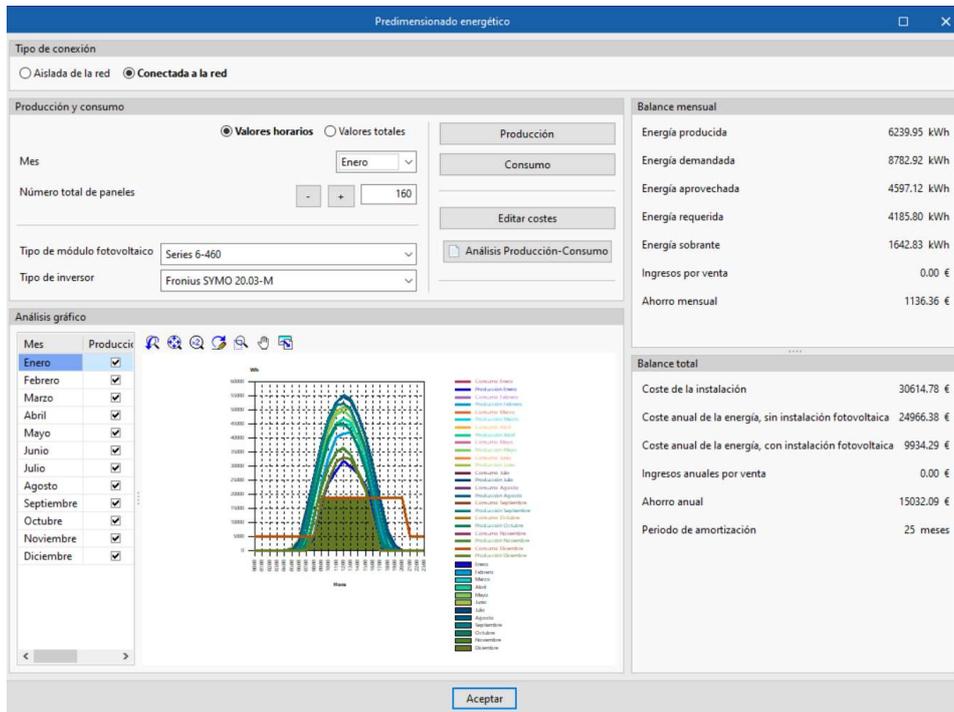


Figura 66. Balance mensual y gráfico para el mes de enero con 160 paneles solares

Además, el programa también es capaz de hacer un balance económico aproximado.

Balance total	
Coste de la instalación	17694.78 €
Coste anual de la energía, sin instalación fotovoltaica	24966.38 €
Coste anual de la energía, con instalación fotovoltaica	11648.68 €
Ingresos anuales por venta	0.00 €
Ahorro anual	13317.70 €
Periodo de amortización	16 meses

Figura 67. Balance total de costes

En este balance te muestra el coste total de la instalación, el coste anual de energía sin la instalación y con la instalación permitiendo al usuario hacer una comparativa, así como el ahorro que genera y los meses que se tardará en amortizar la instalación.

7.4 Modelado de la instalación

Para realizar el modelado de la instalación se parte del modelo importado de REVIT, y se empieza a trabajar en el nivel de la cubierta que nos interesa, en este caso la del edificio secundario.

Para comenzar a colocar los elementos de la instalación se hará desde el menú superior, el navegador de introducción de elementos.



Figura 68. Introducción de elementos

Se va a empezar con la opción de módulo fotovoltaico, en la ventana que nos aparece (Fig. 69) hay que introducir el modelo del panel solar empleado e indicar el tipo de instalación de la placa, se realiza en un plano horizontal con una inclinación dada ya que tenemos una cubierta plana. Por otro lado, el grado de inclinación y el factor de sombra (FS) lo proporciona el programa.

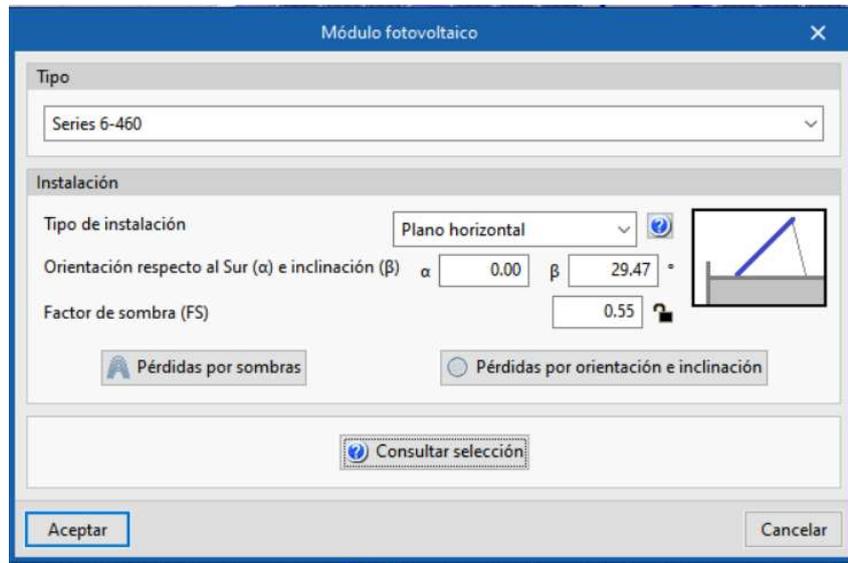


Figura 69. Ventana de modulo fotovoltaico

Una vez seleccionado el módulo fotovoltaico se van a ir colocando uno a uno en la azotea. Se han ubicado tratando de aprovechar el máximo espacio posible y evitando las zonas que podrían ser muy sombreadas.

Una vez colocados los 84 paneles, el siguiente paso es colocar las cajas de conexión, en concreto se han instalado 6. En las características de las cajas de conexión se han tomado las que el programa proporciona por defecto.

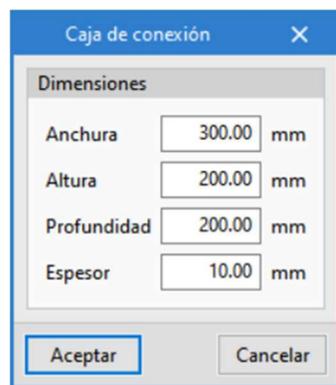


Figura 70. Ventana de caja de conexión

Después, se ha colocado el inversor en la planta baja, en la sala de mantenimiento.

Lo último es el punto de conexión a red, sin este no estaría definida la instalación ya que este es el punto en el que se establece la conexión entre la instalación de

generación de energía y la infraestructura de la red eléctrica pública. En esta ventana seleccionamos conectada a la red.

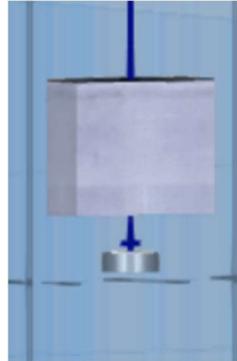


Figura 71. Inversor y caja de conexión a red

Una vez colocados todos los elementos, se van a unir todos los elementos con los conductores.

Para la realizar la conexión del cableado, se han agrupado los módulos fotovoltaicos en 14 paneles por caja de conexión, teniendo un total de 6 grupos de 14 paneles.

Para comenzar con el cableado, volvemos a la planta de la cubierta donde están las placas, y seleccionamos la opción de canalización en la barra de herramientas.

En esta ventana vamos a cargar el tipo, que en este caso será un cable genérico y tendríamos que seleccionar la sección de la fase. En la configuración de la canalización podemos añadir tanta aparamenta como se desee tener. Hay que tener en cuenta que en una instalación fotovoltaica los fusibles van en las cajas de conexión en pie para las ramas o en cabecera para la conexión directa de caja de conexión a inversor.

Primero vamos a conectar los grupos de 14 placas solares, estas las ramas no se necesitan fusibles, solo vamos a tener canalizaciones. Se va a seleccionar para seguir el reglamento técnico de baja tensión, de cables unipolares en contacto, al aire libre (F) ya que se están colocando en la cubierta. También seleccionamos la disposición sobre bandeja perforada horizontal Fig.72.

Aparamiento/Canalización

Canalización

Instalación interior o receptora

Método de instalación de referencia

F: Cables unipolares en contacto, al aire libre

Disposición Al tresbolillo

Temperatura ambiente (°C) 40.0

Número de circuitos o cables adicionales 0

Disposición Sobre bandeja perforada horizontal

En contacto

Número de bandejas 1

Consultar selección

Conducción

Tubo 1 x 32 mm

Cancelar

Figura 72. Canalización entre placas solares

Una vez configurada la canalización ya conectaremos los conductores.

Se ha ido seleccionando cada punto de conexión de cada placa solar hasta tener los 6 grupos de 14 placas.

Una vez enlazadas las 14 placas conectamos cada rama con su caja de conexión. Para ello es muy importante cambiar la canalización ya que ahora si es necesario el uso de fusibles.

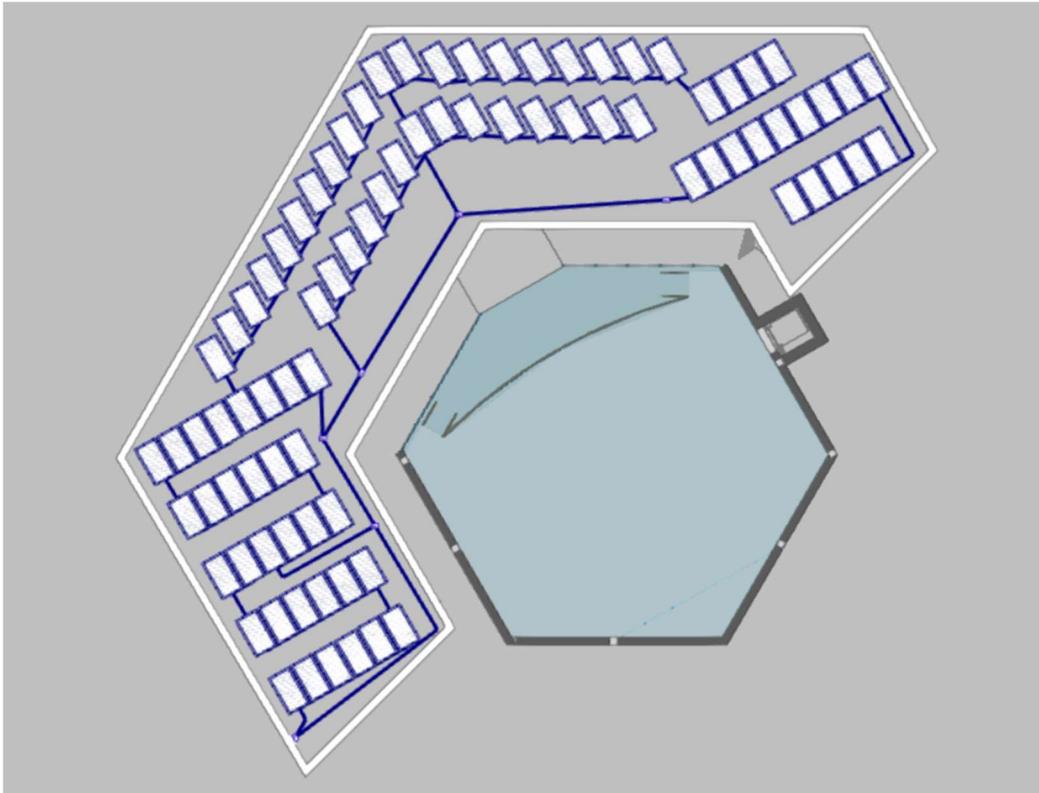


Figura 73. Distribución de los módulos solares y cableado exterior.

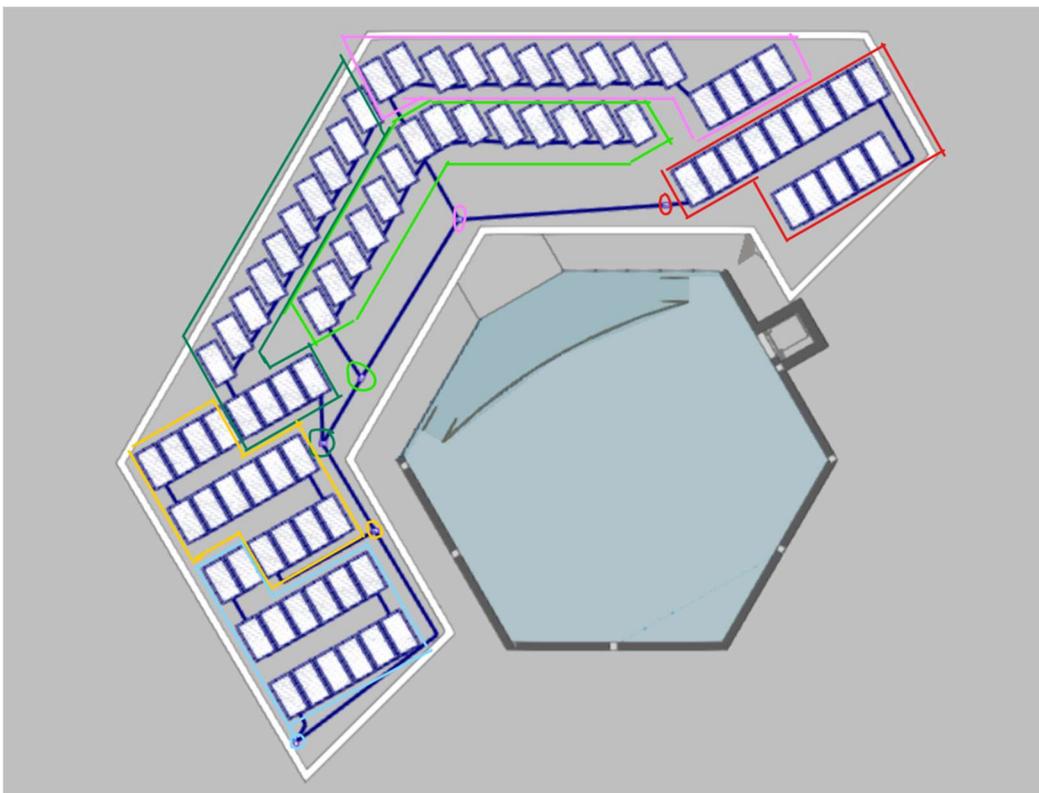


Figura 74. Agrupaciones de placas solares.



Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Una vez se tiene ya todas las placas conectadas a sus correspondientes cajas de conexión, se necesita conectar con el inversor que se encuentra en la planta inferior en la sala de mantenimiento.

Para esta conexión se debe cambiar la canalización ya que el cable va a estar en el interior, lo cambiamos a un conductor A1 aislado, pared aislante. Se coloca el fusible en cabecera y se coloca el conductor para unir la caja desconexión con el inversor.

Por último, se realiza la conexión del inversor a la conexión a red metiendo una canalización con fusible en cabecera.

De este modo ya estaría modelada toda la instalación.

7.5 Cálculo de la instalación

Una vez este todo modelado, se procede a calcular la instalación desde la barra de herramientas, la opción actualizar resultados

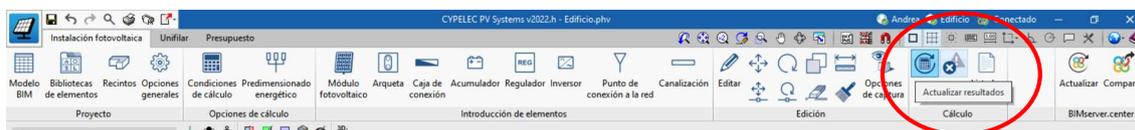


Figura 75. Opciones de cálculo

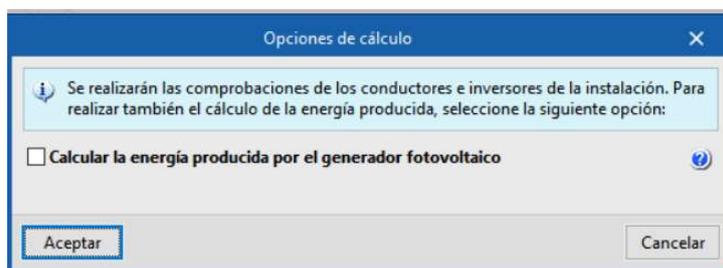


Figura 76. Ventana obtenida de opciones de cálculo.

En primer lugar, no se va a calcular la energía producida por el generador fotovoltaico, simplemente se da aceptar, y realizará un cálculo de los conductores. Con esto se quiere comprobar que no da ningún tipo de error la instalación. En este caso, como se puede ver en la Fig 77, se tienen señales de advertencias, son debidas a que los tramos entre paneles no tienen un fusible asociado, pero no son importantes.

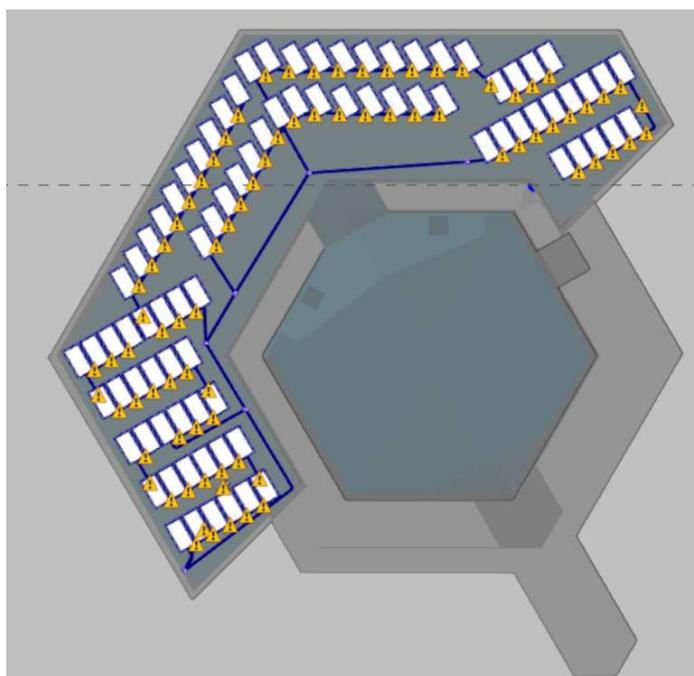


Figura 77. Instalación calculada, muestra señal de advertencia.

Una vez realizado esto, si se hace clic sobre cualquier conductor aparecen las comprobaciones que se realizan como la intensidad admisible, la caída de tensión máxima admisible del tramo y la comprobación de sobrecarga. Si alguna no cumpliera, el programa nos señalaría el lugar con un mensaje de error, lo que habría que hacer es ir modificando los conductores, su sección, el calibre del fusible, etc, hasta que cumpla y actualizar el cálculo.

El inversor también muestra todas las comprobaciones realizadas, que cumplen.

Inversor	
Cota absoluta	2.00 m
Tipo de inversor	
Fronius SYMO 20.03-M.	
Rendimiento	98.10 %
Voltaje	200 ~ 1100 V
Potencia entregada	60000.00 W
Potencia pico	90000.00 W
Intensidad máxima de entrada por MPPT	60.00 A
Polaridad	Trifásica
Comprobaciones	
Potencia	60000.00 > 30240.00 W
Voltaje MPPT 1	200.00 < 583.80 < 1100.00 V
Intensidad MPPT 1	57.60 < 60.00 A

Figura 78. Comprobaciones del inversor.

Una vez se tenga toda la instalación dimensionada sin errores, vamos a calcular la potencia generada por el generador o energía producida.

Ahora si damos a la pestaña calcular la energía producida por el generador fotovoltaico y a la del cálculo con perfil de sombras simplificado.

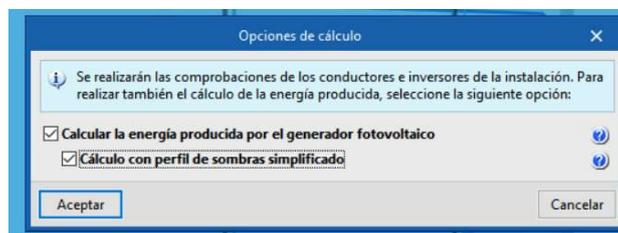


Figura 79.

En la realización de estos cálculos primero se dimensionarán todos los cables y después calcula las sombras. Va a calcular sobre cada uno de los paneles todo el perfil de sombras para posteriormente sacar un único perfil y un cálculo de factor de sombra y del factor de inclinación.

Con este cálculo se obtiene un nivel detallado de toda la instalación, tiene una gran funcionalidad previendo el espacio que ocupa, y además, destacar que el perfil de sombras es un cálculo muy avanzado que se puede obtener gracias a tener el modelo BIM que proporciona todo el perfil de sombras.

Se consigue tener una planificación real de los espacios al igual que se tiene una visión global del proyecto al estar integrado en un flujo de trabajo OpenBIM. Esta instalación realmente forma parte de un proyecto global, en el que intercambiaríamos información con otros profesionales de otras disciplinas

evitando las colisiones y trabajando mucho más rápido, ahorrando tiempos y haciendo un proyecto mucho más viable.

Una vez calculado, si hubiera algún error con algún panel que no cumpliera con la inclinación o sombras permitidas, el programa nos los volvería a indicar con una X en rojo en señal de error.

ANÁLISIS DE SOMBRAS

Si nos colocamos con el cursor sobre las placas, nos muestra la información del módulo fotovoltaico. En este análisis se observa como las placas solares cercanas al antetecho tienen un FS=0.55 (Fif. 80), mientras que en una placa situada más hacia el centro de la cubierta el factor es mucho mayor. Tener esta información es una gran ventaja de cálculo, en función de la latitud en la que nos encontremos tendremos el recorrido del sol con las sombras que genera y de esta forma tendremos un cálculo ajustado a las pérdidas por sombreado que son las más difíciles de incluir en las instalaciones fotovoltaicas.

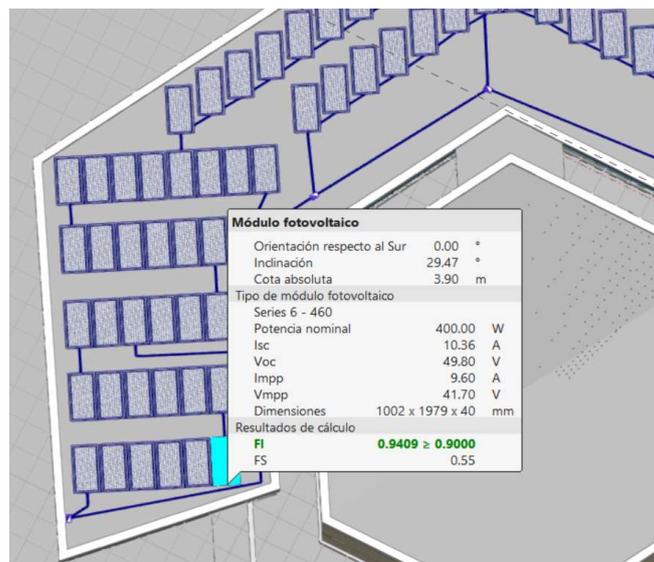


Figura 80. Resultados obtenidos para el panel sombreado en azul

Ahora se va a analizar cómo se ha generado el panel de sombras en este mismo panel, para ello le seleccionamos y aparece la ventana mostrada en la Fig. 81.

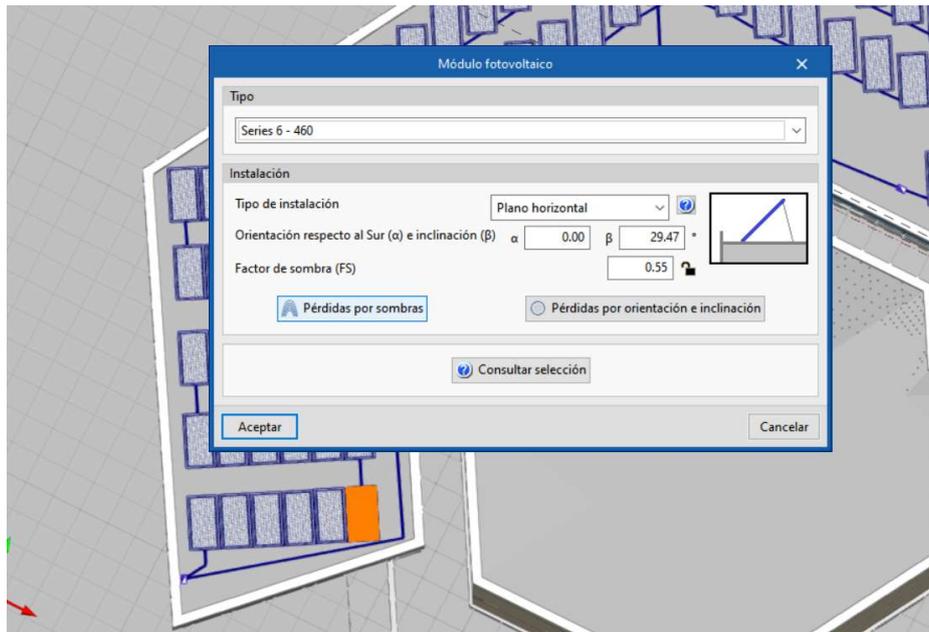


Figura 81.

