



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

BIM Y LA FOTOVOLTAICA DE ALTA POTENCIA: Análisis y propuesta de mejora mediante metodología BIM de la gestión y control de la instalación de estructuras fijas de soporte y paneles solares en huertos fotovoltaicos de gran escala.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Ochoa Fierro, Rodney

Tutor/a: Blanca Giménez, Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

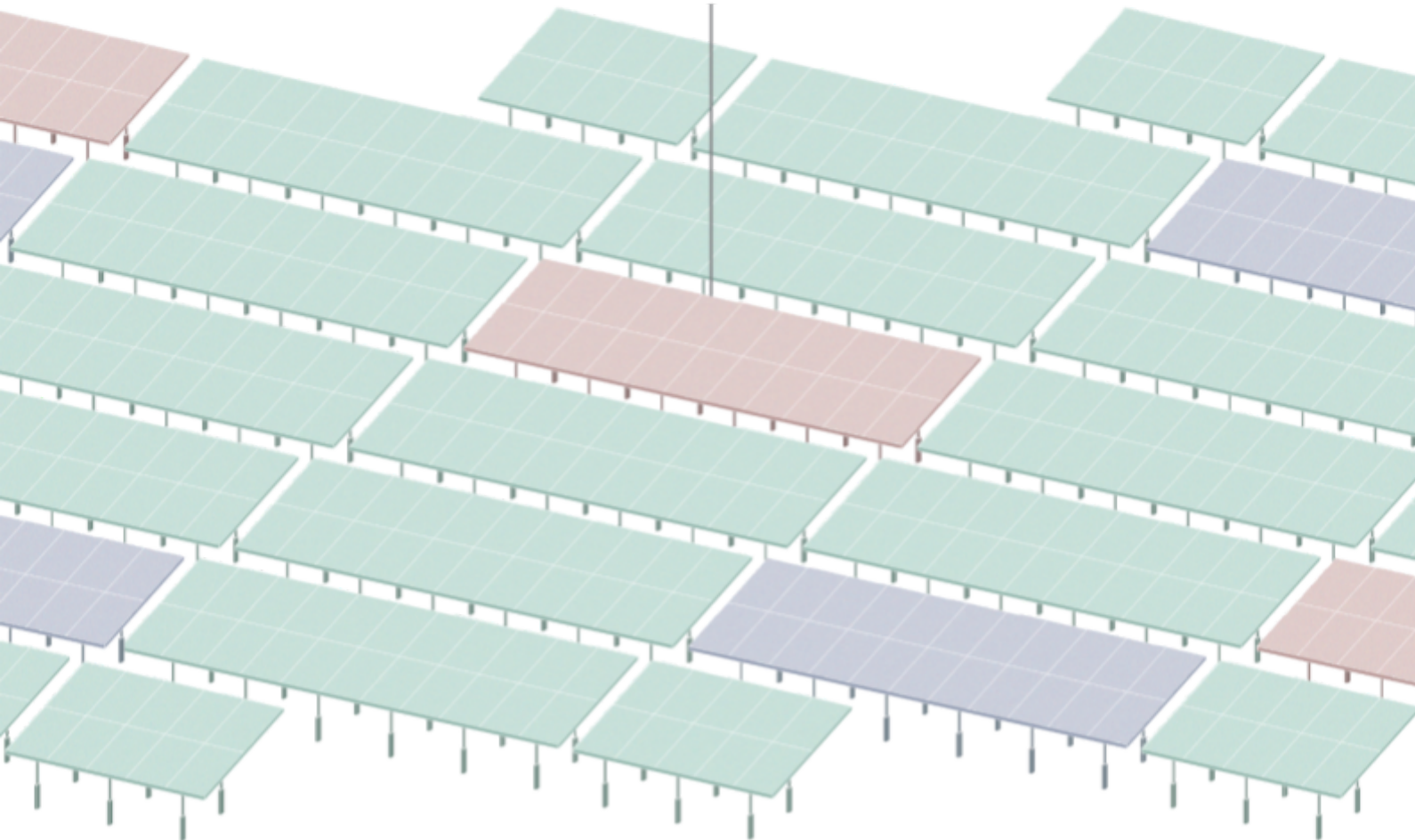
BIM Y LA FOTOVOLTAICA DE ALTA POTENCIA

Análisis y propuesta de mejora mediante metodología BIM de la gestión y control de la instalación de estructuras fijas de soporte y paneles solares en huertos fotovoltaicos de gran escala.