En esta ventana seleccionamos las pérdidas por sombras y se obtiene

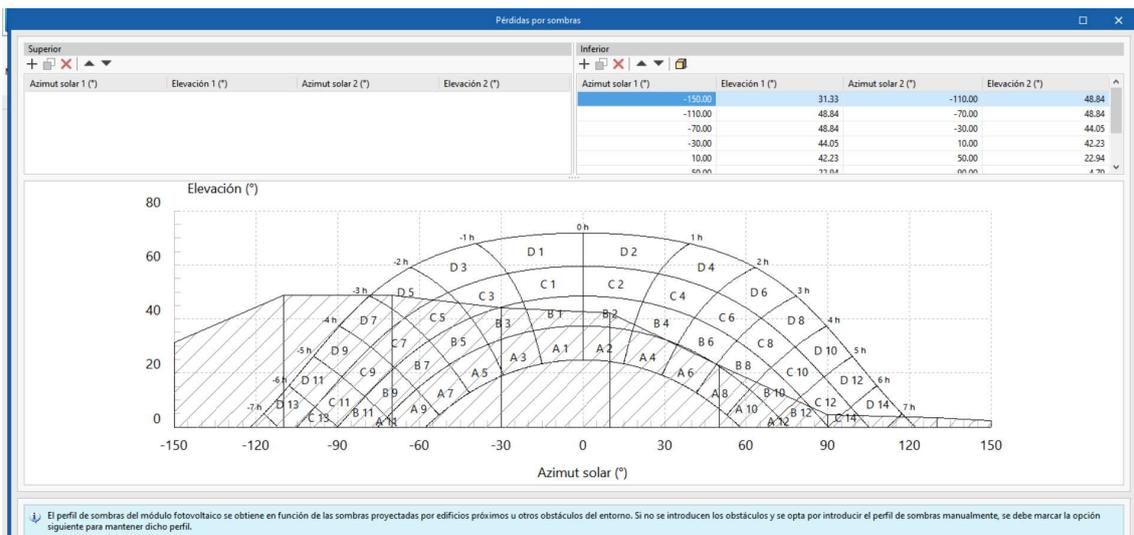


Figura 82. Pérdidas por sombra de un panel.

Se genera automáticamente el perfil de sombras a partir en función de las sombras proyectadas por edificios u otros obstáculos del entorno.

Por otro lado, también se puede ver las pérdidas por orientación e inclinación del módulo fotovoltaico (Fig.83).

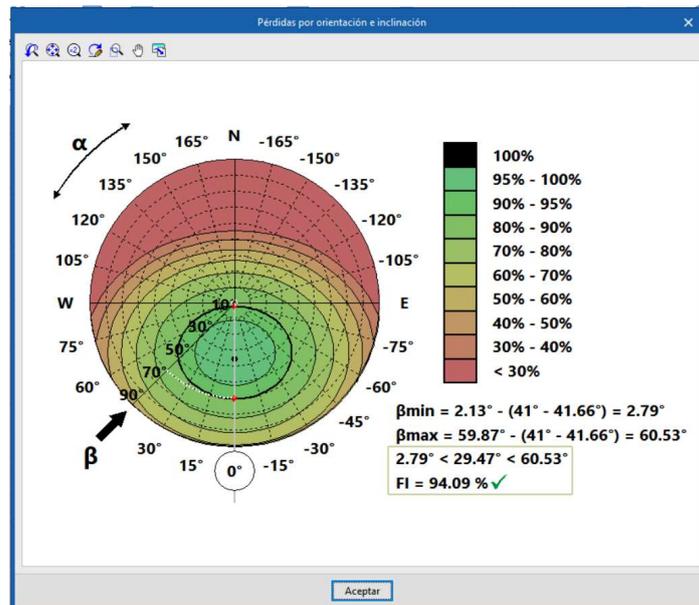


Figura 83. Pérdidas por orientación e inclinación.

Las pérdidas por orientación e inclinación también están representadas en función del azimut y de la inclinación máxima y mínima. Como se muestra si no estuviera entre esos valores el programa indicaría un mensaje de error porque no cumpliría.

Ahora se analiza otro panel con un factor de sombra mayor, en este caso un $FS=0.98$, esto quiere decir que la mayor parte de superficie del módulo está expuesta a la radiación solar directa.

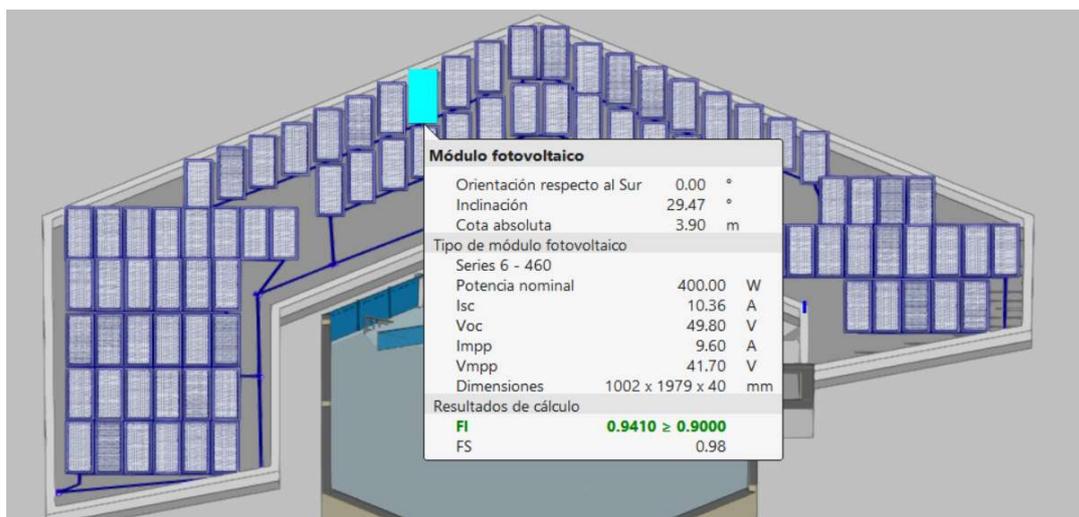


Figura 84. Módulo con un $FS=0.98$.

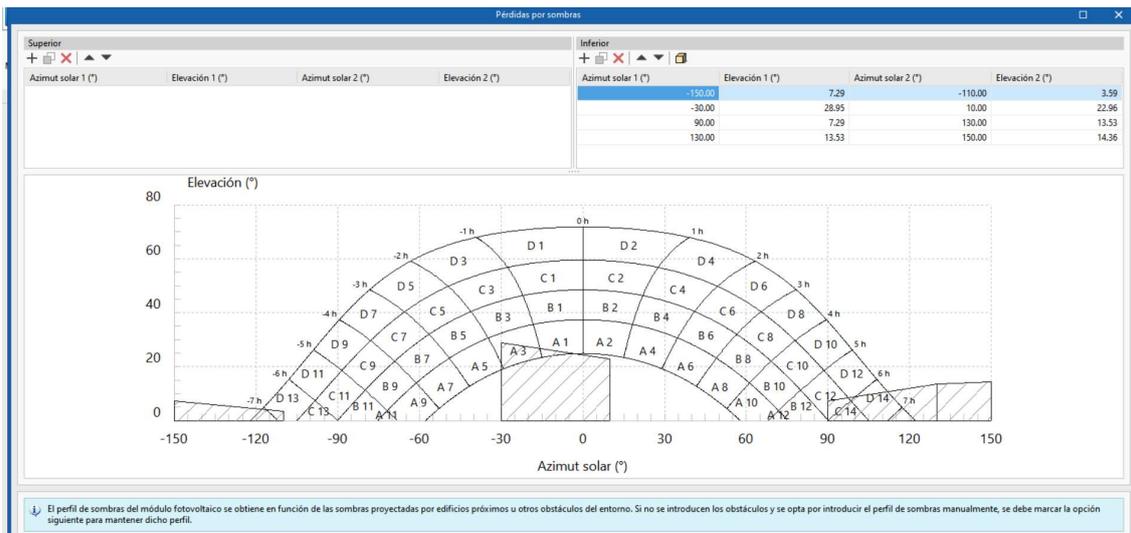


Figura 85. Perfil de sombras para un FS=0.98

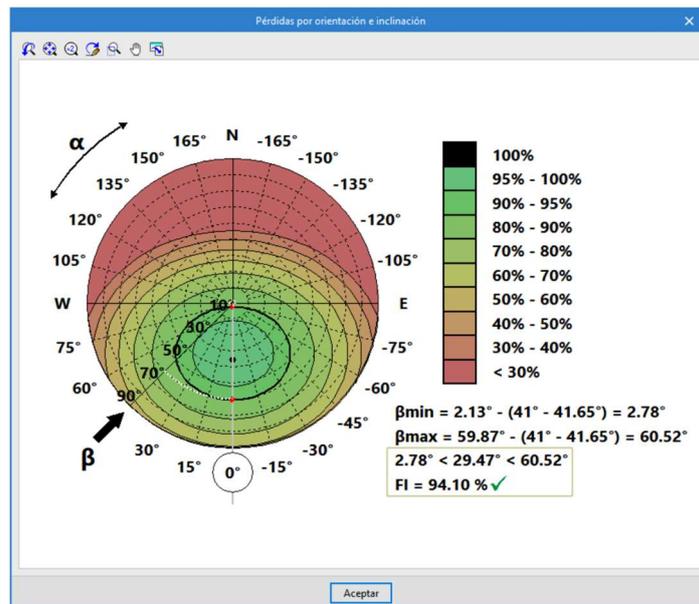


Figura 86. Pérdidas por orientación e inclinación con FS=0.98

Si comparamos ambos paneles, se muestran perfiles de sombras muy diferentes para cada panel debido a la diferencia de exposición solar a los que están expuestos. En contraste, las pérdidas por orientación e inclinación son muy similares ya que todos los paneles están colocados de la misma forma.

Para terminar de analizar las pérdidas de los módulos, se puede generar un documento en “consultar selección” con todos los cálculos realizados de las pérdidas por inclinación y por sombra. En el Anexo 12.3 se muestran dichos cálculos para los dos ejemplos expuestos anteriormente.

Los siguientes documentos generados son sobre los conductores o canalizaciones de la instalación. Se muestran en el Anexo 12.4, muestra la canalización que une las placas solares entre ellas, la canalización que une las cajas de conexión con el inversor y la canalización que une el inversor con la conexión a red.

Con todo esto ya se tiene calculada y dimensionada toda la instalación, por lo que ya se pueden obtener todos los documentos de cálculos justificativos.

Estos se obtienen desde la opción de “Listados” dentro de la pestaña de cálculo de la barra de herramientas.

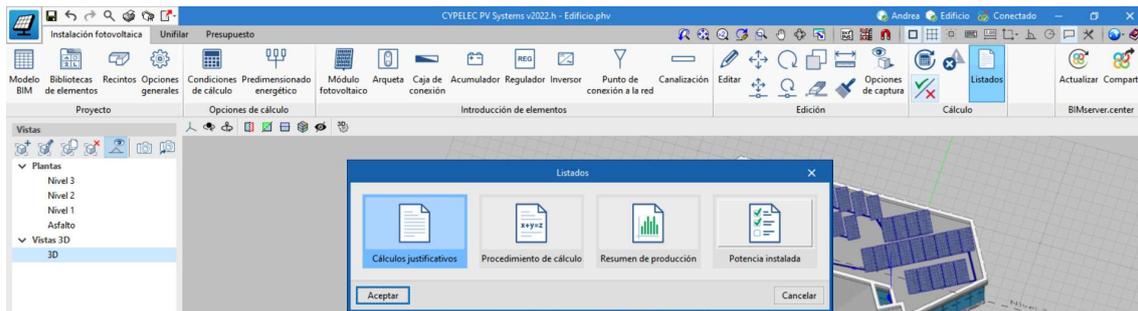


Figura 87. Barra de herramientas, “Listado” para obtener los cálculos deseados.

POTENCIA INSTALADA

Si se ha marcado las exigencias del CTE en el documento básico de ahorro de energía 5, en función de la superficie construida, y de cubierta. La potencia mínima y máxima que exige. Anexo 12.5.

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Se tiene toda la energía producida y todos los cálculos justificativos que se han seguido para cada uno de los paneles. Se sacan mes por mes. Se muestra en el Anexo 12.6.

7.6 Unifilar

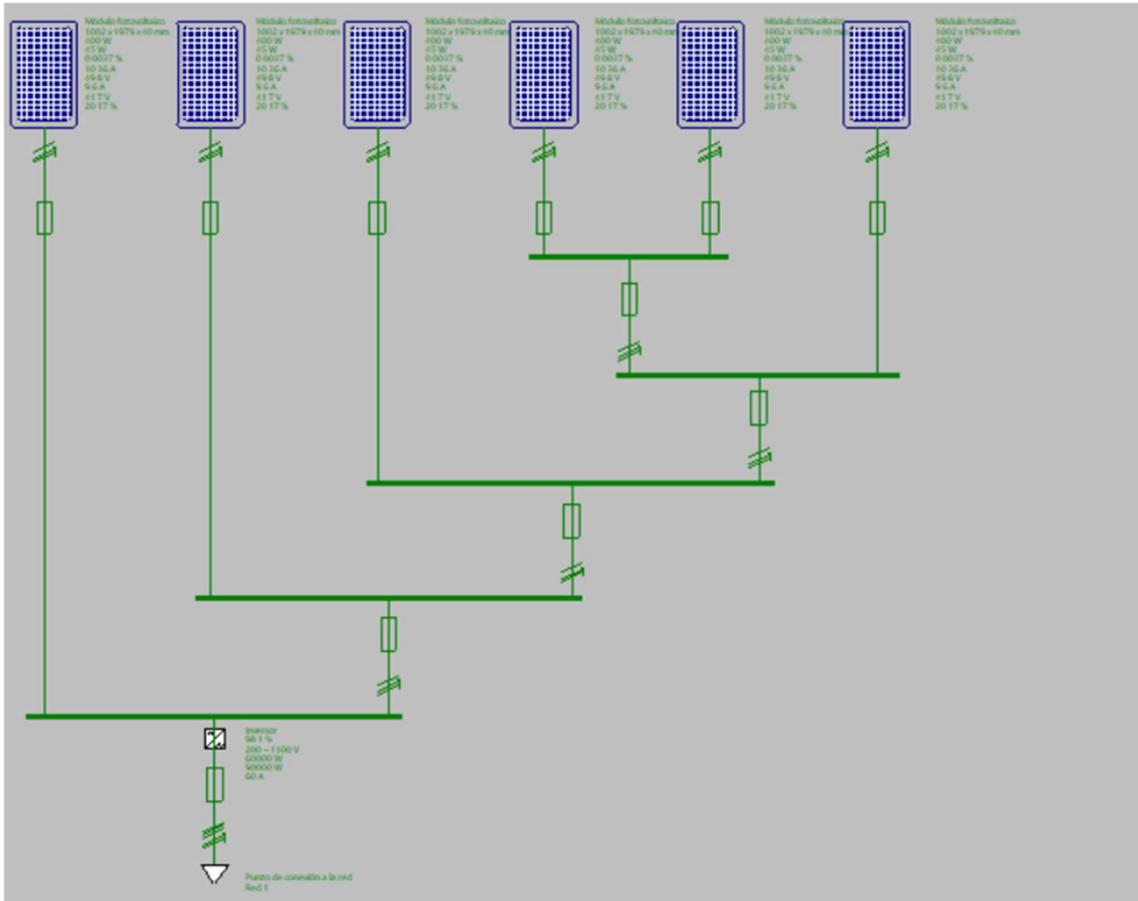


Figura 88. Unifilar.

8. Presupuesto de instalación fotovoltaica

El propio programa es capaz de generar el presupuesto de la instalación desde la pestaña “Presupuesto”.



Figura 89. Pestaña presupuesto.

El programa cuenta con la base de datos del proyecto, donde tiene generado precios estándar de los elementos que se emplean en la instalación.

Con estos datos es capaz de generar el presupuesto de la instalación diseñada.

Código	Ud	Resumen	A	B	C	D	Cantidad	Precio	Importe
Presupuesto		Presupuesto							15.779,83 EUR
I		Instalaciones							15.779,83 EUR
IE		Eléctricas							15.779,83 EUR
IEH		Cables							1.192,37 EUR
IEH010ch	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada ...					155,05	7,16 EUR	1.110,16 EUR
IEH010ck	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada ...					0,60	16,90 EUR	10,14 EUR
IEH010ci	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada ...					7,61	9,47 EUR	72,07 EUR
IEF		Solar fotovoltaica							14.459,28 EUR
IEF001bc	Ud	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio monocri...					84,00	150,07 EUR	12.605,88 EUR
IEF050b	Ud	Armario monobloc de poliéster reforzado con fibra de ...					6,00	66,27 EUR	397,62 EUR
IEF020h	Ud	Inversor monofásico, potencia máxima de entrada 9 k...					1,00	1.455,78 EUR	1.455,78 EUR
IEX		Aparamenta							128,18 EUR
IEX300f	Ud	Conjunto fusible formado por fusible cilíndrico, curva ...					13,00	9,86 EUR	128,18 EUR

Figura 90. Esquema del presupuesto.

El presupuesto final de ejecución por contrata sería de 22.721,37 euros, en el Anexo 12.7 se muestra el presupuesto generado con más detalle.



9. Conclusiones

Tras una revisión exhaustiva y completa del Trabajo de Fin de Grado, se llega a la conclusión de que se han logrado satisfactoriamente los objetivos académicos y sostenibles planteados inicialmente.

En primer lugar, después de una exploración activa sobre la manera más correcta de realizar el diseño con metodología BIM y toparnos con algunos problemas, se concluye que se ha realizado el diseño de un edificio sostenible de manera colaborativa a través del software Revit de Autodesk, trabajando y tomando decisiones de manera conjunta.

Una vez finalizado el diseño, se ha continuado aplicando la metodología BIM para seguir trabajando con el modelo colaborativamente desde otros programas.

Por otro lado, en este trabajo se presenta el diseño inicial de un centro académico sostenible, queriendo plasmar en él la importancia del desarrollado de nuevas construcciones sostenibles planteadas por la industria de la construcción actualmente.

Se han expuesto diversas motivaciones que respaldan la necesidad de enfocar el diseño y construcción de edificaciones desde la perspectiva del ahorro energético, tratando de ser más eficientes y sostenibles con el medio ambiente. Para ello, se han considerado factores ambientales, económicos, sociales y legales.

Se han adoptado medidas que influyen directamente a la edificación, entre ellas la orientación del edificio de acuerdo con las características climatológicas de Valladolid. También se ha realizado una selección de materiales sostenibles, se ha tenido en cuenta la gestión eficiente de los recursos, el uso de energías renovables y el fomento de la biodiversidad logrando así reducir el consumo de recursos naturales, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizar los residuos generados y promover un entorno saludable.

Y por último, y como objetivo fundamental del presente trabajo desde el punto de vista académico como sostenible, se ha realizado mediante tecnología OpenBIM el diseño y cálculo de la instalación fotovoltaica que suministre parte de la energía que consumirá el edificio, promoviendo una vez más el uso de energías renovables y limpias.



10. Línea futura

Para concluir este trabajo, se plantea como una línea futura la posibilidad viable de finalizar el proyecto con el diseño de las instalaciones restantes y la realización de los cálculos estructurales, utilizando nuevamente herramientas y aplicaciones basadas en la tecnología OpenBIM.

Además, también se propone la implementación de un huerto solar que pueda generar energía a gran escala para cubrir por completo las necesidades de consumo del edificio.

Estas propuestas abren el camino hacia un desarrollo más completo y sostenible del proyecto, aprovechando las ventajas de la tecnología OpenBIM y la generación de energía solar a gran escala para promover un entorno construido más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.



11. Bibliografía

- [1] «Datos de interés | Naciones Unidas». <https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings> (accedido 29 de enero de 2023).
- [2] «What Is Climate Change?».
- [3] «Incendios en España: 2022, el peor año en lo que va de siglo». <https://www.rtve.es/noticias/20220722/incendios-peor-decada-siglo/2390543.shtml> (accedido 22 de diciembre de 2022).
- [4] IPCC, «Cambio climático: una amenaza para el bienestar de la humanidad y la salud del planeta. La adopción de medidas inmediatas puede asegurar nuestro futuro.», feb. 2022.
- [5] U. Nations, «The Paris Agreement | United Nations», Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
- [6] «Agenda 2030 - Naciones Unidas para Europa Occidental - España». <https://unric.org/es/agenda-2030/> (accedido 27 de diciembre de 2022).
- [7] «Coordinación mundial ante el cambio climático | Sostenibilidad». <https://www.expansion.com/especiales/sostenibilidad/2022/03/22/62387d05e5fdeadd0f8b45b1.html> (accedido 27 de diciembre de 2022).
- [8] SOLARINFO, «Informe anual de UNEF muestra que la energía fotovoltaica atraviesa en España un momento clave», 2022.
- [9] «Informe “Tendencias en las aplicaciones fotovoltaicas 2022” sitúa a la energía fotovoltaica en el centro de la transición energética».
- [10] «Comisión europea_ alianza».
- [11] «Industria de la construcción VS cambio climático | Arcus Global». <https://www.arcus-global.com/wp/industria-de-la-construccion-vs-cambio-climatico/> (accedido 27 de diciembre de 2022).
- [12] «Las dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D - BibLus». <https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim/> (accedido 30 de enero de 2023).
- [13] «¿Qué es BIM? - BuildingSMART Spanish Chapter». <https://www.buildingsmart.es/bim/> (accedido 25 de octubre de 2022).
- [14] «Ventajas de BIM | ¿Por qué usar BIM? | Autodesk». <https://www.autodesk.es/solutions/bim/benefits-of-bim> (accedido 26 de octubre de 2022).



- [15] Jaime Montava Miró, «¿En qué países BIM es obligatorio para obras públicas?», *Archdaily*, feb. 2021.
- [16] «Tecnología Open BIM en los programas de CYPE». <http://open-bim.cype.es/> (accedido 27 de octubre de 2022).
- [17] «Cómo empezar con el trabajo colaborativo en Revit - Parte 1 - Msistudio». <https://msistudio.com/como-empezar-con-el-trabajo-colaborativo-en-revit-parte-1/> (accedido 15 de noviembre de 2022).
- [18] P. Zulueta y A. Alonso, «MANUAL DE COMPARTICIÓN DE PROYECTOS BIM EN LA NUBE», 2021.
- [19] «IFC, ¿qué es IFC o Industry Foundation Classes? | Espacio BIM». <https://www.espaciobim.com/ifc> (accedido 30 de enero de 2023).
- [20] Cype, «Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción Guía de interoperabilidad CYPE-REVIT MANUAL DE USO v.2.0 Desarrollo de proyectos con CYPE y REVIT».
- [21] BIMserver.center, «¡Esto es BIMserver.center!», Accedido: 30 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bimserver.center/es/>
- [22] «Plugin Open BIM - Revit». <https://info.cype.com/es/producto/plugin-open-bim-revit/> (accedido 30 de enero de 2023).
- [23] Naciones Unidas, «Sostenibilidad | Naciones Unidas». <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad> (accedido 15 de febrero de 2023).
- [24] V. Prieto-Sandoval, C. Jaca, y M. Ormazabal, «Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación », *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, p. 15, 2017.
- [25] «Definición de sostenibilidad: ¿sabes qué es y sobre qué trata? | Ingredientes que Suman». <https://blog.oxfamintermon.org/definicion-de-sostenibilidad-sabes-que-es-y-sobre-que-trata/> (accedido 26 de febrero de 2023).
- [26] G. L. F. Benachio, M. do C. D. Freitas, y S. F. Tavares, «Circular economy in the construction industry: A systematic literature review», *J Clean Prod*, vol. 260, jul. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121046.
- [27] Grupo de trabajo GT-6, «Economía Circular en el Sector de la Construcción», *Congreso Nacional de Medio Ambiente*, 2018.
- [28] K. Goyo, «Certificaciones de sostenibilidad para edificios | Ingeniería.es». <https://www.ingenieria.es/certificaciones-de-sostenibilidad-para-edificios/> (accedido 9 de marzo de 2023).



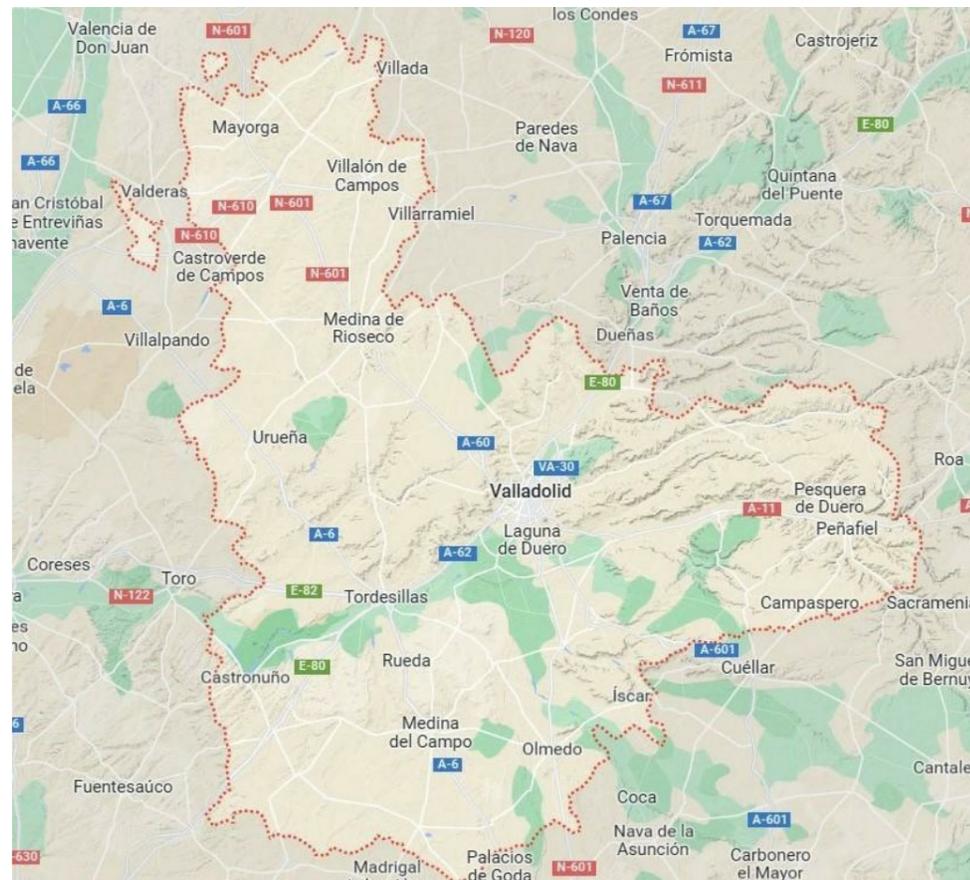
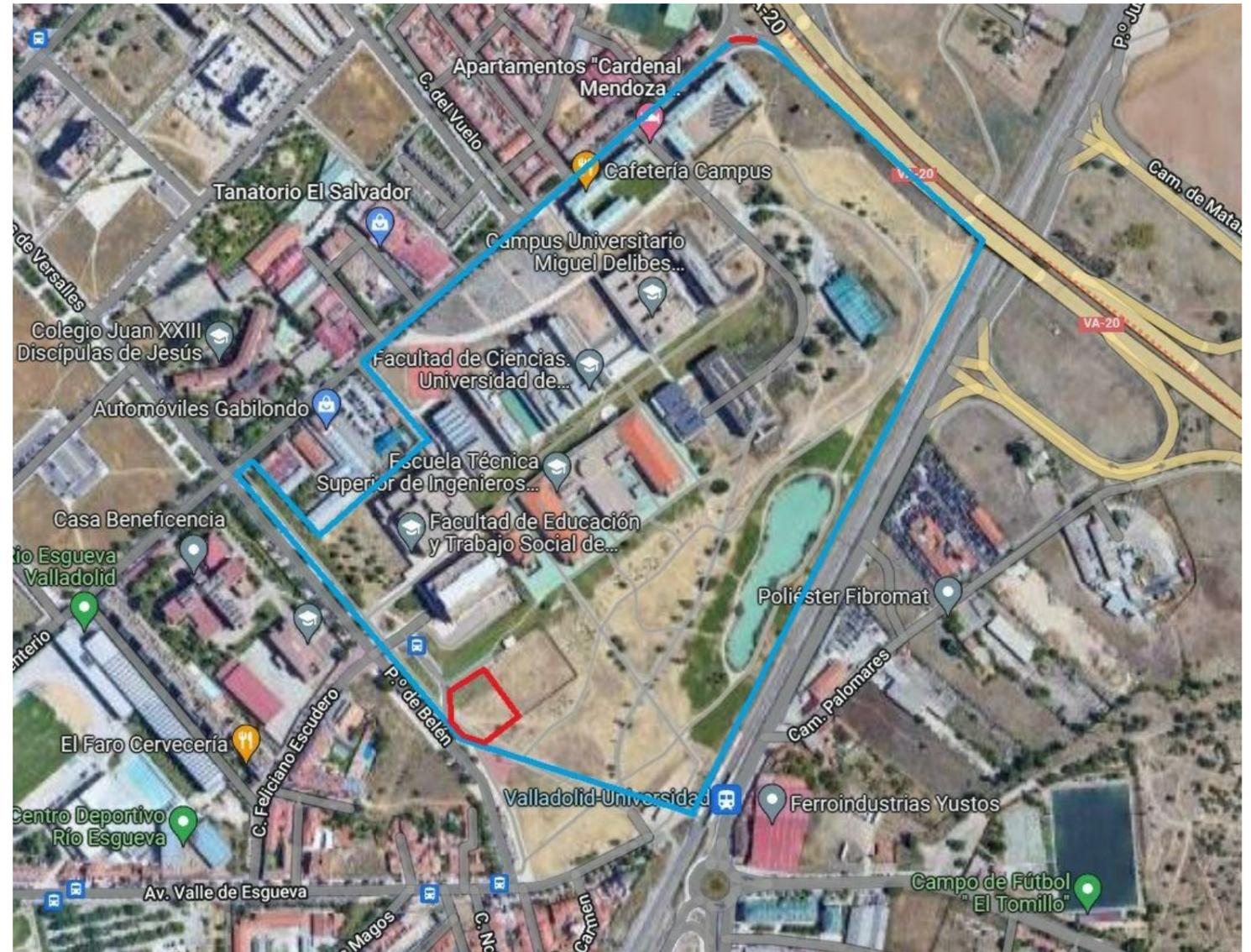
- [29] J. Bové, «Implementación de cubiertas ajardinadas en la lucha contra el cambio climático», *Construible*, 22 de julio de 2016.
- [30] «Energía solar: qué es, como funciona y sus ventajas», <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-solar>, 11 de noviembre de 2021.
- [31] «¿Cómo funciona la energía solar fotovoltaica? Todo lo que debes saber», 11 de noviembre de 2019. <https://twenergy.com/energia/energia-solar/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [32] O. Planas, «Partes de un panel solar, estructura y componentes», 20 de junio de 2022. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico> (accedido 27 de junio de 2023).
- [33] INELDEC, «¿De qué están hechos los paneles solares?» <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [34] C. Zamorano, «¿Cuáles son los componentes de una instalación fotovoltaica? | Blog Engel Energy», 13 de julio de 2021. <https://engenergy.es/blog/componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [35] «CYPELEC PV Systems». <https://info.cype.com/es/producto/cypelec-pv-systems/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [36] «First Solar Series 6 ADVANCED THIN FILM SOLAR TECHNOLOGY MORE LIFETIME ENERGY PER NAMEPLATE WATT».
- [37] M. Sanz, «El CdTe es la mejor opción para sustituir al silicio | NextCity Labs», 21 de julio de 2021. <https://nextcitylabs.com/global/es/el-cdte-la-eleccion-fotovoltaica-inteligente-que-sustituye-al-silicio/> (accedido 27 de junio de 2023).
- [38] «Fronius Symo 20.0-3-M». Accedido: 27 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>



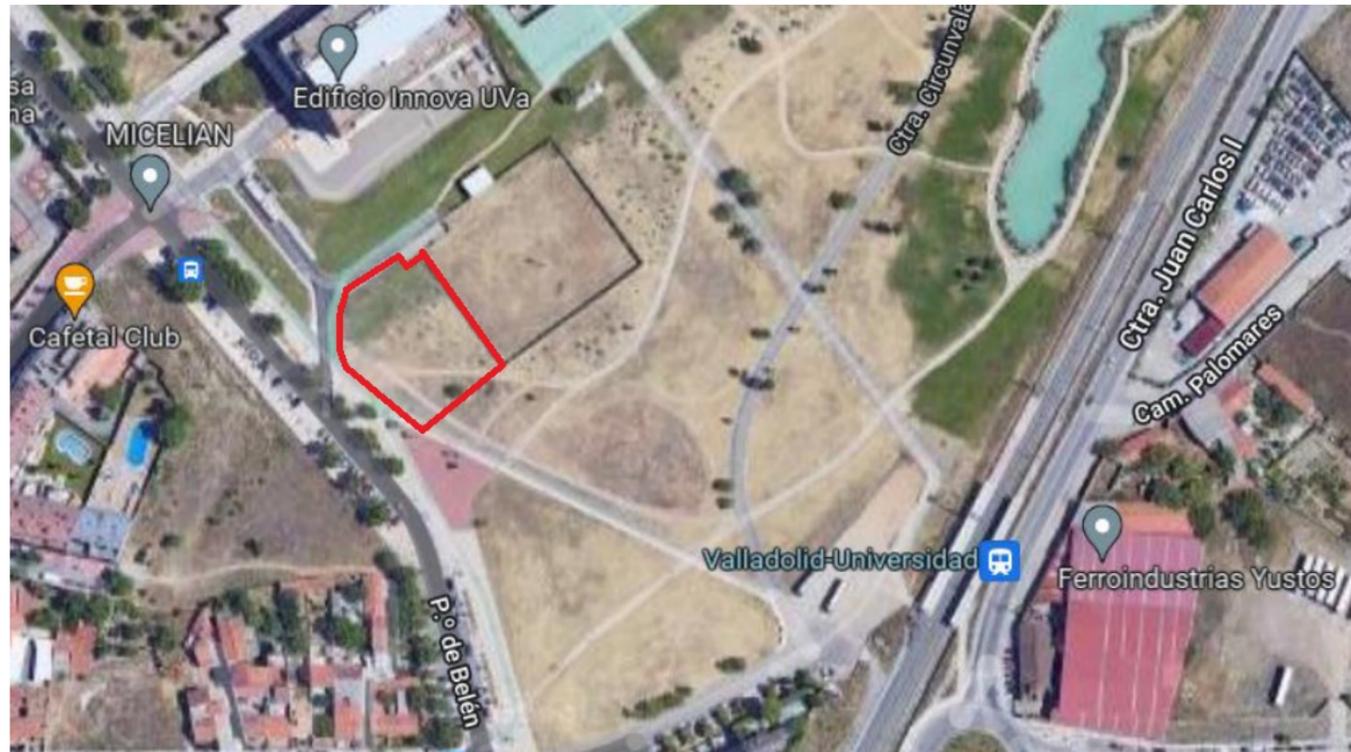
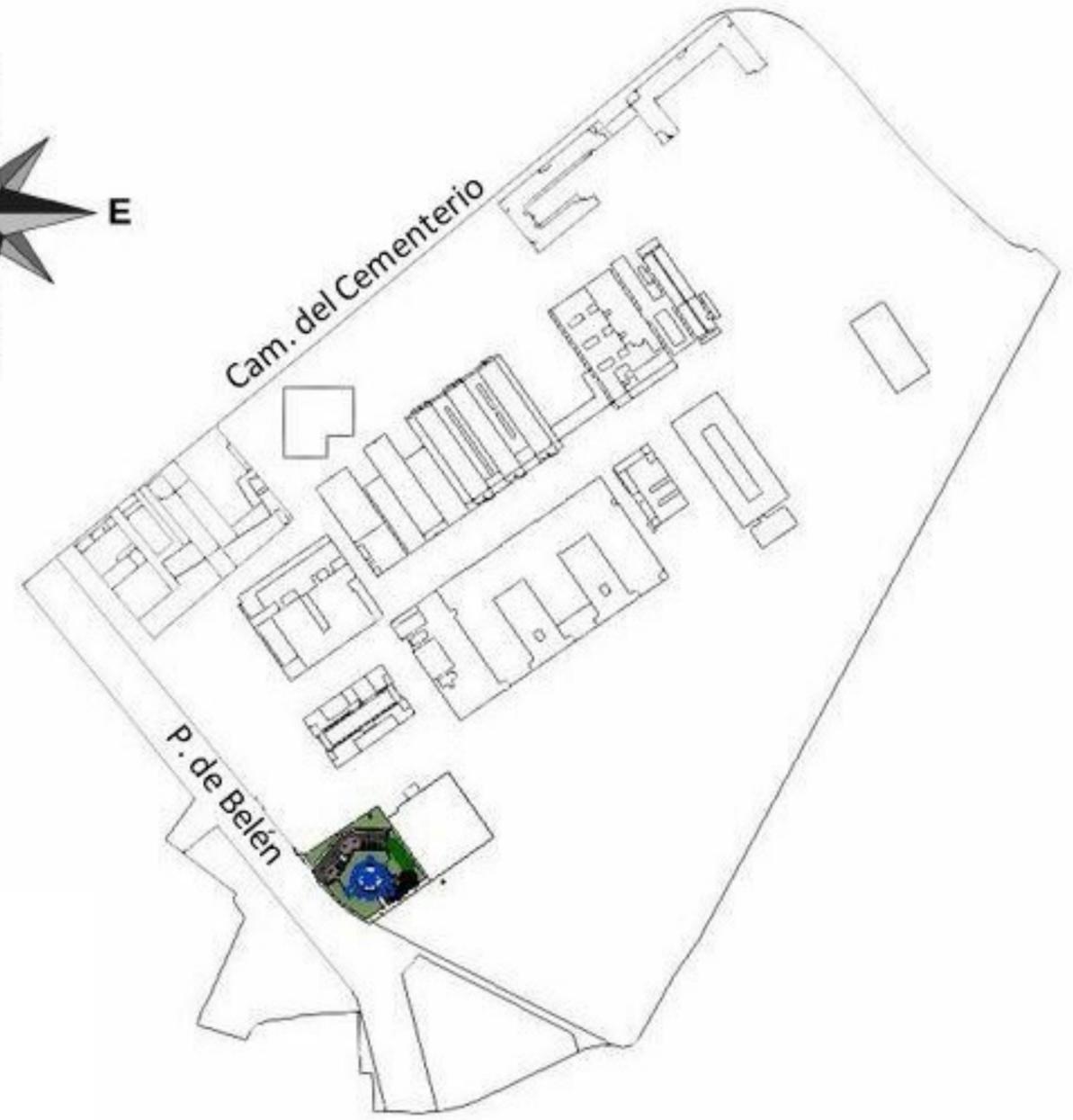
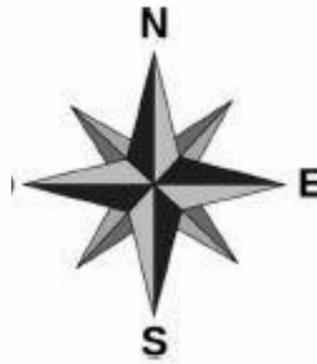
12. Anexos

12.1 Planos

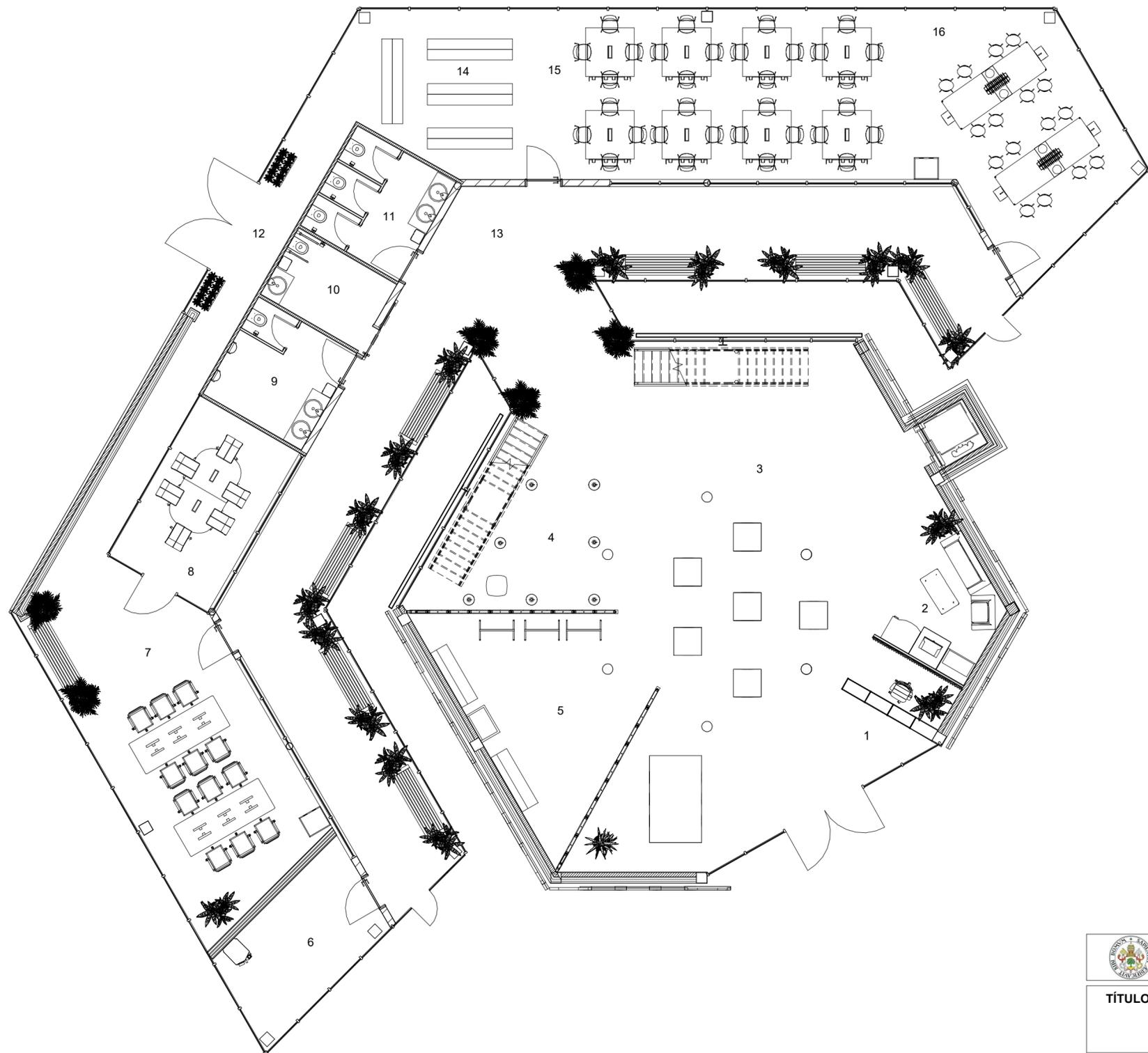
1. Situación
2. Emplazamiento
3. Distribución planta baja
4. Distribución primera planta
5. Cubiertas
6. Cotas y superficies planta baja
7. Cotas y superficies primera planta
8. Cotas y superficies cubiertas
9. Alzados
10. Secciones
11. Instalación fotovoltaica
12. Unifilar



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO	SITUACIÓN
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023 Nº PLANO 1
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 



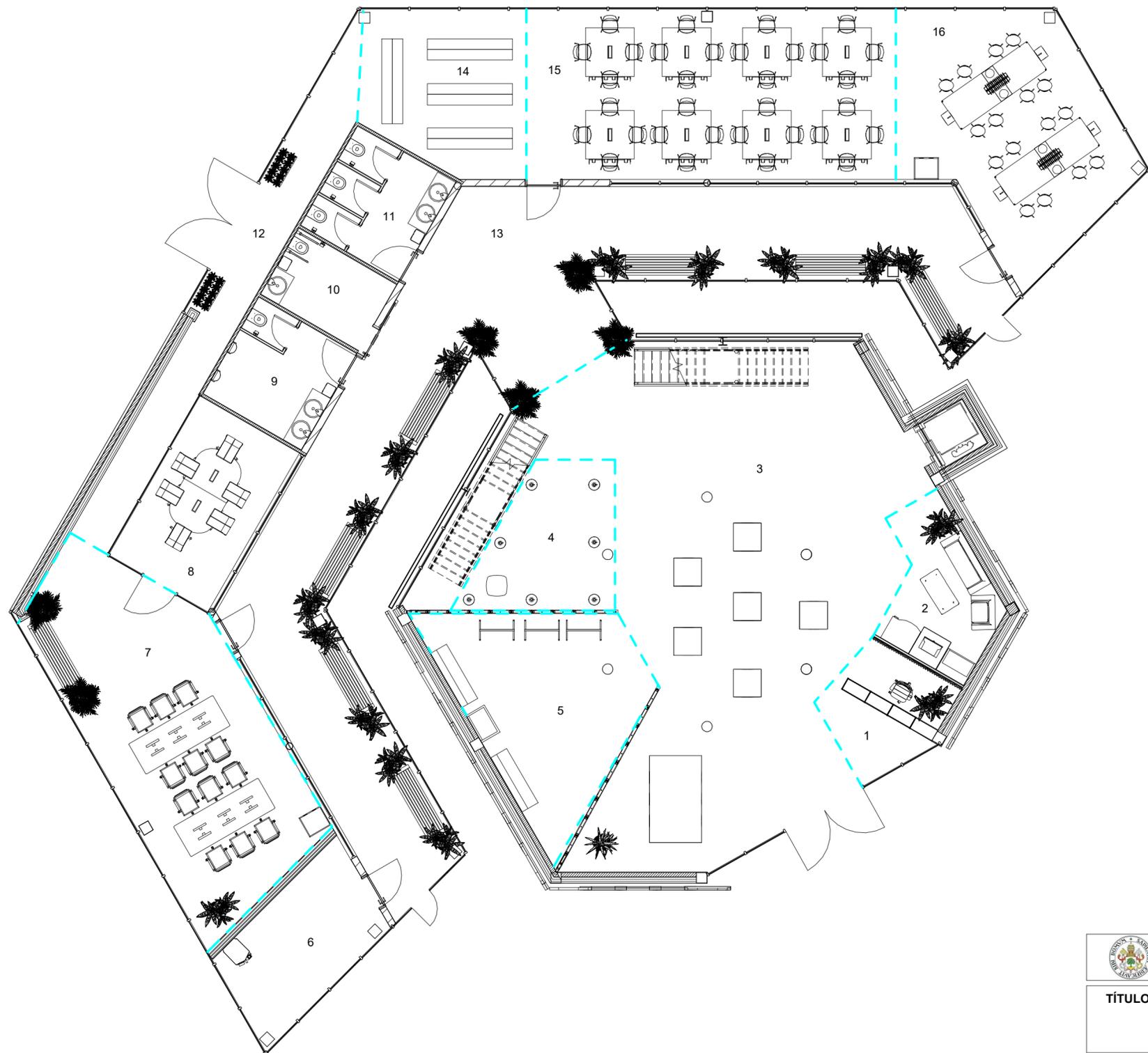
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO	EMPLAZAMIENTO
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023 Nº PLANO 2
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA 1:500 FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



Número	Nombre
1	Recepción
2	Zona descanso
3	Museo
4	Zona Realidad Virtual
5	Exposición
6	Sala mantenimiento
7	Sala de ordenadores
8	sala de reuniones
9	Aseo Hombres
10	Aseo PMR
11	Aseo Mujeres
12	Pasillo exterior
13	Galería
14	Biblioteca
15	Aula
16	Aula taller