Tutor:
Vicente Blanca Giménez

Autor:
Rodney Ochoa Fierro

Mayo 2023



Agradecimientos

La realización de este trabajo no hubiera sido posible
sin el conocimiento, el consejo y la compañía de :

María Vanessa Lozano Ruiz

y

María Gabriela Garcia Castellanos

Análisis de la metodología y documentación utilizada en la gestión de la instalación de la estructura de soporte y módulos en proyectos de construcción de huertos fotovoltaicos a escala de servicio público para la proposición de un modelo de gestión basado en el método convencional, optimizado con metodología BIM.

Resumen

Este trabajo analiza la metodología y documentación utilizada en la gestión de la instalación de la estructura de soporte y módulos en proyectos de construcción de huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, para determinar los factores de seguimiento más relevantes en este tipo de proyectos así como sus limitaciones al ser registrados y presentados con los métodos convencionales actuales.

A partir de este análisis, se propone un modelo de gestión basado en el método convencional, optimizado con metodología BIM, que permita mejorar la precisión, la consistencia en el ingreso, seguimiento y presentación de los datos. Simplificando así la gestión, al condensar distintos factores de seguimiento.

Para ilustrar el modelo de gestión generado, se simula la aplicación de este en un proyecto hipotético, con la escala, factores de seguimiento y requerimientos de información previsibles en un proyecto fotovoltaico de escala de servicio público.

Palabras clave

BIM, fotovoltaico, renovables, gestión, construcción.

Analysis of the methodology and documentation used in the management of the installation of the support structure and modules in projects for the construction of photovoltaic farms on a public service scale for the proposal of a management model based on the conventional method, optimised with BIM methodology.

Summary

This paper analyses the methodology and documentation used in the management of the installation of the support structure and modules in utility-scale photovoltaic power plant construction projects, to determine the most relevant monitoring factors in this type of projects as well as their limitations when recorded and presented with the current conventional methods.

From this analysis, a management model based on the conventional method, optimised with BIM methodology, is proposed to improve accuracy, consistency in data entry, monitoring and presentation. Thus simplifying management by condensing different monitoring factors.

To illustrate the management model generated, the application of this model is simulated in a hypothetical project, with the scale, monitoring factors and information requirements foreseeable in a utility-scale photovoltaic project.

Key words

BIM, photovoltaic, renewables, management, construction.

ÍNDICE

Parte 1	11
¿De qué se trata y cuál es el problema?	11
1.1. Introducción	12
1.1.1 Definición de la escala o segmentos de mercado	12
1.2 Antecedentes	15
1.3 Justificación	18
1.3.1 Crecimiento del sector PV en proyectos de gran escala (Mayores a 10 MW)	18
1.3.1.1 Crecimiento por escalas o segmentos de mercado	18
1.3.1.2 Energía solar en el contexto de las renovables	21
1.4 Objetivos del proyecto	23
1.5 Estructura del documento	24
1.6 Metodología	25
1.6.1 Marco Teórico	25
1.6.1.1 Tipos de estructuras fotovoltaicas y su relación con las escalas o segmentos de mercado	25
1.6.1.2 Configuración de la mesa y sus etapas de construcción	28
1.6.2 Modelo de control y actores relacionados al método en fase de ejecución	31
1.6.2.1 Estructura empresarial y actores relacionados al método	31
1.6.2.2 EPC	32
1.6.2.3 Organigrama de funciones	37
1.6.3 Herramientas de control en fase de ejecución	39
1.6.3.1 Actividades de gestión y control de huertos fotovoltaicos	40
1.6.3.2 Herramientas principales de gestión y control de huertos fotovoltaicos	41
1.6.3.3 Herramientas secundarias de gestión y control de huertos fotovoltaicos	54
1.6.4 Dificultades en la gestión y control de proyectos fotovoltaicos de gran escala	55
Parte 2	60
¿Qué elementos incorporar para mejorar?	60
2.1 Factores determinantes generales en la gestión de obras fotovoltaicas	62
2.2 Factores determinantes específicos en la gestión de obras fotovoltaicas	64
2.2.1 Cuantificación del error	65
2.2.2 Incidencias en el control de calidad (Punch list)	68
2.2.3 Incidencias de obra civil	70
2.2.4 Registro de avances por grupos de trabajo	71
2.2.5 Cuantificación del material utilizado (Por unidades y peso)	72
2.3 Alcance de los datos y establecimiento de los resultados a obtener	73
Parte 3	75