1 Plano 3 Distribución P0
3 1:100

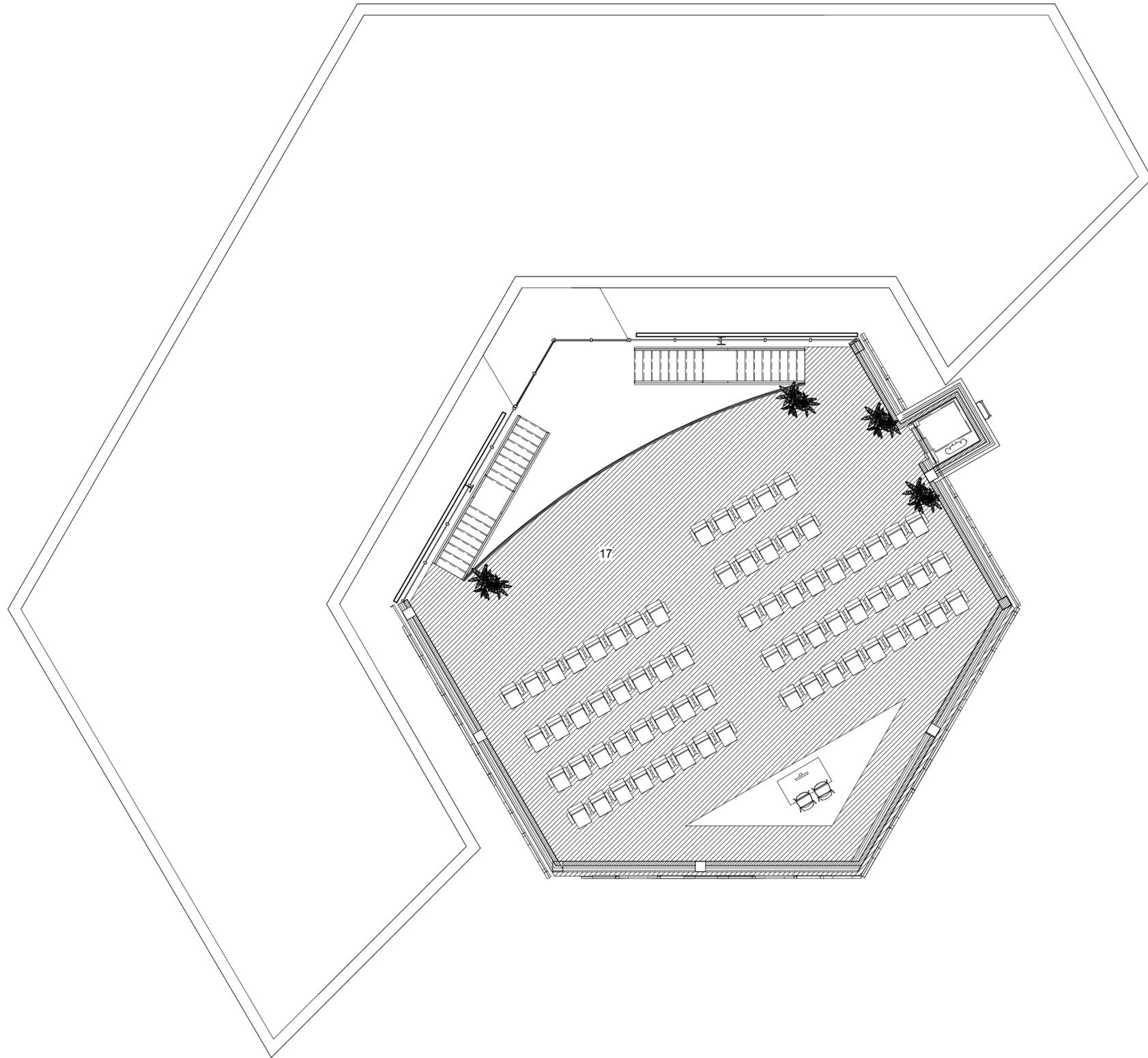
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 		
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM		
PLANO DISTRIBUCIÓN EN PLANTA BAJA		
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023	Nº PLANO 3
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA 1:100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
		Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales



Número	Nombre
1	Recepción
2	Zona descanso
3	Museo
4	Zona Realidad Virtual
5	Exposición
6	Sala mantenimiento
7	Sala de ordenadores
8	sala de reuniones
9	Aseo Hombres
10	Aseo PMR
11	Aseo Mujeres
12	Pasillo exterior
13	Galería
14	Biblioteca
15	Aula
16	Aula taller

1 Plano 3 Distribución P0
3 1:100

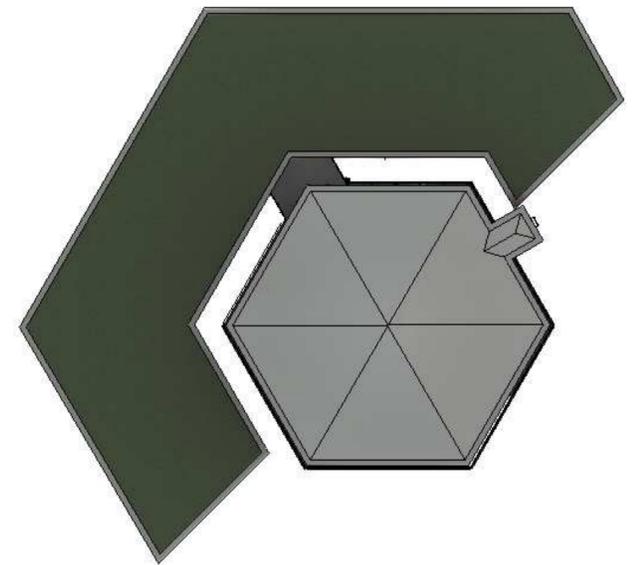
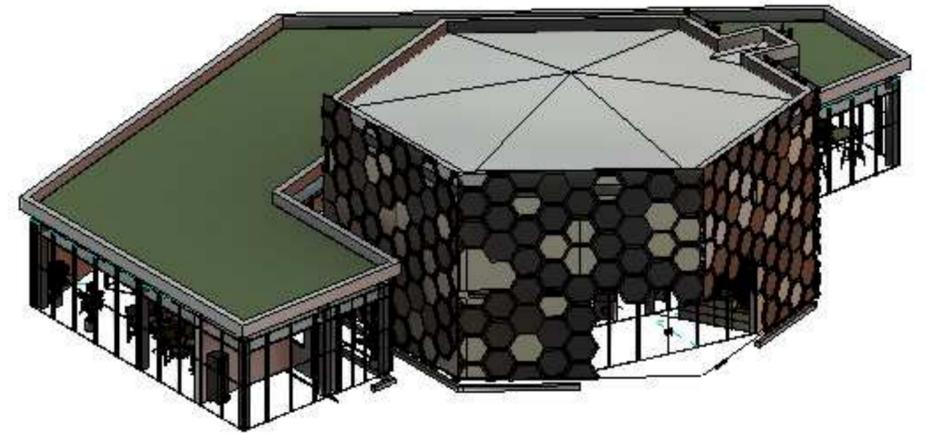
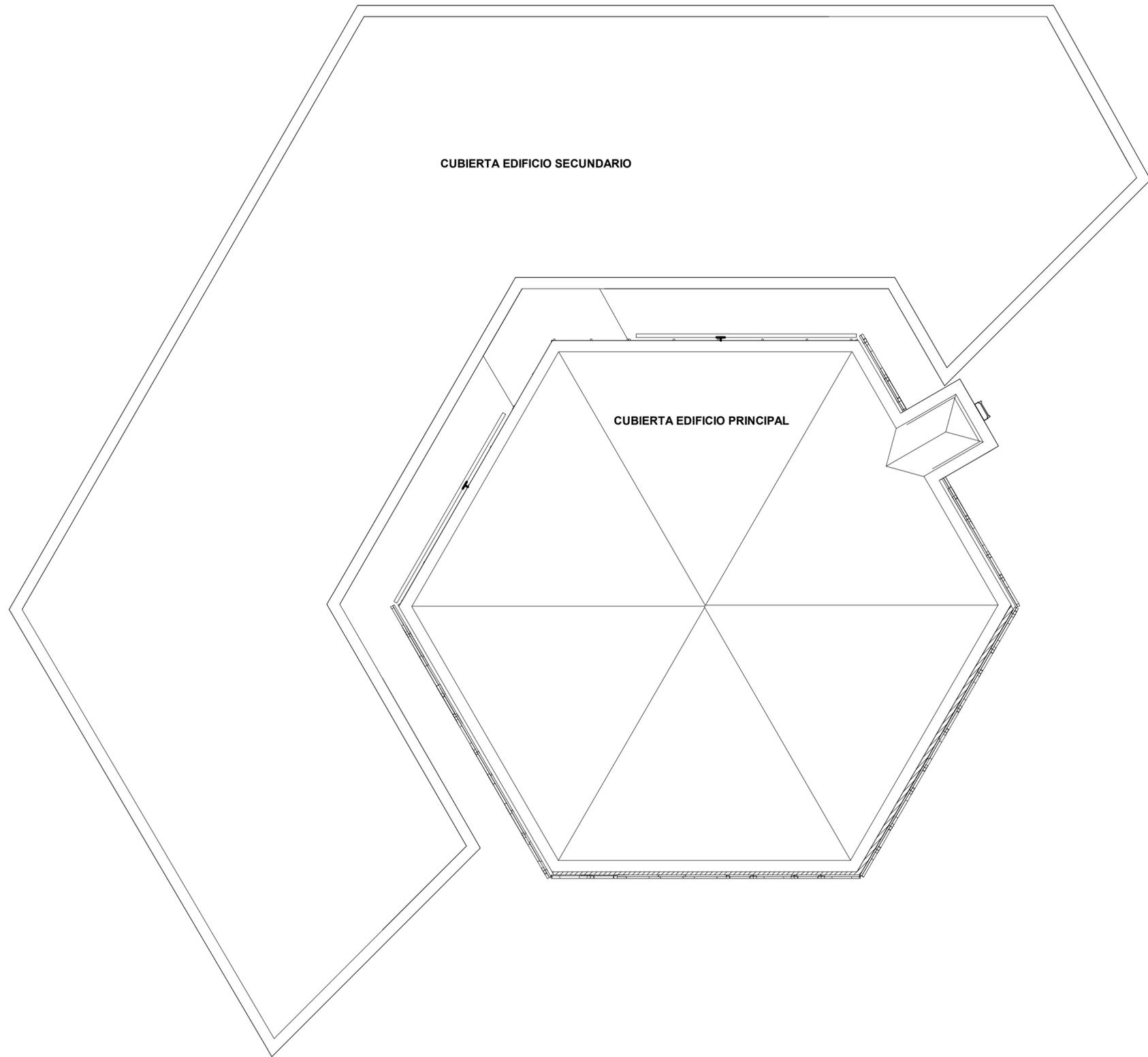
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 		
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM		
PLANO DISTRIBUCIÓN EN PLANTA BAJA		
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023	Nº PLANO 3
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA 1:100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales		



Número	Nombre
17	Sala de conferencias

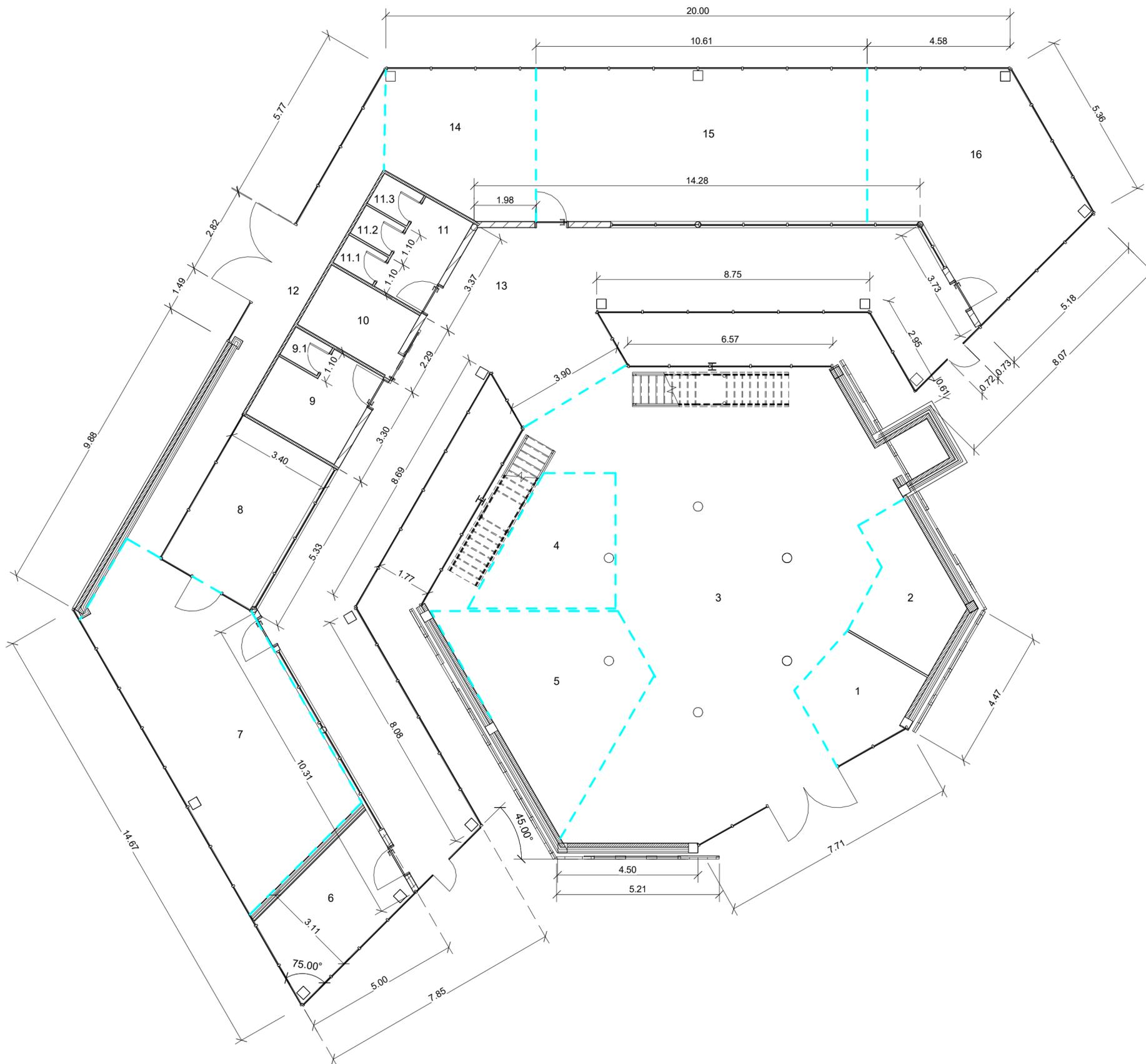
1 Plano 4 Distribución P1
4 1 : 100

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO DISTRIBUCIÓN PRIMERA PLANTA	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Nº PLANO 4
ESCALA 1 : 100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



1 Plano 5 Distribución cubiertas
5 1 : 100

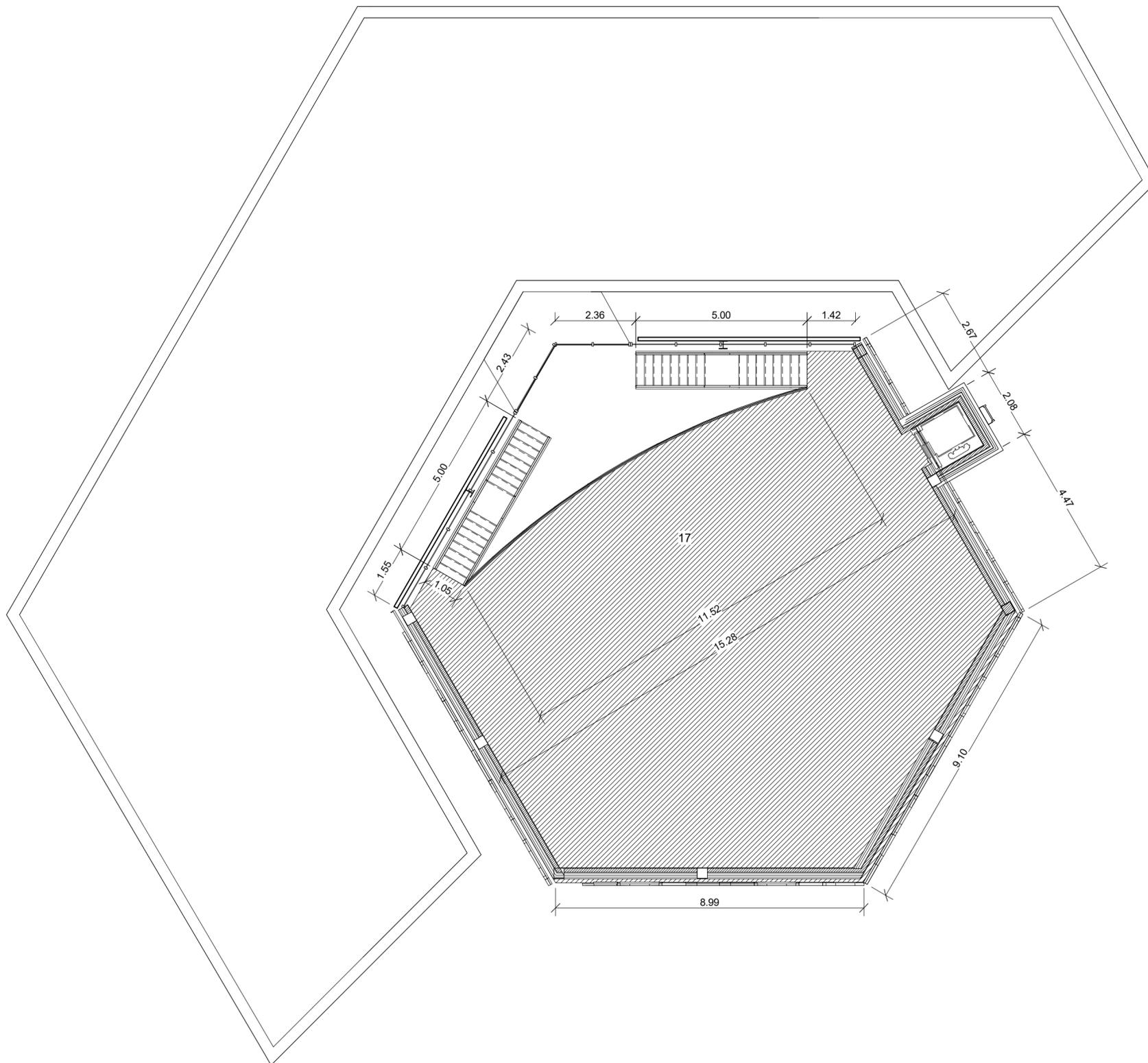
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO CUBIERTAS	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Nº PLANO 5
ESCALA 1 : 100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



Número	Nombre	Área útil (m2)
1	Recepción	10,31
2	Zona descanso	11,85
3	Museo	122,89
4	Zona Realidad Virtual	15,14
5	Exposición	28,06
6	Sala mantenimiento	14,83
7	Sala de ordenadores	50,86
8	Sala de reuniones	17,42
9	Aseo Hombres	10,22
10	Aseo PMR	7,16
11	Aseo Mujeres	10,3
12	Pasillo exterior	22,36
13	Galería	111,04
14	Biblioteca	21,02
15	Aula	51,89
16	Aula taller	37,8

1 Plano 6 Acotación P0
6 1:100

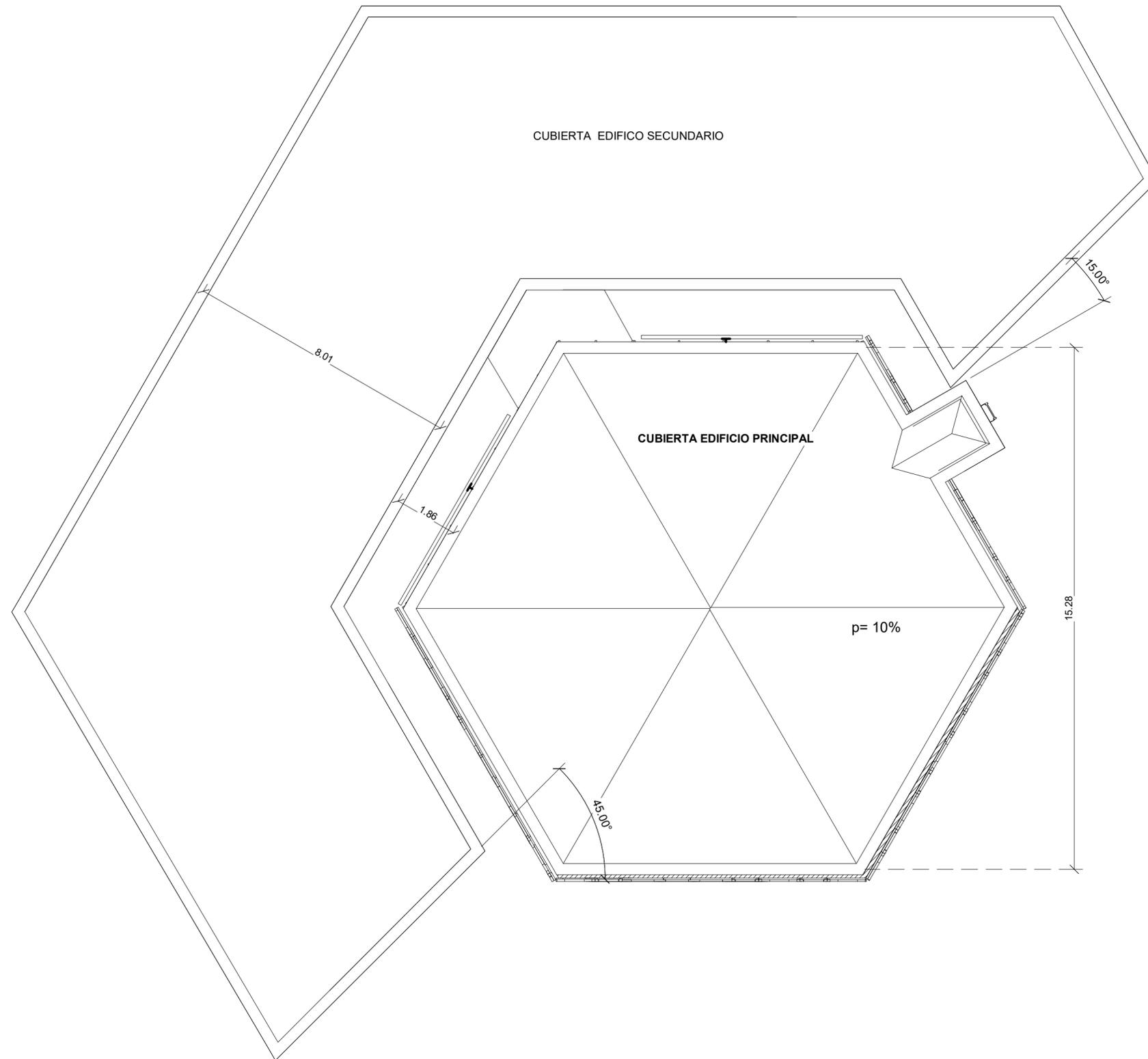
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 		
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM		
PLANO COTAS Y SUPERFICIES PLANTA BAJA		
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023	N° PLANO 6
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA 1:100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales		



Número	Nombre	Área útil (m2)
17	Sala de conferencias	166,82

1 Plano 7 Acotación P1
7 1:100

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO COTAS Y SUPERFICIES PRIMERA PLANTA	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Nº PLANO 7
ESCALA 1:100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



1 Plano 8 Acotación Cubiertas
8 1 : 100

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO COTAS Y SUPERFICIES CUBIERTAS	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
	Nº PLANO 8
	ESCALA 1 : 100
	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
PROMOTOR	
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



3 Alzado Principal
9 | 1:100



4 Alzado Posterior
9 | 1:100

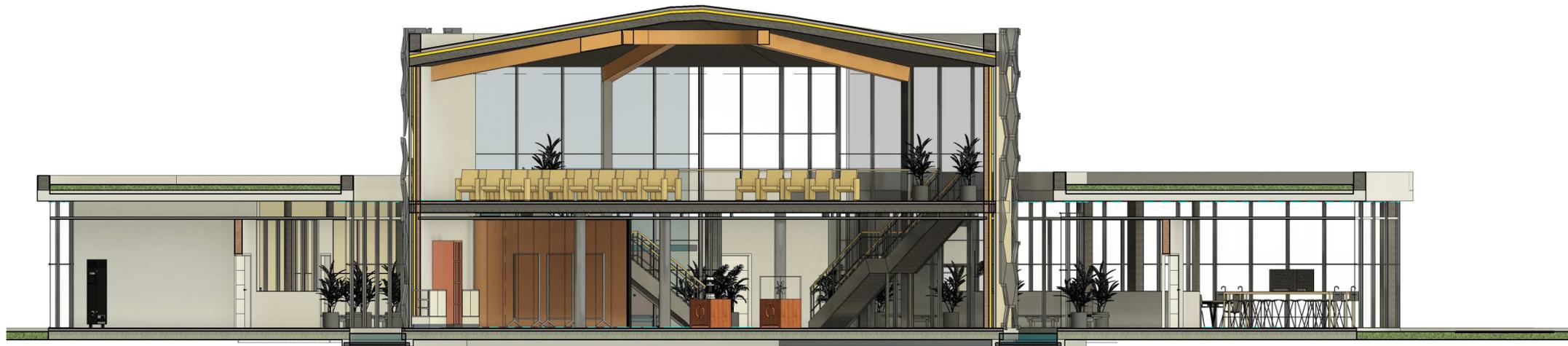


1 Alzado Lateral Derecho
9 | 1:100



2 Alzado Lateral Izquierdo
9 | 1:100

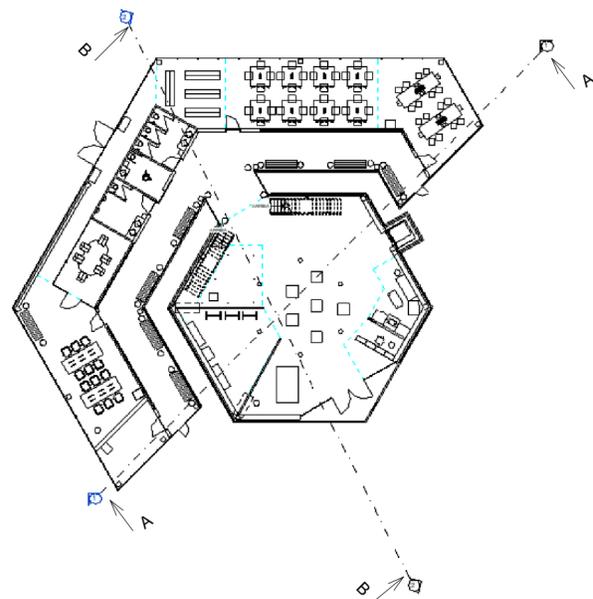
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 		
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM		
PLANO		ALZADOS
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023	Nº PLANO 9
	ESCALA 1:100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales Fdo: 	



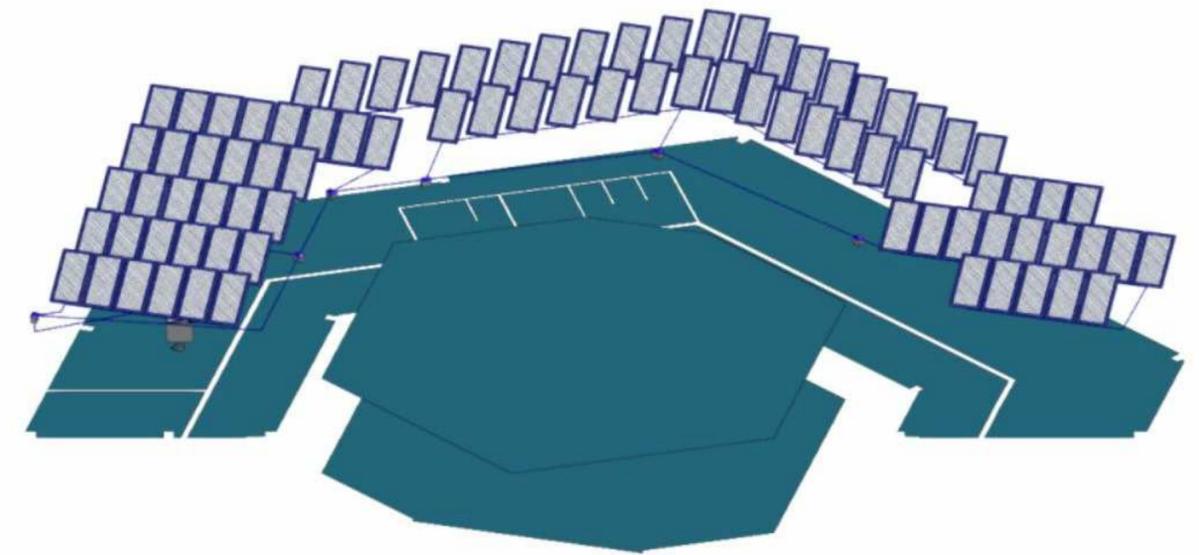
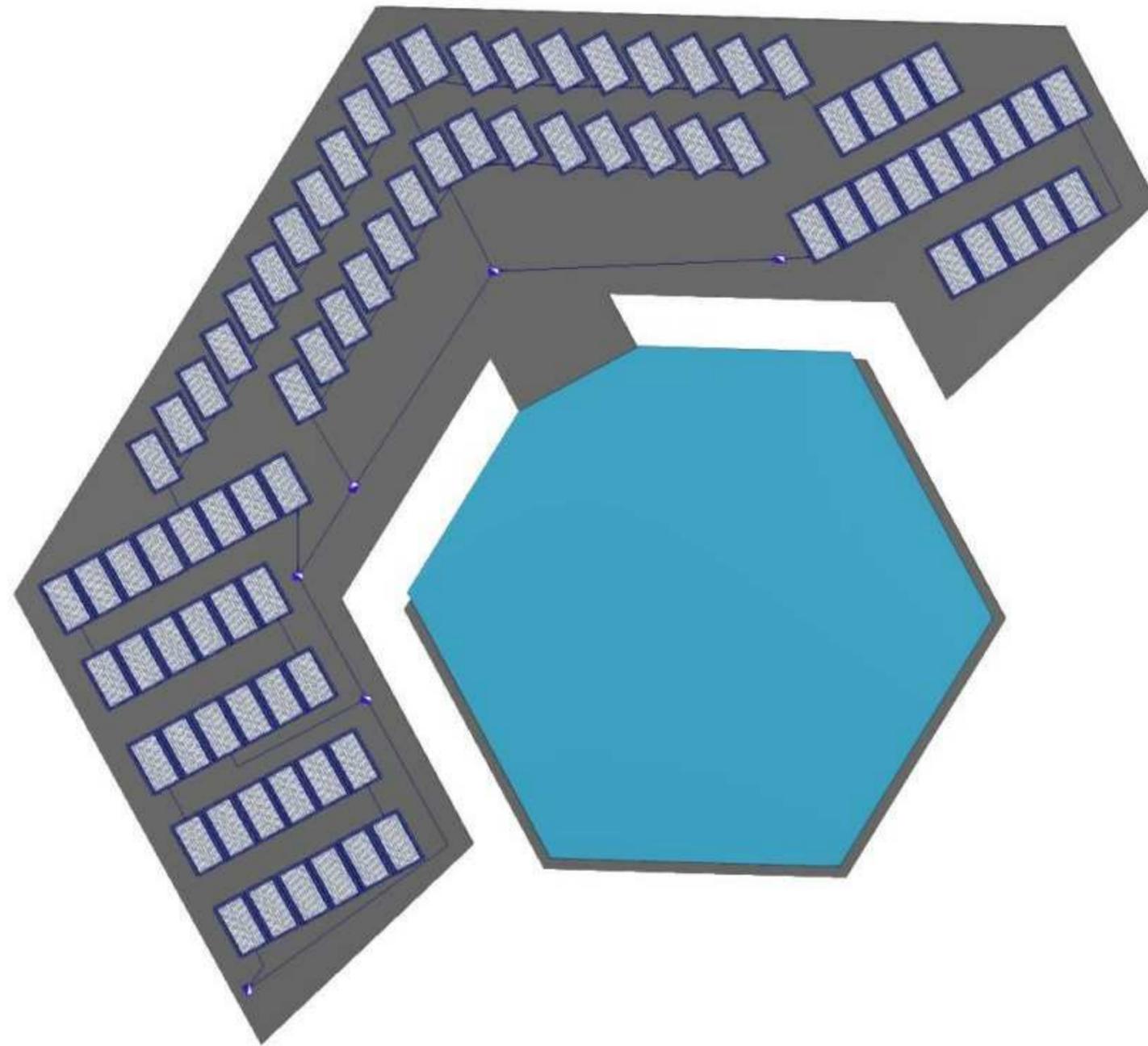
1 Sección A-A
10 1: 100



2 Sección B-B
10 1: 100



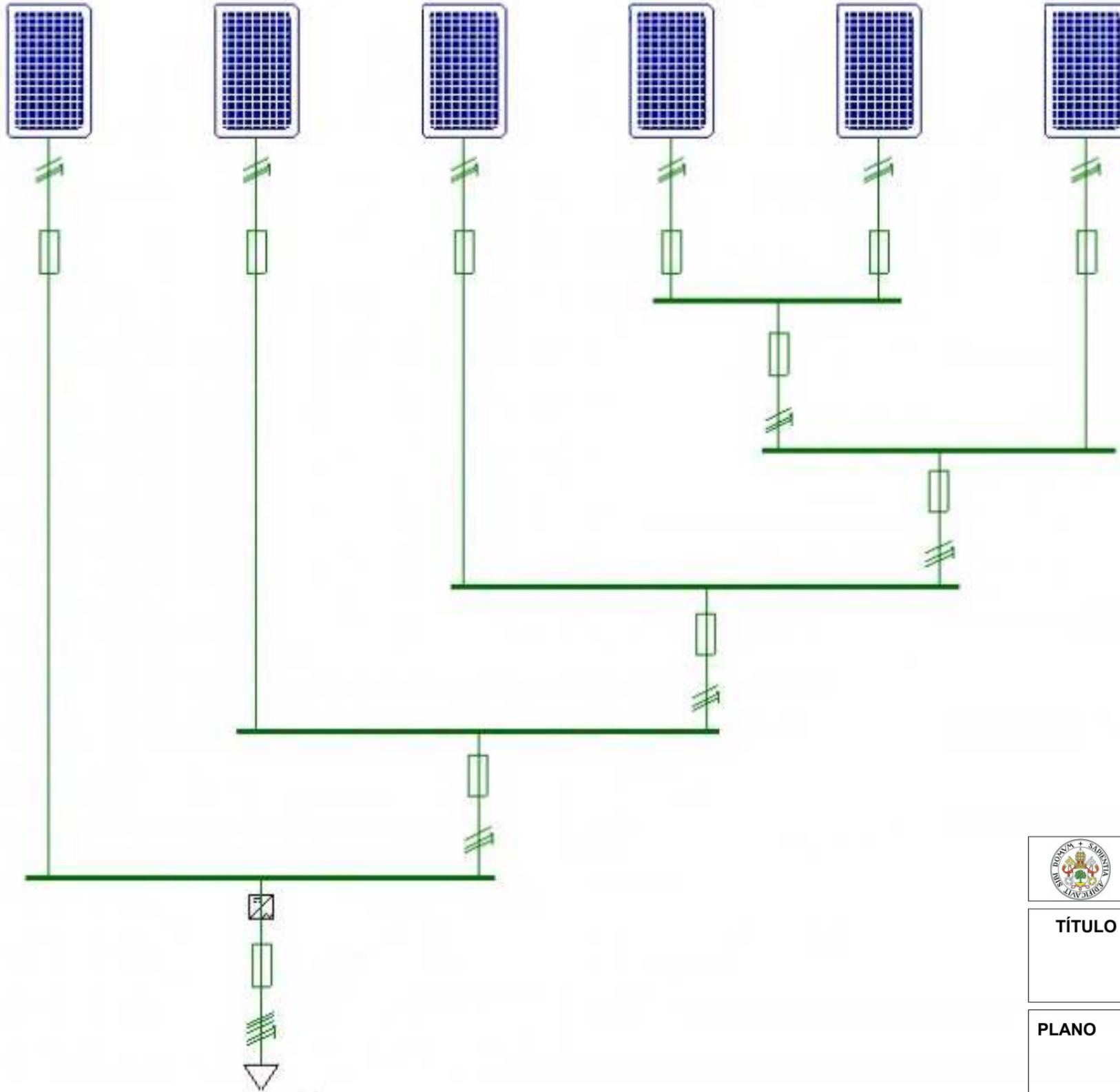
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO SECCIONES	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Nº PLANO 10
ESCALA 1: 100	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	



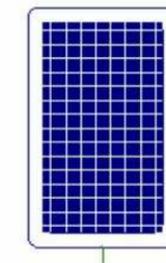
LEYENDA	
	Módulo Fotovoltaico
	Caja de conexión
	Inversor
	Punto de conexión a la red
	Canalización

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES 	
TÍTULO DEL TRABAJO DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM	
PLANO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
TRABAJO FIN DE GRADO	FECHA Julio de 2023
PROMOTOR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Nº PLANO 11
ESCALA	FIRMA: ANDREA LEONARDO GÓMEZ Fdo.: 
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	

Red 1



LEYENDA	
	Módulo Fotovoltaico
	Fusible
	Inversor
	Punto de conexión a la red
	Canalización



Módulo fotovoltaico
1002 x 1979 x 40 mm
400 W
45 W
0.0037 %
10.36 A
49.8 V
9.6 A
41.7 V
20.17 %



Inversor
98.1 %
200 ~ 1100 V
60000 W
90000 W
60 A



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



TÍTULO DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN EDIFICIO SOSTENIBLE APLICANDO TECNOLOGÍA OPEN BIM

PLANO

UNIFILAR

TRABAJO FIN DE GRADO

FECHA Julio de 2023

Nº PLANO 12

ESCALA

FIRMA:
ANDREA LEONARDO
GÓMEZ

PROMOTOR

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Grado en
Ingeniería en Tecnologías Industriales

Fdo.:

12.2 Renderizados







12.3 Energía generada por el panel

Como se ha indicado en el apartado 7.5, para analizar las pérdidas de los módulos que se están comparando, se puede generar un documento con todos los cálculos realizados de las pérdidas por inclinación y por sombra. Se muestran dichos cálculos para los dos ejemplos expuestos anteriormente.

- 1.1 Pérdidas por orientación e inclinación
- 1.2 Pérdidas por sombras
- 1.3 Pérdidas por temperatura
- 1.4 Pérdidas por polvo y suciedad
- 1.5 Pérdidas por disipación de parámetros entre módulos y por reflectancia angular espectral

Cálculos justificativos

1. ENERGÍA GENERADA POR EL PANEL

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{CEM}}$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

- $\beta \leq 15^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$PR = (1 - L_{cab}) \cdot (1 - L_{dis}) \cdot (1 - L_{inv}) \cdot (1 - L_{pol}) \cdot (1 - L_{ref}) \cdot (1 - L_{reg}) \cdot (1 - L_{tem}) \cdot (1 - L_{usu})$$

E_p	Energía producida (763.81 Wh/día)
P_{mp}	Potencia nominal (400.00 W)
G_{CEM}	Irradiación sobre los paneles en CEM (1 kWh/m ²)
$G_{dm}(0)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal (1.69 kWh/m ² día)
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (2.15 kWh/m ² día)
FI	Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas (0.94091)
FS	Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles ($1 - L_{som}$) (0.99800)
α	Orientación de los paneles respecto al Sur (0.00 °)
β	Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (29.47 °)
β_{opt}	Inclinación óptima de los paneles respecto a su posición horizontal (51.66 °)

Periodo de diseño	β_{opt}
Invierno	$\phi + 10.00$
Verano	$\phi - 20.00$

ϕ = Latitud del emplazamiento, en grados

K Factor dependiente de la inclinación óptima de los paneles (1.36)

Cálculos justificativos

Latitud 41°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10°	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.10	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20°	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25°	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.10	1.20	1.32	1.39	1.37
30°	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	0.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35°	1.38	1.29	1.18	1.07	0.99	0.96	0.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40°	1.40	1.30	1.18	1.05	0.96	0.93	0.96	1.06	1.22	1.40	1.52	1.50
45°	1.42	1.30	1.16	1.03	0.93	0.89	0.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50°	1.42	1.30	1.14	0.99	0.88	0.84	0.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55°	1.42	1.28	1.12	0.95	0.83	0.79	0.84	0.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60°	1.41	1.26	1.08	0.91	0.78	0.73	0.78	0.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65°	1.39	1.23	1.04	0.85	0.72	0.67	0.72	0.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70°	1.36	1.19	0.99	0.80	0.66	0.61	0.66	0.81	1.04	1.32	1.52	1.50
75°	1.32	1.15	0.94	0.73	0.59	0.54	0.59	0.74	0.99	1.28	1.48	1.47
80°	1.28	1.10	0.88	0.67	0.52	0.46	0.52	0.67	0.93	1.23	1.44	1.43
85°	1.23	1.04	0.82	0.60	0.44	0.39	0.44	0.60	0.86	1.16	1.38	1.38
90°	1.17	0.98	0.74	0.52	0.36	0.31	0.36	0.52	0.78	1.09	1.32	1.32

Latitud 42°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09
10°	1.15	1.12	1.09	1.06	1.04	1.03	1.04	1.06	1.11	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.13	1.08	1.04	1.03	1.04	1.09	1.15	1.22	1.26	1.25
20°	1.27	1.21	1.15	1.09	1.04	1.03	1.05	1.10	1.18	1.28	1.34	1.32
25°	1.32	1.25	1.17	1.09	1.04	1.01	1.04	1.10	1.21	1.33	1.40	1.38
30°	1.36	1.28	1.19	1.09	1.02	1.00	1.02	1.10	1.23	1.37	1.46	1.44
35°	1.39	1.30	1.19	1.08	1.00	0.97	1.00	1.09	1.23	1.40	1.51	1.48
40°	1.42	1.31	1.19	1.06	0.97	0.94	0.97	1.08	1.24	1.42	1.54	1.52
45°	1.43	1.32	1.18	1.04	0.94	0.90	0.94	1.05	1.23	1.43	1.57	1.54
50°	1.44	1.31	1.16	1.00	0.89	0.86	0.90	1.02	1.21	1.44	1.59	1.56
55°	1.44	1.30	1.13	0.97	0.85	0.80	0.85	0.98	1.19	1.43	1.59	1.57
60°	1.43	1.28	1.10	0.92	0.79	0.75	0.80	0.93	1.15	1.41	1.59	1.57
65°	1.41	1.25	1.06	0.87	0.74	0.69	0.74	0.88	1.11	1.39	1.57	1.55
70°	1.38	1.21	1.01	0.81	0.67	0.62	0.67	0.82	1.07	1.35	1.55	1.53
75°	1.35	1.17	0.96	0.75	0.60	0.55	0.60	0.76	1.01	1.31	1.52	1.50
80°	1.30	1.12	0.90	0.68	0.53	0.48	0.53	0.69	0.95	1.25	1.47	1.46
85°	1.25	1.06	0.83	0.61	0.46	0.40	0.46	0.62	0.88	1.19	1.42	1.41
90°	1.19	1.00	0.76	0.54	0.38	0.32	0.38	0.54	0.81	1.12	1.36	1.35

PR Rendimiento energético (0.88752)

L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexionados, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.06)

L_{dis} Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos (0.02)

L_{inv} Pérdidas de potencia en el inversor (0.02)

L_{pol} Pérdidas de potencia debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos (0.03)

L_{ref} Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término es cero. (0.03)

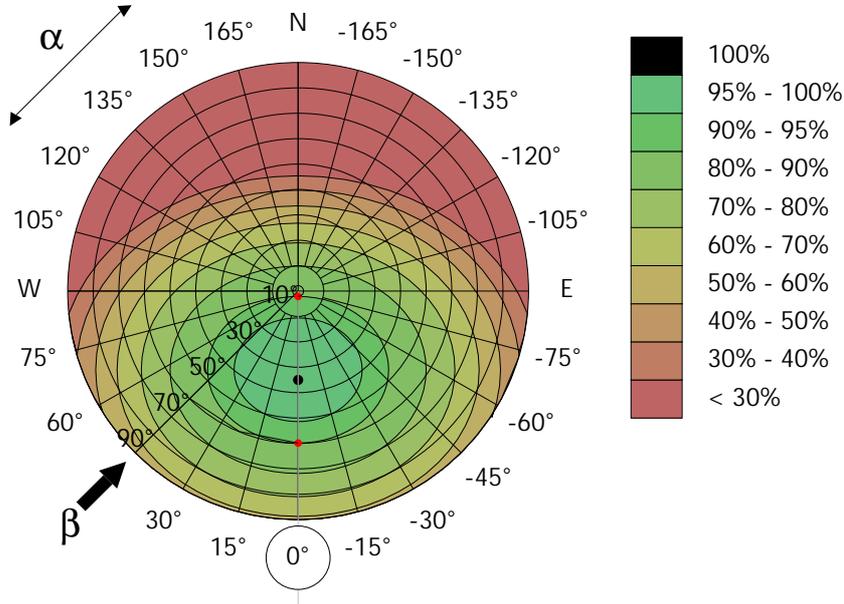
L_{tem} Pérdidas medias por temperatura (Enero) (-0.04379)

L_{usu} Otras pérdidas de potencia (0.00)

Cálculos justificativos

1.1. Pérdidas por orientación e inclinación

Tomando los valores de orientación ($\alpha = 0.00$), inclinación ($\beta = 29.47$) y latitud ($\phi = 41.66$) y conociendo las condiciones de implantación (Plano horizontal) se está en disposición de determinar los valores de inclinación máxima y mínima permitidas por norma.



$$\beta_{\text{max gráfico}} = 59.87$$

$$\beta_{\text{min gráfico}} = 2.13$$

Se corrige la ϕ con la siguiente fórmula, para comprobar los límites reales de β :

$$\beta_{\text{max}} = \beta_{\text{max gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$\beta_{\text{min}} = \beta_{\text{min gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$b_{\text{min}} (2.79) < b (29.47) < b_{\text{max}} (60.53) \quad \checkmark$$

Dado que el caso en estudio se encuentra cerca del límite, se utiliza, como instrumento de verificación, la fórmula siguiente:

$$- 15^\circ < \beta < 90^\circ:$$

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$FI (0.94091) \approx 0.90 \quad \checkmark$$

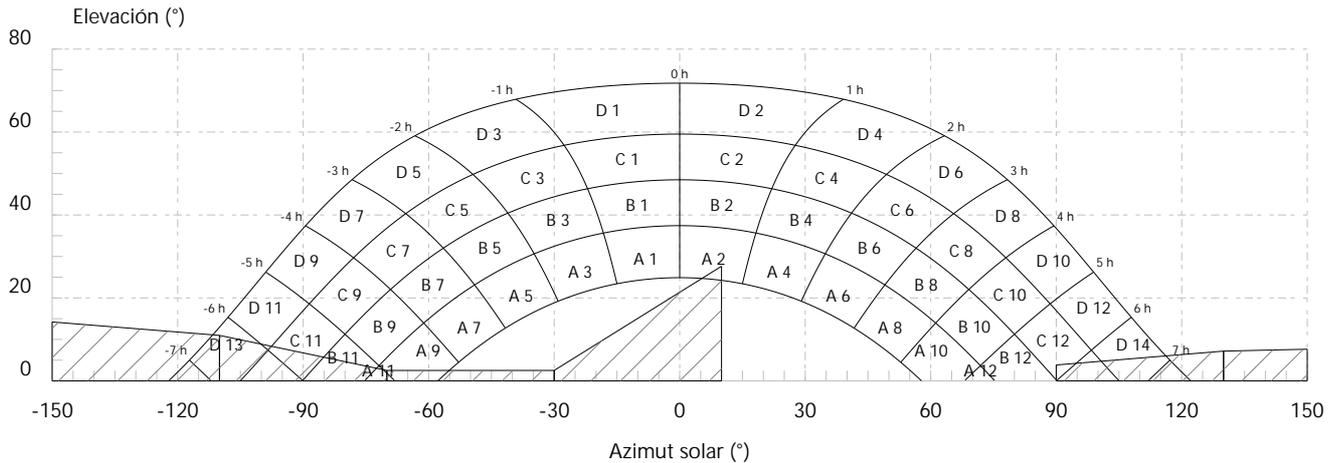
1.2. Pérdidas por sombras

Para obtener las pérdidas por sombras se toma el diagrama de trayectorias del sol correspondiente al emplazamiento de la instalación y se superpone el perfil de obstáculos que generan sombras sobre los paneles.

A continuación, tras seleccionar la tabla que más se asemeje a las condiciones de inclinación y orientación seleccionados, se accede a la tabla correspondiente utilizando las letras y los números de las casillas cubiertas en el diagrama. Con ello se obtienen los valores del porcentaje de pérdidas correspondiente.

En función de si las casillas del diagrama están total o parcialmente cubiertas se le aplicará un coeficiente de ponderación (0.25-0.5-0.75-1) a cada una antes de realizar el sumatorio de los valores obtenidos.