¿Cómo sería el proceso de aplicación?	75
3.1 Creación de un proyecto hipotético	76
3.2 Creación del modelo BIM	80
3.2.1 Implantación del layout	80
3.2.3 Creación de la familia “Mesa”	81
3.2.3.1 Determinar variaciones	81
3.2.3.2 Determinación del L.O.D y esquema de jerarquía de piezas	83
3.2.3.3 Discriminación de objetos modelados o parametrizados	84
3.2.3.4 Incorporación de los factores de seguimiento establecidos	84
3.2.4 Localización de la familia en el layout	88
3.2.4.1 Edición de datos	89
3.2.5 Limitaciones de modelado y parametrización	90
3.3 Ingreso de los datos	91
3.3.1 Levantamiento de los datos	91
3.3.1.1 Levantamiento tradicional	91
3.3.1.2 Drones	91
3.3.2 Ingreso de datos de seguimiento y control de ejecución	91
3.3.4 Ingreso de datos de Incidencias de obra civil	93
3.3.5 Vinculación de información del modelo mediante el uso de herramientas tradicionales.	95
Parte 4	96
Discusión de resultados	96
4.1 Extracción de datos	97
4.2 Comparación de los resultados con el seguimiento tradicional	100
4.3 Limitaciones	102
Parte 5	103
Conclusiones	103
Referencias	106
Anexos	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Demanda energética por región y grupo.....	20
Figura 2: Demanda energética por capacidad y escala.....	21
Figura 3. Indicadores de consumo de las fuentes de energía primaria.....	22
Figura 4. Tipos de estructuras fijas al suelo.....	26
Figura 5. Estructura lastrada.....	27
Figura 6. Estructura <i>Tracker</i> (Seguidor solar).....	27
Figura 7. Configuración de las mesas según disposición del panel.....	28
Figura 8. Localización de puntos.....	29
Figura 9. Hincado de las fundaciones.....	29
Figura 10. Estructura montada (Correas y bastidores).....	30
Figura 11. Etapa de instalación de módulos.....	30
Figura 12. Estructura de actores dentro de un proyecto fotovoltaico a gran escala.....	31
Figura 13. Estructura típica de los proyectos fotovoltaicos.....	32
Figura 14. Distribución de costos según escalas de proyecto.....	36
Figura 15. Organigrama con empresas de “Diseño, fabricación y montaje”.....	38
Figura 16. Organigrama con empresas de montaje y fabricación.....	39
Figura 17. Ejemplo de formato de gestión y control de implantación en hoja de cálculo.....	42
Figura 18. Ejemplo de formato de gestión y control de hincado en hoja de cálculo.....	43
Figura 19. Ejemplo de formato de gestión y control de estructura en hoja de cálculo.....	44
Figura 20. Ejemplo de formato de gestión y control de paneles en hoja de cálculo.....	45
Figura 21. Ejemplo de formato de gestión y control de calidad en hoja de cálculo.....	46
Figura 22. Ejemplo de formato de informe de obra sección de participantes.....	47

Figura 23. Ejemplo de formato de informe de obra sección de observaciones.....	48
Figura 24. Ejemplo de formato de informe de obra sección de personal en el sitio.....	48
Figura 25. Ejemplo de formato de informe de obra sección de etapa de cimentación.....	49
Figura 26. Ejemplo de formato de informe de obra sección de etapa de estructura/módulos.....	50
Figura 27. Ejemplo de formato de informe de obra sección de avances.....	51
Figura 28. Ejemplo de formato de informe de obra sección de intemperie.....	51
Figura 29. Ejemplo de formato de informe de errores sección de documentación.....	52
Figura 30. Ejemplo de formato de informe de errores sección de observaciones.....	53
Figura 31. Ejemplo de plano de huerto fotovoltaico en CAD.....	50