Cálculos justificativos



(inclinación 29.47°, orientación 0.00°)			
Porción	Factor de llenado (real)	Pérdidas (%)	Contribución (%)
A 2	0.00 (0.04)	4.10	0.00
A 9	0.00 (0.08)	0.30	0.00
A 11	1.00 (0.90)	0.00	0.00
B 11	0.50 (0.55)	0.00	0.00
B 12	0.00 (0.00)	0.20	0.00
C 11	0.25 (0.29)	0.20	0.05
C 12	0.00 (0.05)	0.40	0.00
D 11	0.00 (0.01)	0.60	0.00
D 13	0.75 (0.82)	0.10	0.08
D 14	0.25 (0.34)	0.30	0.07
		TOTAL (%)	0.20

1.3. Pérdidas por temperatura

$$L_{\text{tem}} = g \cdot (T_c - 25)$$

$$T_c = T_{\text{amb}} + (\text{TONC} - 20) \cdot \frac{G}{800}$$

L_{tem}	Pérdidas medias por temperatura (Enero) (-0.04379)
g	Coefficiente de temperatura de la potencia, en 1/°C. (0.00370)
T_c	Temperatura de las células solares, en °C. (13.16 °)
T_{amb}	Temperatura ambiente a la sombra, en °C. (4.20 °)
TONC	Temperatura de operación nominal del módulo. (45.00 °)
$G_{\text{dm}}(\alpha, \beta)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (2.15 kWh/m ² día)

1.4. Pérdidas por polvo y suciedad

Dependen del emplazamiento de la instalación y de las condiciones meteorológicas. El valor anual estimado es:

$$L_{\text{pol}} = 0.03$$

Cálculos justificativos

1.5. Pérdidas por disipación de parámetros entre módulos y por reflectancia angular espectral

Se estiman en:

$$L_{\text{dis}} = 0.02$$

$$L_{\text{ref}} = 0.03$$

Cálculos justificativos

1. ENERGÍA GENERADA POR EL PANEL

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{CEM}}$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

- $\beta \leq 15^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$PR = (1 - L_{cab}) \cdot (1 - L_{dis}) \cdot (1 - L_{inv}) \cdot (1 - L_{pol}) \cdot (1 - L_{ref}) \cdot (1 - L_{reg}) \cdot (1 - L_{tem}) \cdot (1 - L_{usu})$$

E_p	Energía producida (427.71 Wh/día)
P_{mp}	Potencia nominal (400.00 W)
G_{CEM}	Irradiación sobre los paneles en CEM (1 kWh/m ²)
$G_{dm}(0)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal (1.69 kWh/m ² día)
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (1.19 kWh/m ² día)
FI	Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas (0.94091)
FS	Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles ($1 - L_{som}$) (0.55100)
α	Orientación de los paneles respecto al Sur (0.00 °)
β	Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (29.47 °)
β_{opt}	Inclinación óptima de los paneles respecto a su posición horizontal (51.66 °)

Periodo de diseño	β_{opt}
Invierno	$\phi + 10.00$
Verano	$\phi - 20.00$

ϕ = Latitud del emplazamiento, en grados

K Factor dependiente de la inclinación óptima de los paneles (1.36)

Cálculos justificativos

Latitud 41°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10°	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.10	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20°	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25°	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.10	1.20	1.32	1.39	1.37
30°	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	0.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35°	1.38	1.29	1.18	1.07	0.99	0.96	0.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40°	1.40	1.30	1.18	1.05	0.96	0.93	0.96	1.06	1.22	1.40	1.52	1.50
45°	1.42	1.30	1.16	1.03	0.93	0.89	0.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50°	1.42	1.30	1.14	0.99	0.88	0.84	0.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55°	1.42	1.28	1.12	0.95	0.83	0.79	0.84	0.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60°	1.41	1.26	1.08	0.91	0.78	0.73	0.78	0.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65°	1.39	1.23	1.04	0.85	0.72	0.67	0.72	0.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70°	1.36	1.19	0.99	0.80	0.66	0.61	0.66	0.81	1.04	1.32	1.52	1.50
75°	1.32	1.15	0.94	0.73	0.59	0.54	0.59	0.74	0.99	1.28	1.48	1.47
80°	1.28	1.10	0.88	0.67	0.52	0.46	0.52	0.67	0.93	1.23	1.44	1.43
85°	1.23	1.04	0.82	0.60	0.44	0.39	0.44	0.60	0.86	1.16	1.38	1.38
90°	1.17	0.98	0.74	0.52	0.36	0.31	0.36	0.52	0.78	1.09	1.32	1.32

Latitud 42°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09
10°	1.15	1.12	1.09	1.06	1.04	1.03	1.04	1.06	1.11	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.13	1.08	1.04	1.03	1.04	1.09	1.15	1.22	1.26	1.25
20°	1.27	1.21	1.15	1.09	1.04	1.03	1.05	1.10	1.18	1.28	1.34	1.32
25°	1.32	1.25	1.17	1.09	1.04	1.01	1.04	1.10	1.21	1.33	1.40	1.38
30°	1.36	1.28	1.19	1.09	1.02	1.00	1.02	1.10	1.23	1.37	1.46	1.44
35°	1.39	1.30	1.19	1.08	1.00	0.97	1.00	1.09	1.23	1.40	1.51	1.48
40°	1.42	1.31	1.19	1.06	0.97	0.94	0.97	1.08	1.24	1.42	1.54	1.52
45°	1.43	1.32	1.18	1.04	0.94	0.90	0.94	1.05	1.23	1.43	1.57	1.54
50°	1.44	1.31	1.16	1.00	0.89	0.86	0.90	1.02	1.21	1.44	1.59	1.56
55°	1.44	1.30	1.13	0.97	0.85	0.80	0.85	0.98	1.19	1.43	1.59	1.57
60°	1.43	1.28	1.10	0.92	0.79	0.75	0.80	0.93	1.15	1.41	1.59	1.57
65°	1.41	1.25	1.06	0.87	0.74	0.69	0.74	0.88	1.11	1.39	1.57	1.55
70°	1.38	1.21	1.01	0.81	0.67	0.62	0.67	0.82	1.07	1.35	1.55	1.53
75°	1.35	1.17	0.96	0.75	0.60	0.55	0.60	0.76	1.01	1.31	1.52	1.50
80°	1.30	1.12	0.90	0.68	0.53	0.48	0.53	0.69	0.95	1.25	1.47	1.46
85°	1.25	1.06	0.83	0.61	0.46	0.40	0.46	0.62	0.88	1.19	1.42	1.41
90°	1.19	1.00	0.76	0.54	0.38	0.32	0.38	0.54	0.81	1.12	1.36	1.35

PR Rendimiento energético (0.90016)

L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexionados, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.06)

L_{dis} Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos (0.02)

L_{inv} Pérdidas de potencia en el inversor (0.02)

L_{pol} Pérdidas de potencia debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos (0.03)

L_{ref} Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término es cero. (0.03)

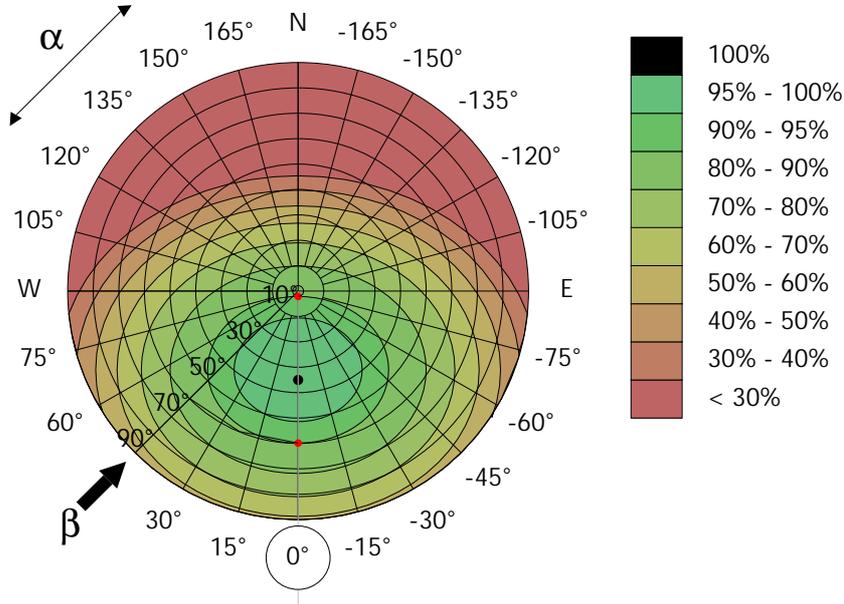
L_{tem} Pérdidas medias por temperatura (Enero) (-0.05865)

L_{usu} Otras pérdidas de potencia (0.00)

Cálculos justificativos

1.1. Pérdidas por orientación e inclinación

Tomando los valores de orientación ($\alpha = 0.00$), inclinación ($\beta = 29.47$) y latitud ($\phi = 41.66$) y conociendo las condiciones de implantación (Plano horizontal) se está en disposición de determinar los valores de inclinación máxima y mínima permitidas por norma.



$$\beta_{\text{max gráfico}} = 59.87$$

$$\beta_{\text{min gráfico}} = 2.13$$

Se corrige la ϕ con la siguiente fórmula, para comprobar los límites reales de β :

$$\beta_{\text{max}} = \beta_{\text{max gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$\beta_{\text{min}} = \beta_{\text{min gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$b_{\text{min}} (2.79) < b (29.47) < b_{\text{max}} (60.53) \quad \checkmark$$

Dado que el caso en estudio se encuentra cerca del límite, se utiliza, como instrumento de verificación, la fórmula siguiente:

$$- 15^\circ < \beta < 90^\circ:$$

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$FI (0.94091) \approx 0.90 \quad \checkmark$$

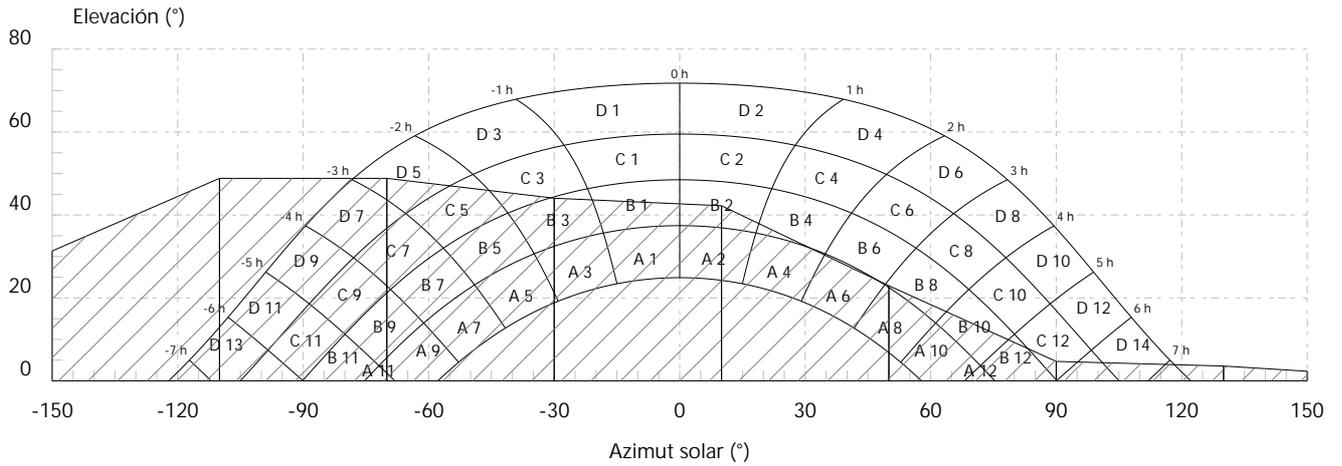
1.2. Pérdidas por sombras

Para obtener las pérdidas por sombras se toma el diagrama de trayectorias del sol correspondiente al emplazamiento de la instalación y se superpone el perfil de obstáculos que generan sombras sobre los paneles.

A continuación, tras seleccionar la tabla que más se asemeje a las condiciones de inclinación y orientación seleccionados, se accede a la tabla correspondiente utilizando las letras y los números de las casillas cubiertas en el diagrama. Con ello se obtienen los valores del porcentaje de pérdidas correspondiente.

En función de si las casillas del diagrama están total o parcialmente cubiertas se le aplicará un coeficiente de ponderación (0.25-0.5-0.75-1) a cada una antes de realizar el sumatorio de los valores obtenidos.

Cálculos justificativos



(inclinación 29.47°, orientación 0.00°)			
Porción	Factor de llenado (real)	Pérdidas (%)	Contribución (%)
A 1	1.00 (1.00)	4.00	4.00
A 2	1.00 (1.00)	4.10	4.10
A 3	1.00 (1.00)	3.50	3.50
A 4	1.00 (1.00)	3.80	3.80
A 5	1.00 (1.00)	2.60	2.60
A 6	1.00 (0.98)	3.10	3.10
A 7	1.00 (1.00)	1.40	1.40
A 8	1.00 (1.00)	2.00	2.00
A 9	1.00 (1.00)	0.30	0.30
A 10	1.00 (1.00)	0.80	0.80
A 11	1.00 (1.00)	0.00	0.00
A 12	1.00 (1.00)	0.10	0.10
B 1	0.50 (0.56)	2.40	1.20
B 2	0.50 (0.38)	2.40	1.20
B 3	1.00 (0.94)	2.10	2.10
B 4	0.00 (0.07)	2.30	0.00
B 5	1.00 (1.00)	1.70	1.70
B 6	0.00 (0.00)	1.90	0.00
B 7	1.00 (1.00)	1.10	1.10
B 8	0.25 (0.15)	1.40	0.35
B 9	1.00 (1.00)	0.50	0.50
B 10	0.50 (0.56)	0.80	0.40
B 11	1.00 (1.00)	0.00	0.00
B 12	1.00 (0.96)	0.20	0.20
C 3	0.25 (0.14)	2.10	0.53
C 5	1.00 (0.93)	1.70	1.70
C 7	1.00 (1.00)	1.20	1.20
C 9	1.00 (1.00)	0.60	0.60
C 11	1.00 (1.00)	0.20	0.20
C 12	0.25 (0.16)	0.40	0.10
D 5	0.25 (0.34)	3.80	0.95
D 7	1.00 (1.00)	2.80	2.80
D 9	1.00 (1.00)	1.60	1.60
D 11	1.00 (1.00)	0.60	0.60

Cálculos justificativos

(Inclinación 29.47°, orientación 0.00°)			
Porción	Factor de llenado (real)	Pérdidas (%)	Contribución (%)
D 13	1.00 (1.00)	0.10	0.10
D 14	0.25 (0.21)	0.30	0.07
		TOTAL (%)	44.90

1.3. Pérdidas por temperatura

$$L_{\text{tem}} = g \cdot (T_c - 25)$$

$$T_c = T_{\text{amb}} + (\text{TONC} - 20) \cdot \frac{G}{800}$$

L_{tem}	Pérdidas medias por temperatura (Enero) (-0.05865)
g	Coficiente de temperatura de la potencia, en 1/°C. (0.00370)
T_c	Temperatura de las células solares, en °C. (9.15 °)
T_{amb}	Temperatura ambiente a la sombra, en °C. (4.20 °)
TONC	Temperatura de operación nominal del módulo. (45.00 °)
$G_{\text{dm}}(\alpha, \beta)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (1.19 kWh/m ² día)

1.4. Pérdidas por polvo y suciedad

Dependen del emplazamiento de la instalación y de las condiciones meteorológicas. El valor anual estimado es:

$$L_{\text{pol}} = 0.03$$

1.5. Pérdidas por disipación de parámetros entre módulos y por reflectancia angular espectral

Se estiman en:

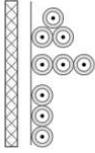
$$L_{\text{dis}} = 0.02$$

$$L_{\text{ref}} = 0.03$$



12.4 Canalizaciones

Intensidad admisible (UNE-HD 60364-5-52, Anexo B)

Método de instalación de referencia (tabla B.52.1)	
	F: Cables unipolares en contacto, al aire libre Aislamiento termoplástico.

La tabla B.52.1 detalla los métodos de instalación de referencia para los cuales se refieren las corrientes admisibles tabuladas en las tablas B.52.2 a B.52.13.

Tabla de intensidades admisibles: *B.52.12, columna 4 (25.00 a 300.00 mm²)*

Sección nominal de los conductores: *25.00 mm², Cobre*

Intensidad admisible: *161.00 A*

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación prevista de los conductores aislados o cables difiera de la temperatura ambiente de referencia, el factor de corrección apropiado dado en las tablas B.52.14 y B.52.15 debe aplicarse a los valores de las corrientes admisibles recogidos en las tablas B52.2 a B52.13.

Temperatura ambiente del emplazamiento: *40.00 °C*

Temperatura ambiente de referencia: *30.00 °C*

Rango admisible: *10.00 a 80.00 °C*

Factor de corrección por temperatura (*tabla B.52.14*): *0.91*

GRUPOS QUE CONTIENEN MÁS DE UN CIRCUITO

Para instalaciones en bandejas perforadas, bridas de amarre y similares, las corrientes admisibles tanto para ambos circuitos individuales como para grupos se obtienen multiplicando las corrientes dadas para las disposiciones pertinentes de conductores aislados o cables al aire libre, como se indica en las tablas B.52.8 a B.52.13, para la instalación y los factores de reducción por agrupamiento dados en las tablas B.52.20 y B.52.21.

Tabla B.52.17 - Factores de reducción para un circuito o un cable multipolar o para un grupo de más de un circuito, o más de un cable multipolar para usarse con las corrientes admisibles de las tablas B.52.2 a B.52.13.

Número de circuitos trifásicos: *1*

Número de circuitos o de cables multiconductores adicionales: *5*

Factor de agrupamiento: *0.73*

$$I = 20.72 \text{ A} \leq 161.00 \text{ A} \times 0.91 \times 0.73 = 106.95 \text{ A} \quad \checkmark$$

Caída de tensión máxima admisible, instalación fotovoltaica

La caída de tensión admisible será:

Instalación fotovoltaica

3.00 %

Valor de la caída de tensión:

0.04 % ≤ 3.00 % ✓

GUÍA-BT-ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad [1]$$

Con:

I	Intensidad calculada (19.20 A)
R	Resistencia de la línea (0.006 Ω), ver apartado (A)
X	Reactancia de la línea (0.000 Ω), ver apartado (C)
φ	Ángulo correspondiente al factor de potencia de la carga;
$\cos \varphi$	1.00
$\operatorname{sen} \varphi$	0.00

Basta con sustituir la intensidad calculada en función de la potencia en la fórmula [1], y tener en cuenta que en trifásico la caída de tensión de línea será raíz de tres veces la caída de tensión de fase calculada según [1], y que en monofásico habrá que multiplicarla por un factor de dos para tener en cuenta tanto el conductor de ida como el de retorno.

$$\text{Caída de tensión en monofásico: } \Delta U_I = 2 \cdot \Delta U = 0.233 \text{ V}$$

$$\text{Caída de tensión, porcentaje: } 100 \cdot \frac{\Delta U_I}{U_1} = 0.04 \%$$

$$U_1 \text{ (Tensión de la línea): } 583.80 \text{ V}$$

A) RESISTENCIA DEL CONDUCTOR EN CORRIENTE CONTINUA

Si tenemos en cuenta que el valor de la resistencia de un cable se calcula como:

$$R_{tcc} = R_{20cc} [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad [9]$$

$$R_{20cc} = \rho_{20} L / S \quad [10]$$

Con:

R_{tcc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura θ (0.006 Ω)
R_{20cc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura de 20°C (0.005 Ω)
α	Coefficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en $^{\circ}\text{C}^{-1}$ para cables de cobre (0.00392)
θ	Temperatura máxima en servicio prevista en el cable (41.61 $^{\circ}\text{C}$), ver apartado (B)
ρ_{20}	Resistividad del conductor a 20°C para cables de cobre (0.018 $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)
S	Sección del conductor (25.00 mm^2)
L	Longitud de la línea (7.63 m)

B) TEMPERATURA ESTIMADA EN EL CONDUCTOR

Para calcular la temperatura máxima prevista en servicio de un cable se puede utilizar el siguiente razonamiento: su incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente T_0 (25°C para cables enterrados y 40°C para cables al aire), es proporcional al cuadrado del valor eficaz de la intensidad. Por tanto:

$$T = T_0 + (T_{\text{máx}} - T_0) * (I / I_{\text{máx}})^2 \quad [17]$$

Con:

T	Temperatura real estimada en el conductor (41.61 $^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{máx}}$	Temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento (90.00 $^{\circ}\text{C}$)
T_0	Temperatura ambiente del conductor (40.00 $^{\circ}\text{C}$)
I	Intensidad prevista para el conductor (19.20 A)
$I_{\text{máx}}$	Intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación (106.95 A)

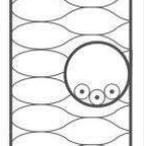
C) REACTANCIA DEL CABLE (Según el criterio de la Guía-BT-Anexo 2)

La reactancia de los conductores varía con el diámetro y la separación entre conductores. En ausencia de datos se puede estimar la reactancia como un incremento adicional de la resistencia de acuerdo a la siguiente tabla:

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \approx 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.25 R$

Para secciones menores de o iguales a 120 mm^2 , la contribución a la caída de tensión por efecto de la inductancia es despreciable frente al efecto de la resistencia.

Intensidad admisible (UNE-HD 60364-5-52, Anexo B)

Método de instalación de referencia (tabla B.52.1)	
	A1: Conductores aislados en un conducto en pared térmicamente aislante Aislamiento termoplástico.

La tabla B.52.1 detalla los métodos de instalación de referencia para los cuales se refieren las corrientes admisibles tabuladas en las tablas B.52.2 a B.52.13.

Tabla de intensidades admisibles: B.52.3, columna 2 (1.50 a 300.00 mm²)

Sección nominal de los conductores: 35.00 mm², Cobre

Intensidad admisible: 131.00 A

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación prevista de los conductores aislados o cables difiera de la temperatura ambiente de referencia, el factor de corrección apropiado dado en las tablas B.52.14 y B.52.15 debe aplicarse a los valores de las corrientes admisibles recogidos en las tablas B52.2 a B52.13.

Temperatura ambiente del emplazamiento: 40.00 °C

Temperatura ambiente de referencia: 30.00 °C

Rango admisible: 10.00 a 80.00 °C

Factor de corrección por temperatura (tabla B.52.14): 0.91

GRUPOS QUE CONTIENEN MÁS DE UN CIRCUITO

Las corrientes admisibles dadas en las tablas B.52.2 a B.52.7 se refieren a circuitos individuales. Cuando en el mismo grupo se instalan más conductores aislados o cables, deben aplicarse los factores de reducción por agrupamiento especificados en las tablas B.52.17 a B.52.19.

Tabla B.52.17 - Factores de reducción para un circuito o un cable multipolar o para un grupo de más de un circuito, o más de un cable multipolar para usarse con las corrientes admisibles de las tablas B.52.2 a B.52.13.

Disposición (en contacto): Agrupados en el aire, sobre una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente (punto 1).

Número de circuitos o de cables multipolares: 1

Número de circuitos o de cables multiconductores adicionales: 5

Factor de agrupamiento: 0.57

$$I = 62.16 \text{ A} \leq 131.00 \text{ A} \times 0.91 \times 0.57 = 67.95 \text{ A} \quad \checkmark$$

Caída de tensión máxima admisible, instalación fotovoltaica

La caída de tensión admisible será:

Instalación fotovoltaica

3.00 %

Valor de la caída de tensión:

0.06 % ≤ 3.00 % \checkmark

GUÍA-BT-ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad [1]$$

Con:

I	Intensidad calculada (57.60 A)
R	Resistencia de la línea (0.003 Ω), ver apartado (A)
X	Reactancia de la línea (0.000 Ω), ver apartado (C)
φ	Ángulo correspondiente al factor de potencia de la carga;
cos φ	1.00
sen φ	0.00

Basta con sustituir la intensidad calculada en función de la potencia en la fórmula [1], y tener en cuenta que en trifásico la caída de tensión de línea será raíz de tres veces la caída de tensión de fase calculada según [1], y que en monofásico habrá que multiplicarla por un factor de dos para tener en cuenta tanto el conductor de ida como el de retorno.

$$\text{Caída de tensión en monofásico: } \Delta U_I = 2 \cdot \Delta U = 0.366 \text{ V}$$

$$\text{Caída de tensión, porcentaje: } 100 \cdot \frac{\Delta U_I}{U_1} = 0.06 \%$$

$$U_1 \text{ (Tensión de la línea): } 583.80 \text{ V}$$

A) RESISTENCIA DEL CONDUCTOR EN CORRIENTE CONTINUA

Si tenemos en cuenta que el valor de la resistencia de un cable se calcula como:

$$R_{tcc} = R_{20cc} [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad [9]$$

$$R_{20cc} = \rho_{20} L / S \quad [10]$$

Con:

R_{tcc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura θ (0.003 Ω)
R_{20cc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura de 20°C (0.003 Ω)
α	Coefficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en °C ⁻¹ para cables de cobre (0.00392)
θ	Temperatura máxima en servicio prevista en el cable (75.93 °C), ver apartado (B)
ρ_{20}	Resistividad del conductor a 20°C para cables de cobre (0.018 Ω mm ² / m)
S	Sección del conductor (35.00 mm ²)
L	Longitud de la línea (4.96 m)

B) TEMPERATURA ESTIMADA EN EL CONDUCTOR

Para calcular la temperatura máxima prevista en servicio de un cable se puede utilizar el siguiente razonamiento: su incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente T_0 (25°C para cables enterrados y 40°C para cables al aire), es proporcional al cuadrado del valor eficaz de la intensidad. Por tanto:

$$T = T_0 + (T_{\text{máx}} - T_0) * (I / I_{\text{máx}})^2 \quad [17]$$

Con:

T	Temperatura real estimada en el conductor (75.93 °C)
$T_{\text{máx}}$	Temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento (90.00 °C)
T_0	Temperatura ambiente del conductor (40.00 °C)
I	Intensidad prevista para el conductor (57.60 A)
$I_{\text{máx}}$	Intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación (67.95 A)

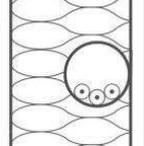
C) REACTANCIA DEL CABLE (Según el criterio de la Guía-BT-Anexo 2)

La reactancia de los conductores varía con el diámetro y la separación entre conductores. En ausencia de datos se puede estimar la reactancia como un incremento adicional de la resistencia de acuerdo a la siguiente tabla:

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \approx 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.25 R$

Para secciones menores de o iguales a 120 mm^2 , la contribución a la caída de tensión por efecto de la inductancia es despreciable frente al efecto de la resistencia.

Intensidad admisible (UNE-HD 60364-5-52, Anexo B)

Método de instalación de referencia (tabla B.52.1)	
	A1: Conductores aislados en un conducto en pared térmicamente aislante Aislamiento termoplástico.

La tabla B.52.1 detalla los métodos de instalación de referencia para los cuales se refieren las corrientes admisibles tabuladas en las tablas B.52.2 a B.52.13.

Tabla de intensidades admisibles: *B.52.3, columna 2 (1.50 a 300.00 mm²)*

Sección nominal de los conductores: *35.00 mm², Cobre*

Intensidad admisible: *131.00 A*

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación prevista de los conductores aislados o cables difiera de la temperatura ambiente de referencia, el factor de corrección apropiado dado en las tablas B.52.14 y B.52.15 debe aplicarse a los valores de las corrientes admisibles recogidos en las tablas B52.2 a B52.13.

Temperatura ambiente del emplazamiento: *40.00 °C*

Temperatura ambiente de referencia: *30.00 °C*

Rango admisible: *10.00 a 80.00 °C*

Factor de corrección por temperatura (*tabla B.52.14*): *0.91*

GRUPOS QUE CONTIENEN MÁS DE UN CIRCUITO

Las corrientes admisibles dadas en las tablas B.52.2 a B.52.7 se refieren a circuitos individuales. Cuando en el mismo grupo se instalan más conductores aislados o cables, deben aplicarse los factores de reducción por agrupamiento especificados en las tablas B.52.17 a B.52.19.

Tabla B.52.17 - Factores de reducción para un circuito o un cable multipolar o para un grupo de más de un circuito, o más de un cable multipolar para usarse con las corrientes admisibles de las tablas B.52.2 a B.52.13.

Disposición (en contacto): Agrupados en el aire, sobre una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente (punto 1).

Número de circuitos o de cables multipolares: *1*

Número de circuitos o de cables multiconductores adicionales: *5*

Factor de agrupamiento: *0.57*

$$I = 62.16 A \leq 131.00 A \times 0.91 \times 0.57 = 67.95 A \quad \checkmark$$

Caída de tensión máxima admisible, instalación fotovoltaica

La caída de tensión admisible será:

Instalación fotovoltaica

3.00 %

Valor de la caída de tensión:

0.02 % ≤ 3.00 % ✓

GUÍA-BT-ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad [1]$$

Con:

I	Intensidad calculada (57.60 A)
R	Resistencia de la línea (0.001 Ω), ver apartado (A)
X	Reactancia de la línea (0.000 Ω), ver apartado (C)
φ	Ángulo correspondiente al factor de potencia de la carga;
$\cos \varphi$	1.00
$\operatorname{sen} \varphi$	0.00

Basta con sustituir la intensidad calculada en función de la potencia en la fórmula [1], y tener en cuenta que en trifásico la caída de tensión de línea será raíz de tres veces la caída de tensión de fase calculada según [1], y que en monofásico habrá que multiplicarla por un factor de dos para tener en cuenta tanto el conductor de ida como el de retorno.

$$\text{Caída de tensión en monofásico: } \Delta U_I = 2 \cdot \Delta U = 0.096 \text{ V}$$

$$\text{Caída de tensión, porcentaje: } 100 \cdot \frac{\Delta U_I}{U_1} = 0.02 \%$$

$$U_1 \text{ (Tensión de la línea): } 583.80 \text{ V}$$

A) RESISTENCIA DEL CONDUCTOR EN CORRIENTE CONTINUA

Si tenemos en cuenta que el valor de la resistencia de un cable se calcula como:

$$R_{tcc} = R_{20cc} [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad [9]$$

$$R_{20cc} = \rho_{20} L / S \quad [10]$$

Con:

R_{tcc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura θ (0.001 Ω)
R_{20cc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura de 20°C (0.001 Ω)
α	Coefficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en $^{\circ}\text{C}^{-1}$ para cables de cobre (0.00392)
θ	Temperatura máxima en servicio prevista en el cable (75.93 $^{\circ}\text{C}$), ver apartado (B)
ρ_{20}	Resistividad del conductor a 20°C para cables de cobre (0.018 $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)
S	Sección del conductor (35.00 mm^2)
L	Longitud de la línea (1.30 m)

B) TEMPERATURA ESTIMADA EN EL CONDUCTOR

Para calcular la temperatura máxima prevista en servicio de un cable se puede utilizar el siguiente razonamiento: su incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente T_0 (25°C para cables enterrados y 40°C para cables al aire), es proporcional al cuadrado del valor eficaz de la intensidad. Por tanto:

$$T = T_0 + (T_{\text{máx}} - T_0) * (I / I_{\text{máx}})^2 \quad [17]$$

Con:

T	Temperatura real estimada en el conductor (75.93 $^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{máx}}$	Temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento (90.00 $^{\circ}\text{C}$)
T_0	Temperatura ambiente del conductor (40.00 $^{\circ}\text{C}$)
I	Intensidad prevista para el conductor (57.60 A)
$I_{\text{máx}}$	Intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación (67.95 A)

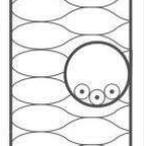
C) REACTANCIA DEL CABLE (Según el criterio de la Guía-BT-Anexo 2)

La reactancia de los conductores varía con el diámetro y la separación entre conductores. En ausencia de datos se puede estimar la reactancia como un incremento adicional de la resistencia de acuerdo a la siguiente tabla:

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \approx 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.25 R$

Para secciones menores de o iguales a 120 mm^2 , la contribución a la caída de tensión por efecto de la inductancia es despreciable frente al efecto de la resistencia.

Intensidad admisible (UNE-HD 60364-5-52, Anexo B)

Método de instalación de referencia (tabla B.52.1)	
	A1: Conductores aislados en un conducto en pared térmicamente aislante Aislamiento termoplástico.

La tabla B.52.1 detalla los métodos de instalación de referencia para los cuales se refieren las corrientes admisibles tabuladas en las tablas B.52.2 a B.52.13.

Tabla de intensidades admisibles: *B.52.5, columna 2 (1.50 a 300.00 mm²)*

Sección nominal de los conductores: *35.00 mm², Cobre*

Intensidad admisible: *117.00 A*

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación prevista de los conductores aislados o cables difiera de la temperatura ambiente de referencia, el factor de corrección apropiado dado en las tablas B.52.14 y B.52.15 debe aplicarse a los valores de las corrientes admisibles recogidos en las tablas B52.2 a B52.13.

Temperatura ambiente del emplazamiento: *40.00 °C*

Temperatura ambiente de referencia: *30.00 °C*

Rango admisible: *10.00 a 80.00 °C*

Factor de corrección por temperatura (*tabla B.52.14*): *0.91*

GRUPOS QUE CONTIENEN MÁS DE UN CIRCUITO

Las corrientes admisibles dadas en las tablas B.52.2 a B.52.7 se refieren a circuitos individuales. Cuando en el mismo grupo se instalan más conductores aislados o cables, deben aplicarse los factores de reducción por agrupamiento especificados en las tablas B.52.17 a B.52.19.

Tabla B.52.17 - Factores de reducción para un circuito o un cable multipolar o para un grupo de más de un circuito, o más de un cable multipolar para usarse con las corrientes admisibles de las tablas B.52.2 a B.52.13.

Disposición (en contacto): Agrupados en el aire, sobre una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente (punto 1).

Número de circuitos o de cables multipolares: *1*

Factor de agrupamiento: *1.00*

$$I = 48.70 \text{ A} \leq 117.00 \text{ A} \times 0.91 \times 1.00 = 106.47 \text{ A} \quad \checkmark$$

Caída de tensión máxima admisible, instalación fotovoltaica

La caída de tensión admisible será:

Instalación fotovoltaica

3.00 %

Valor de la caída de tensión:

0.00 % ≤ 3.00 % ✓

GUÍA-BT-ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad [1]$$

Con:

I	Intensidad calculada (48.70 A)
R	Resistencia de la línea (0.000 Ω), ver apartado (A)
X	Reactancia de la línea (0.000 Ω), ver apartado (C)
φ	Ángulo correspondiente al factor de potencia de la carga;
$\cos \varphi$	1.00
$\operatorname{sen} \varphi$	0.00

Basta con sustituir la intensidad calculada en función de la potencia en la fórmula [1], y tener en cuenta que en trifásico la caída de tensión de línea será raíz de tres veces la caída de tensión de fase calculada según [1], y que en monofásico habrá que multiplicarla por un factor de dos para tener en cuenta tanto el conductor de ida como el de retorno.

$$\text{Caída de tensión en trifásico: } \Delta U_{\text{III}} = \sqrt{3} \cdot \Delta U = 0.015 \text{ V}$$

$$\text{Caída de tensión, porcentaje: } 100 \cdot \frac{\Delta U_{\text{III}}}{U_1} = 0.00 \%$$

U_1 (Tensión de la línea): 398.37 V

A) RESISTENCIA DEL CONDUCTOR EN CORRIENTE CONTINUA

Si tenemos en cuenta que el valor de la resistencia de un cable se calcula como:

$$R_{\text{tcc}} = R_{20\text{cc}} [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad [9]$$

$$R_{20\text{cc}} = \rho_{20} L / S \quad [10]$$

Con:

R_{tcc}	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura θ (0.000 Ω)
$R_{20\text{cc}}$	Resistencia del conductor en corriente continua a la temperatura de 20°C (0.000 Ω)
α	Coefficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en $^{\circ}\text{C}^{-1}$ para cables de cobre (0.00392)
θ	Temperatura máxima en servicio prevista en el cable (50.46 $^{\circ}\text{C}$), ver apartado (B)
ρ_{20}	Resistividad del conductor a 20°C para cables de cobre (0.018 $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)
S	Sección del conductor (35.00 mm^2)
L	Longitud de la línea (0.30 m)

B) TEMPERATURA ESTIMADA EN EL CONDUCTOR

Para calcular la temperatura máxima prevista en servicio de un cable se puede utilizar el siguiente razonamiento: su incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente T_0 (25°C para cables enterrados y 40°C para cables al aire), es proporcional al cuadrado del valor eficaz de la intensidad. Por tanto:

$$T = T_0 + (T_{\text{máx}} - T_0) * (I / I_{\text{máx}})^2 \quad [17]$$

Con:

T	Temperatura real estimada en el conductor (50.46 $^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{máx}}$	Temperatura máxima admisible para el conductor según su tipo de aislamiento (90.00 $^{\circ}\text{C}$)
T_0	Temperatura ambiente del conductor (40.00 $^{\circ}\text{C}$)
I	Intensidad prevista para el conductor (48.70 A)
$I_{\text{máx}}$	Intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación (106.47 A)

C) REACTANCIA DEL CABLE (Según el criterio de la Guía-BT-Anexo 2)

La reactancia de los conductores varía con el diámetro y la separación entre conductores. En ausencia de datos se puede estimar la reactancia como un incremento adicional de la resistencia de acuerdo a la siguiente tabla:

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \approx 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \approx 0.25 R$

Para secciones menores de o iguales a 120 mm^2 , la contribución a la caída de tensión por efecto de la inductancia es despreciable frente al efecto de la resistencia.



12.5 Potencia instalada

Cuantificación de la exigencia de potencia (CTE DB HE 5)

La potencia a instalar mínima se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$P_{\min} = 0.01 \cdot S$$

Sin superar el valor de la siguiente expresión:

$$P_{\lim} = 0.05 \cdot S_c$$

- P_{\min} Potencia mínima de la instalación, en función de la superficie construida del edificio (7382.43 W)
 P_{\lim} Potencia límite de la instalación, en función de la superficie construida de cubierta del edificio (0 W)
S Superficie construida del edificio (738.24 m²)
 S_c Superficie construida de cubierta del edificio (0.00 m²)

0 W < 33600.00 W ✓

La potencia de la instalación no será inferior a:

$$P_{\min} = 30000.00 \text{ W}$$

33600.00 W ≥ 30000.00 W ✓

La potencia de la instalación no será superior a:

$$P_{\lim} = 100000.00 \text{ W}$$

33600.00 W ≤ 100000.00 W ✓



12.6 Cálculos justificativos

1. RED 1
 - 1.1 Potencia del generador
 - 1.1.1 Energía generada por el panel
 - 1.1.2 Conexionado entre los módulos
 - 1.2 Inversor
 - 1.3 Distancia mínima entre filas de módulos

Cálculos justificativos enero

RED 1

1.1. Potencia del generador

1.1.1. Energía generada por el panel

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{CEM}}$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

- $\beta \leq 15^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$PR = (1 - L_{cab}) \cdot (1 - L_{dis}) \cdot (1 - L_{inv}) \cdot (1 - L_{pol}) \cdot (1 - L_{ref}) \cdot (1 - L_{reg}) \cdot (1 - L_{tem}) \cdot (1 - L_{usu})$$

$$E_p = \sum E_{pn}$$

E_p	Energía producida (57725.37 Wh/día)
P_{mp}	Potencia nominal (33600.00 W)
G_{CEM}	Irradiación sobre los paneles en CEM (1 kWh/m ²)
$G_{dm}(0)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal (1.69 kWh/m ² día)
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (ver tabla)
FI	Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas (ver tabla)
FS	Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles ($1 - L_{som}$) (ver tabla)
α	Orientación de los paneles respecto al Sur (ver tabla)
β	Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (ver tabla)
β_{opt}	Inclinación óptima de los paneles respecto a su posición horizontal (51.66 °)

Periodo de diseño	β_{opt}
Invierno	$\phi + 10.00$
Verano	$\phi - 20.00$

ϕ = Latitud del emplazamiento, en grados

K Factor dependiente de la inclinación óptima de los paneles

Cálculos justificativos enero

Latitud 41°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10°	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.10	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20°	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25°	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.10	1.20	1.32	1.39	1.37
30°	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	0.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35°	1.38	1.29	1.18	1.07	0.99	0.96	0.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40°	1.40	1.30	1.18	1.05	0.96	0.93	0.96	1.06	1.22	1.40	1.52	1.50
45°	1.42	1.30	1.16	1.03	0.93	0.89	0.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50°	1.42	1.30	1.14	0.99	0.88	0.84	0.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55°	1.42	1.28	1.12	0.95	0.83	0.79	0.84	0.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60°	1.41	1.26	1.08	0.91	0.78	0.73	0.78	0.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65°	1.39	1.23	1.04	0.85	0.72	0.67	0.72	0.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70°	1.36	1.19	0.99	0.80	0.66	0.61	0.66	0.81	1.04	1.32	1.52	1.50
75°	1.32	1.15	0.94	0.73	0.59	0.54	0.59	0.74	0.99	1.28	1.48	1.47
80°	1.28	1.10	0.88	0.67	0.52	0.46	0.52	0.67	0.93	1.23	1.44	1.43
85°	1.23	1.04	0.82	0.60	0.44	0.39	0.44	0.60	0.86	1.16	1.38	1.38
90°	1.17	0.98	0.74	0.52	0.36	0.31	0.36	0.52	0.78	1.09	1.32	1.32

Latitud 42°												
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09
10°	1.15	1.12	1.09	1.06	1.04	1.03	1.04	1.06	1.11	1.15	1.18	1.17
15°	1.21	1.17	1.13	1.08	1.04	1.03	1.04	1.09	1.15	1.22	1.26	1.25
20°	1.27	1.21	1.15	1.09	1.04	1.03	1.05	1.10	1.18	1.28	1.34	1.32
25°	1.32	1.25	1.17	1.09	1.04	1.01	1.04	1.10	1.21	1.33	1.40	1.38
30°	1.36	1.28	1.19	1.09	1.02	1.00	1.02	1.10	1.23	1.37	1.46	1.44
35°	1.39	1.30	1.19	1.08	1.00	0.97	1.00	1.09	1.23	1.40	1.51	1.48
40°	1.42	1.31	1.19	1.06	0.97	0.94	0.97	1.08	1.24	1.42	1.54	1.52
45°	1.43	1.32	1.18	1.04	0.94	0.90	0.94	1.05	1.23	1.43	1.57	1.54
50°	1.44	1.31	1.16	1.00	0.89	0.86	0.90	1.02	1.21	1.44	1.59	1.56
55°	1.44	1.30	1.13	0.97	0.85	0.80	0.85	0.98	1.19	1.43	1.59	1.57
60°	1.43	1.28	1.10	0.92	0.79	0.75	0.80	0.93	1.15	1.41	1.59	1.57
65°	1.41	1.25	1.06	0.87	0.74	0.69	0.74	0.88	1.11	1.39	1.57	1.55
70°	1.38	1.21	1.01	0.81	0.67	0.62	0.67	0.82	1.07	1.35	1.55	1.53
75°	1.35	1.17	0.96	0.75	0.60	0.55	0.60	0.76	1.01	1.31	1.52	1.50
80°	1.30	1.12	0.90	0.68	0.53	0.48	0.53	0.69	0.95	1.25	1.47	1.46
85°	1.25	1.06	0.83	0.61	0.46	0.40	0.46	0.62	0.88	1.19	1.42	1.41
90°	1.19	1.00	0.76	0.54	0.38	0.32	0.38	0.54	0.81	1.12	1.36	1.35

PR Rendimiento energético (0.89123)

L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexiones, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.06)

L_{dis} Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos (0.02)

L_{inv} Pérdidas de potencia en el inversor (0.02)

L_{pol} Pérdidas de potencia debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos (0.03)

L_{ref} Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término es cero. (0.03)

L_{tem} Pérdidas medias por temperatura (Enero) (-0.04815)

L_{usu} Otras pérdidas de potencia (0.00)

Cálculos justificativos enero

Energía generada por la instalación				
Módulo fotovoltaico	FI	FS	$G_{am}(\alpha, \beta)$	E_p
1	0.94091	0.93550	2.02 kWh/m ² día	717.40 Wh/día
2	0.94091	0.88100	1.90 kWh/m ² día	676.78 Wh/día
3	0.94091	0.87075	1.88 kWh/m ² día	669.12 Wh/día
4	0.94091	0.92175	1.99 kWh/m ² día	707.17 Wh/día
5	0.94091	0.92750	2.00 kWh/m ² día	711.45 Wh/día
6	0.94091	0.91700	1.98 kWh/m ² día	703.63 Wh/día
7	0.94091	0.89025	1.92 kWh/m ² día	683.68 Wh/día
8	0.94091	0.86675	1.87 kWh/m ² día	666.13 Wh/día
9	0.94091	0.55100	1.19 kWh/m ² día	427.71 Wh/día
10	0.94091	0.75125	1.62 kWh/m ² día	579.48 Wh/día
11	0.94091	0.86050	1.86 kWh/m ² día	661.46 Wh/día
12	0.94091	0.91650	1.98 kWh/m ² día	703.26 Wh/día
13	0.94091	0.92700	2.00 kWh/m ² día	711.08 Wh/día
14	0.94091	0.87200	1.88 kWh/m ² día	670.06 Wh/día
15	0.93479	0.95025	2.02 kWh/m ² día	719.14 Wh/día
16	0.94091	0.95325	2.06 kWh/m ² día	730.60 Wh/día
17	0.94091	0.95625	2.06 kWh/m ² día	732.83 Wh/día
18	0.94091	0.89400	1.93 kWh/m ² día	686.48 Wh/día
19	0.94091	0.89950	1.94 kWh/m ² día	690.59 Wh/día
20	0.94091	0.95275	2.05 kWh/m ² día	730.23 Wh/día
21	0.94091	0.96025	2.07 kWh/m ² día	735.80 Wh/día
22	0.94091	0.91550	1.97 kWh/m ² día	702.51 Wh/día
23	0.94091	0.88450	1.91 kWh/m ² día	679.39 Wh/día
24	0.94091	0.83825	1.81 kWh/m ² día	644.81 Wh/día
25	0.94091	0.81300	1.75 kWh/m ² día	625.89 Wh/día
26	0.94091	0.92375	1.99 kWh/m ² día	708.66 Wh/día
27	0.94091	0.92800	2.00 kWh/m ² día	711.82 Wh/día
28	0.94091	0.93900	2.02 kWh/m ² día	720.01 Wh/día
29	0.94091	0.99650	2.15 kWh/m ² día	762.70 Wh/día
30	0.94091	0.98800	2.13 kWh/m ² día	756.40 Wh/día
31	0.94091	0.97925	2.11 kWh/m ² día	749.91 Wh/día
32	0.94091	0.97925	2.11 kWh/m ² día	749.91 Wh/día
33	0.94091	0.98350	2.12 kWh/m ² día	753.06 Wh/día
34	0.94091	0.96125	2.07 kWh/m ² día	736.55 Wh/día
35	0.94091	0.97000	2.09 kWh/m ² día	743.04 Wh/día
36	0.94091	0.97000	2.09 kWh/m ² día	743.04 Wh/día
37	0.94091	0.97000	2.09 kWh/m ² día	743.04 Wh/día
38	0.93479	0.94575	2.01 kWh/m ² día	715.84 Wh/día
39	0.94091	0.94000	2.03 kWh/m ² día	720.75 Wh/día
40	0.94091	0.90875	1.96 kWh/m ² día	697.48 Wh/día
41	0.94091	0.86600	1.87 kWh/m ² día	665.57 Wh/día
42	0.93479	0.84825	1.80 kWh/m ² día	644.00 Wh/día
43	0.94091	0.77050	1.66 kWh/m ² día	593.97 Wh/día
44	0.94091	0.77725	1.68 kWh/m ² día	599.04 Wh/día
45	0.94091	0.76875	1.66 kWh/m ² día	592.65 Wh/día
46	0.94091	0.74975	1.62 kWh/m ² día	578.35 Wh/día
47	0.94091	0.64500	1.39 kWh/m ² día	499.19 Wh/día

Cálculos justificativos enero

Energía generada por la instalación				
Módulo fotovoltaico	FI	FS	$G_{am}(\alpha, \beta)$	E_p
48	0.94091	0.84225	1.82 kWh/m ² día	647.81 Wh/día
49	0.94091	0.93125	2.01 kWh/m ² día	714.24 Wh/día
50	0.94091	0.93875	2.02 kWh/m ² día	719.82 Wh/día
51	0.93479	0.93250	1.98 kWh/m ² día	706.10 Wh/día
52	0.94091	0.91450	1.97 kWh/m ² día	701.77 Wh/día
53	0.94091	0.88800	1.91 kWh/m ² día	682.00 Wh/día
54	0.94091	0.79300	1.71 kWh/m ² día	610.88 Wh/día
55	0.93479	0.77525	1.65 kWh/m ² día	589.92 Wh/día
56	0.93479	0.66425	1.41 kWh/m ² día	507.21 Wh/día
57	0.94091	0.93725	2.02 kWh/m ² día	718.71 Wh/día
58	0.94091	0.93775	2.02 kWh/m ² día	719.08 Wh/día
59	0.94091	0.90900	1.96 kWh/m ² día	697.67 Wh/día
60	0.94091	0.87150	1.88 kWh/m ² día	669.68 Wh/día
61	0.94091	0.95500	2.06 kWh/m ² día	731.90 Wh/día
62	0.94091	0.93775	2.02 kWh/m ² día	719.08 Wh/día
63	0.94091	0.93850	2.02 kWh/m ² día	719.64 Wh/día
64	0.94091	0.93875	2.02 kWh/m ² día	719.82 Wh/día
65	0.94091	0.95400	2.06 kWh/m ² día	731.16 Wh/día
66	0.94091	0.99675	2.15 kWh/m ² día	762.89 Wh/día
67	0.94091	0.99800	2.15 kWh/m ² día	763.81 Wh/día
68	0.94091	0.99800	2.15 kWh/m ² día	763.81 Wh/día
69	0.94091	0.99475	2.14 kWh/m ² día	761.40 Wh/día
70	0.94091	0.99475	2.14 kWh/m ² día	761.40 Wh/día
71	0.93479	0.82050	1.75 kWh/m ² día	623.47 Wh/día
72	0.93479	0.87000	1.85 kWh/m ² día	660.06 Wh/día
73	0.93479	0.87000	1.85 kWh/m ² día	660.06 Wh/día
74	0.93479	0.88050	1.87 kWh/m ² día	667.81 Wh/día
75	0.93479	0.91000	1.94 kWh/m ² día	689.55 Wh/día
76	0.93479	0.92875	1.98 kWh/m ² día	703.34 Wh/día
77	0.93479	0.95975	2.04 kWh/m ² día	726.11 Wh/día
78	0.93479	0.97025	2.06 kWh/m ² día	733.82 Wh/día
79	0.93479	0.94275	2.01 kWh/m ² día	713.63 Wh/día
80	0.93479	0.91725	1.95 kWh/m ² día	694.88 Wh/día
81	0.93479	0.84600	1.80 kWh/m ² día	642.34 Wh/día
82	0.93479	0.86125	1.83 kWh/m ² día	653.61 Wh/día
83	0.93479	0.81450	1.73 kWh/m ² día	619.03 Wh/día
84	0.93479	0.87825	1.87 kWh/m ² día	666.15 Wh/día
				57725.37 Wh/día

1.1.1.1. Pérdidas por orientación e inclinación

- $\beta \leq 15^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$:

Cálculos justificativos enero

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

- FI** Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas
 α Orientación de los paneles respecto al Sur (ver tabla)
 β Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (ver tabla)
 β_{opt} Inclinación óptima de los paneles respecto a su posición horizontal (51.66 °)

Periodo de diseño	β_{opt}
Invierno	$\phi + 10.00$
Verano	$\phi - 20.00$

ϕ = Latitud del emplazamiento, en grados

Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas			
Módulo fotovoltaico	α	β	FI
1	0.00 °	29.47 °	0.94091
2	0.00 °	29.47 °	0.94091
3	0.00 °	29.47 °	0.94091
4	0.00 °	29.47 °	0.94091
5	0.00 °	29.47 °	0.94091
6	0.00 °	29.47 °	0.94091
7	0.00 °	29.47 °	0.94091
8	0.00 °	29.47 °	0.94091
9	0.00 °	29.47 °	0.94091
10	0.00 °	29.47 °	0.94091
11	0.00 °	29.47 °	0.94091
12	0.00 °	29.47 °	0.94091
13	0.00 °	29.47 °	0.94091
14	0.00 °	29.47 °	0.94091
15	0.00 °	28.35 °	0.93479
16	0.00 °	29.47 °	0.94091
17	0.00 °	29.47 °	0.94091
18	0.00 °	29.47 °	0.94091
19	0.00 °	29.47 °	0.94091
20	0.00 °	29.47 °	0.94091
21	0.00 °	29.47 °	0.94091
22	0.00 °	29.47 °	0.94091
23	0.00 °	29.47 °	0.94091
24	0.00 °	29.47 °	0.94091
25	0.00 °	29.47 °	0.94091
26	0.00 °	29.47 °	0.94091
27	0.00 °	29.47 °	0.94091
28	0.00 °	29.47 °	0.94091
29	0.00 °	29.47 °	0.94091
30	0.00 °	29.47 °	0.94091
31	0.00 °	29.47 °	0.94091
32	0.00 °	29.47 °	0.94091
33	0.00 °	29.47 °	0.94091
34	0.00 °	29.47 °	0.94091
35	0.00 °	29.47 °	0.94091

Cálculos justificativos enero

Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas			
Módulo fotovoltaico	α	β	FI
36	0.00 °	29.47 °	0.94091
37	0.00 °	29.47 °	0.94091
38	0.00 °	28.35 °	0.93479
39	0.00 °	29.47 °	0.94091
40	0.00 °	29.47 °	0.94091
41	0.00 °	29.47 °	0.94091
42	0.00 °	28.35 °	0.93479
43	0.00 °	29.47 °	0.94091
44	0.00 °	29.47 °	0.94091
45	0.00 °	29.47 °	0.94091
46	0.00 °	29.47 °	0.94091
47	0.00 °	29.47 °	0.94091
48	0.00 °	29.47 °	0.94091
49	0.00 °	29.47 °	0.94091
50	0.00 °	29.47 °	0.94091
51	0.00 °	28.35 °	0.93479
52	0.00 °	29.47 °	0.94091
53	0.00 °	29.47 °	0.94091
54	0.00 °	29.47 °	0.94091
55	0.00 °	28.35 °	0.93479
56	0.00 °	28.35 °	0.93479
57	0.00 °	29.47 °	0.94091
58	0.00 °	29.47 °	0.94091
59	0.00 °	29.47 °	0.94091
60	0.00 °	29.47 °	0.94091
61	0.00 °	29.47 °	0.94091
62	0.00 °	29.47 °	0.94091
63	0.00 °	29.47 °	0.94091
64	0.00 °	29.47 °	0.94091
65	0.00 °	29.47 °	0.94091
66	0.00 °	29.47 °	0.94091
67	0.00 °	29.47 °	0.94091
68	0.00 °	29.47 °	0.94091
69	0.00 °	29.47 °	0.94091
70	0.00 °	29.47 °	0.94091
71	0.00 °	28.35 °	0.93479
72	0.00 °	28.35 °	0.93479
73	0.00 °	28.35 °	0.93479
74	0.00 °	28.35 °	0.93479
75	0.00 °	28.35 °	0.93479
76	0.00 °	28.35 °	0.93479
77	0.00 °	28.35 °	0.93479
78	0.00 °	28.35 °	0.93479
79	0.00 °	28.35 °	0.93479
80	0.00 °	28.35 °	0.93479
81	0.00 °	28.35 °	0.93479
82	0.00 °	28.35 °	0.93479

Cálculos justificativos enero

Factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas			
Módulo fotovoltaico	α	β	FI
83	0.00 °	28.35 °	0.93479
84	0.00 °	28.35 °	0.93479

1.1.1.2. Pérdidas por sombras

$$FS = 1 - L_{som}$$

FS Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles (1 - L_{som}) (ver tabla)

Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles		
Módulo fotovoltaico	L_{som}	FS
1	0.06450	0.93550
2	0.11900	0.88100
3	0.12925	0.87075
4	0.07825	0.92175
5	0.07250	0.92750
6	0.08300	0.91700
7	0.10975	0.89025
8	0.13325	0.86675
9	0.44900	0.55100
10	0.24875	0.75125
11	0.13950	0.86050
12	0.08350	0.91650
13	0.07300	0.92700
14	0.12800	0.87200
15	0.04975	0.95025
16	0.04675	0.95325
17	0.04375	0.95625
18	0.10600	0.89400
19	0.10050	0.89950
20	0.04725	0.95275
21	0.03975	0.96025
22	0.08450	0.91550
23	0.11550	0.88450
24	0.16175	0.83825
25	0.18700	0.81300
26	0.07625	0.92375
27	0.07200	0.92800
28	0.06100	0.93900
29	0.00350	0.99650
30	0.01200	0.98800
31	0.02075	0.97925
32	0.02075	0.97925
33	0.01650	0.98350
34	0.03875	0.96125
35	0.03000	0.97000
36	0.03000	0.97000
37	0.03000	0.97000

Cálculos justificativos enero

Factor de sombra para el emplazamiento de los paneles		
Módulo fotovoltaico	L_{som}	FS
38	0.05425	0.94575
39	0.06000	0.94000
40	0.09125	0.90875
41	0.13400	0.86600
42	0.15175	0.84825
43	0.22950	0.77050
44	0.22275	0.77725
45	0.23125	0.76875
46	0.25025	0.74975
47	0.35500	0.64500
48	0.15775	0.84225
49	0.06875	0.93125
50	0.06125	0.93875
51	0.06750	0.93250
52	0.08550	0.91450
53	0.11200	0.88800
54	0.20700	0.79300
55	0.22475	0.77525
56	0.33575	0.66425
57	0.06275	0.93725
58	0.06225	0.93775
59	0.09100	0.90900
60	0.12850	0.87150
61	0.04500	0.95500
62	0.06225	0.93775
63	0.06150	0.93850
64	0.06125	0.93875
65	0.04600	0.95400
66	0.00325	0.99675
67	0.00200	0.99800
68	0.00200	0.99800
69	0.00525	0.99475
70	0.00525	0.99475
71	0.17950	0.82050
72	0.13000	0.87000
73	0.13000	0.87000
74	0.11950	0.88050
75	0.09000	0.91000
76	0.07125	0.92875
77	0.04025	0.95975
78	0.02975	0.97025
79	0.05725	0.94275
80	0.08275	0.91725
81	0.15400	0.84600
82	0.13875	0.86125
83	0.18550	0.81450
84	0.12175	0.87825

Cálculos justificativos enero

1.1.1.3. Valores máximos permitidos para las pérdidas por orientación, inclinación y sombras
La orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla siguiente:

	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI + S)
Plano inclinado	10%	10%	20%
Superposición	20%	15%	35%
Integración arquitectónica	40%	20%	60%

1.1.1.4. Pérdidas por temperatura

$$L_{\text{tem}} = g \cdot (T_c - 25)$$

Cálculos justificativos enero

$$T_c = T_{amb} + (TONC - 20) \cdot \frac{G}{800}$$

- L_{tem} Pérdidas medias por temperatura (Enero)
 g Coeficiente de temperatura de la potencia, en $1/^\circ\text{C}$.
 T_c Temperatura de las células solares, en $^\circ\text{C}$.
 T_{amb} Temperatura ambiente a la sombra, en $^\circ\text{C}$.
 $TONC$ Temperatura de operación nominal del módulo. (45.00°)
 G Irradiación solar, W/m^2

Módulo fotovoltaico	T_c	L_{tem}
1	12.60 °	-0.04587
2	12.11 °	-0.04768
3	12.02 °	-0.04802
4	12.48 °	-0.04632
5	12.53 °	-0.04613
6	12.44 °	-0.04648
7	12.20 °	-0.04737
8	11.99 °	-0.04815
9	9.15 °	-0.05865
10	10.95 °	-0.05199
11	11.93 °	-0.04836
12	12.43 °	-0.04650
13	12.53 °	-0.04615
14	12.03 °	-0.04798
15	12.62 °	-0.04579
16	12.76 °	-0.04528
17	12.79 °	-0.04518
18	12.23 °	-0.04725
19	12.28 °	-0.04706
20	12.76 °	-0.04529
21	12.83 °	-0.04505
22	12.42 °	-0.04653
23	12.15 °	-0.04756
24	11.73 °	-0.04910
25	11.50 °	-0.04994
26	12.50 °	-0.04626
27	12.54 °	-0.04612
28	12.63 °	-0.04575
29	13.15 °	-0.04384
30	13.07 °	-0.04412
31	13.00 °	-0.04441
32	13.00 °	-0.04441
33	13.03 °	-0.04427
34	12.83 °	-0.04501
35	12.91 °	-0.04472
36	12.91 °	-0.04472
37	12.91 °	-0.04472
38	12.58 °	-0.04594
39	12.64 °	-0.04572

Cálculos justificativos enero

Módulo fotovoltaico	T_c	L_{tem}
40	12.36 °	-0.04676
41	11.98 °	-0.04818
42	11.72 °	-0.04914
43	11.12 °	-0.05135
44	11.18 °	-0.05113
45	11.11 °	-0.05141
46	10.93 °	-0.05204
47	9.99 °	-0.05552
48	11.77 °	-0.04897
49	12.57 °	-0.04601
50	12.63 °	-0.04576
51	12.47 °	-0.04637
52	12.41 °	-0.04657
53	12.18 °	-0.04745
54	11.32 °	-0.05060
55	11.07 °	-0.05153
56	10.09 °	-0.05517
57	12.62 °	-0.04581
58	12.62 °	-0.04579
59	12.37 °	-0.04675
60	12.03 °	-0.04799
61	12.78 °	-0.04522
62	12.62 °	-0.04579
63	12.63 °	-0.04577
64	12.63 °	-0.04576
65	12.77 °	-0.04525
66	13.15 °	-0.04383
67	13.16 °	-0.04379
68	13.16 °	-0.04379
69	13.14 °	-0.04390
70	13.14 °	-0.04390
71	11.47 °	-0.05005
72	11.91 °	-0.04842
73	11.91 °	-0.04842
74	12.01 °	-0.04808
75	12.27 °	-0.04711
76	12.43 °	-0.04650
77	12.71 °	-0.04548
78	12.80 °	-0.04513
79	12.56 °	-0.04604
80	12.33 °	-0.04687
81	11.70 °	-0.04921
82	11.84 °	-0.04871
83	11.42 °	-0.05024
84	11.99 °	-0.04815

Cálculos justificativos enero

1.1.1.5. Pérdidas por efecto Joule en el cableado

L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexiones, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.06)

1.1.1.6. Pérdidas por polvo y suciedad

Dependen del emplazamiento de la instalación y de las condiciones meteorológicas. El valor anual estimado es:

$$L_{pol} = 0.03$$

1.1.1.7. Pérdidas por rendimiento del inversor

El inversor tiene un rendimiento del 98.10 %, por lo que las pérdidas por rendimiento serán:

$$L_{inv} = 0.02$$

1.1.1.8. Pérdidas por disipación de parámetros entre módulos y por reflectancia angular espectral

Se estiman en:

$$L_{dis} = 0.02$$

$$L_{ref} = 0.03$$

1.1.2. Conexión entre los módulos

La instalación diseñada se compone de 7 ramas de 14 paneles por rama.

1.2. Inversor

La potencia del inversor será como mínimo el 90.00 % de la potencia pico real del generador fotovoltaico.

$$P_g = \frac{E_{gTOTAL} \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR}$$

$$P_{min,INV} = \% \cdot P_g$$

Potencia mínima del inversor: 30240.00 W

Potencia del inversor: 60000.00 W ✓

La tensión de entrada al inversor se encuentra dentro del rango de tensiones admisibles del equipo. (MPPT 1)

200.00 V < 583.80 V < 1100.00 V ✓

La intensidad de entrada al inversor es inferior a la intensidad admisible del equipo. (MPPT 1)

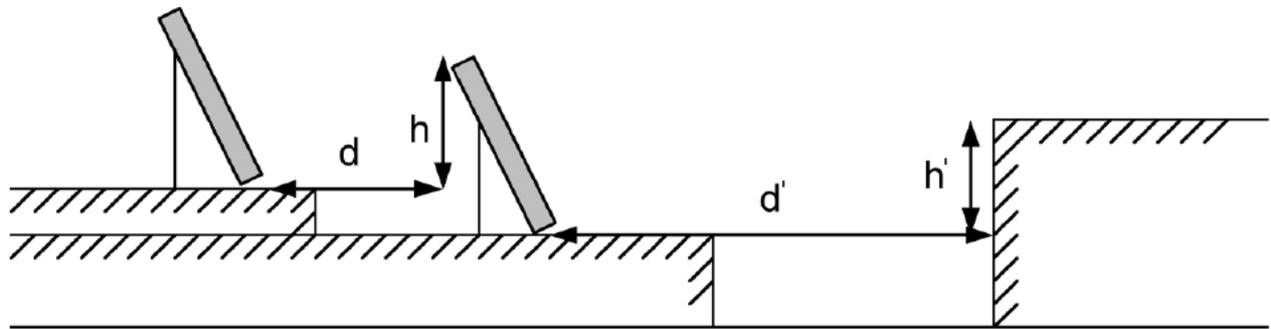
57.60 A < 60.00 A ✓

1.3. Distancia mínima entre filas de módulos

Como norma general de diseño, cuando se realiza una instalación fotovoltaica sobre un plano horizontal, la distancia entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura 'h' que pueda proyectar sombras, debe garantizar al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

Cálculos justificativos enero

Asimismo, la separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente respetará la distancia mínima, considerando en este caso 'h' la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior, efectuándose todas las medidas con relación al plano que contiene las bases de los módulos.



En cualquier caso, estas distancias han de ser como mínimo igual a:

$$d = h \cdot k$$

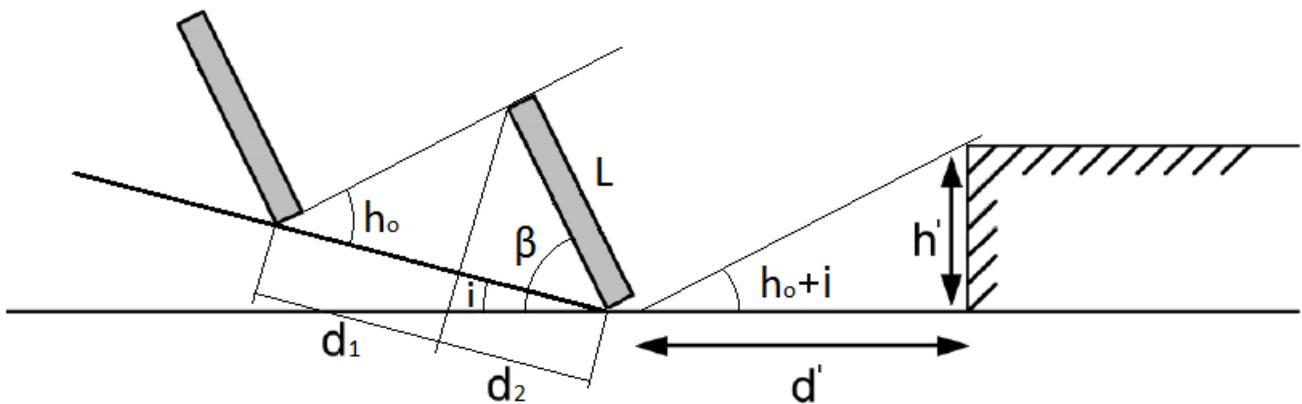
$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \phi)}$$

- d Distancia entre filas de módulos (m)
- d' Distancia entre la primera fila de módulos y un obstáculo de altura h (m)
- h Diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior (m)
- h' Altura de un obstáculo que pueda producir sombras sobre los paneles (m)
- k Factor de incidencia de la latitud del emplazamiento ()
- ϕ Latitud del emplazamiento (°)

Si los módulos se instalan sobre cubiertas inclinadas, dada la complejidad del análisis, el cálculo de la distancia entre filas deberá efectuarse mediante la ayuda de un programa de cálculo a fin de que se cumplan las condiciones requeridas:

La distancia entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura 'h' que pueda proyectar sombras, debe garantizar al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

Asimismo, la separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente respetará la distancia mínima, considerando en este caso 'h' la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior, efectuándose todas las medidas con relación al plano que contiene las bases de los módulos.



Cálculos justificativos enero

En cualquier caso, estas distancias han de ser como mínimo igual a:

$$d = 1.25 \cdot L \cdot (d_1 + d_2)$$

$$d_1 = \frac{\text{sen}(\beta - i)}{\text{tg}(h_o + i)}$$

$$d_2 = \text{cos}(\beta - i)$$

$$h_o = 90 - \phi - \delta$$

$$d' = \frac{h'}{\text{tg}(h_o + i)}$$

- d Distancia entre filas de módulos, medida sobre el plano inclinado (m)
- L Longitud del módulo (m)
- d₁ Distancia entre la proyección del módulo sobre el plano inclinado y la base del panel de la fila siguiente (m)
- d₂ Proyección del módulo sobre el plano inclinado (m)
- β Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (°)
- i Inclinación del plano de instalación de los paneles (°)
- h_o Altura solar (°)
- φ Latitud del emplazamiento (°)
- δ Declinación solar debida a la inclinación del eje terrestre (°)
- d' Distancia entre la primera fila de módulos y un obstáculo de altura h (m)
- h' Altura de un obstáculo que pueda producir sombras sobre los paneles (m)



12.7 Presupuesto

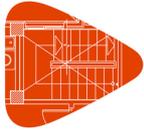
1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

1.1 Eléctrica

1.1.1 Capítulo 1: Cables

1.1.2 Capítulo 2: Solar fotovoltaica

1.1.3 Capítulo 3: Aparamenta



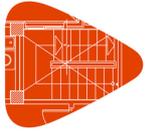
Proyecto:
Situación:
Promotor:

INSTALACIONES

1.1. Eléctricas

1.1.1. Cables

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Precio (EUR)	Importe (EUR)
IEH010ch	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 25 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1).	155,05	7,16	1.110,16
IEH010ck	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 70 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1).	0,60	16,90	10,14
IEH010ci	m	Cable unipolar RZ1-K (AS), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductor de cobre clase 5 (-K) de 35 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1).	7,61	9,47	72,07



Proyecto:
Situación:
Promotor:

1.1.2. Solar fotovoltaica

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Precio (EUR)	Importe (EUR)
IEF001bc	Ud	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio monocristalino, potencia máxima (Wp) 335 W, tensión a máxima potencia (Vmp) 38,6 V, intensidad a máxima potencia (Imp) 8,68 A, tensión en circuito abierto (Voc) 47 V, intensidad de cortocircuito (Isc) 9,22 A, eficiencia 17,1%, 72 células de 156x156 mm, vidrio exterior templado de 4 mm de espesor, capa adhesiva de etilvinilacetato (EVA), capa posterior de polifluoruro de vinilo, poliéster y polifluoruro de vinilo (TPT), marco de aluminio anodizado, temperatura de trabajo -40°C hasta 85°C, dimensiones 1954x982x45 mm, resistencia a la carga del viento 245 kg/m ² , resistencia a la carga de la nieve 551 kg/m ² , peso 29 kg, con caja de conexiones con diodos, cables y conectores. Incluso accesorios de montaje y material de conexionado eléctrico.	84,00	150,07	12.605,88
IEF050b	Ud	Armario monobloc de poliéster reforzado con fibra de vidrio, de 300x400x200 mm, color gris RAL 7035, con grados de protección IP66 e IK10; instalación en superficie.	6,00	66,27	397,62
IEF020h	Ud	Inversor monofásico, potencia máxima de entrada 9 kW, voltaje de entrada máximo 600 Vcc, rango de voltaje de entrada de 210 a 500 Vcc, potencia nominal de salida 6 kW, potencia máxima de salida 6 kVA, eficiencia máxima 97%, dimensiones 435x176x470 mm, con comunicación vía Wi-Fi para control remoto desde un smartphone, tablet o PC, puertos Ethernet y RS-485, y protocolo de comunicación Modbus. Incluso accesorios necesarios para su correcta instalación.	1,00	1.455,78	1.455,78

1.1.3. Aparamenta

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Precio (EUR)	Importe (EUR)
IEX300f	Ud	Conjunto fusible formado por fusible cilíndrico, curva gG, intensidad nominal 16 A, poder de corte 100 kA, tamaño 8,5x31,5 mm y base modular para fusibles cilíndricos, unipolar (1P), intensidad nominal 32 A.	13,00	9,86	128,18



PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA:

Capítulo 1: Cables: 1.192,37€

Capítulo 2: Solar fotovoltaica: 14.459,28€

Capítulo 3: Aparamenta: 128,18 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL: 15.779,83 €

- Gastos generales (13%): 2.051,38 €
- Beneficio industrial (6%): 946,78 €
- IVA (21%): 3.943,38€

PRESUPUESTO TOTAL: 22.721,37 €

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresa cantidad de VEINTIDOS MIL SETECIENTOS VEINTIUNO EUROS Y TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS.



Universidad de Valladolid

Diseño de un Edificio Sostenible Aplicando Tecnología OpenBIM



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES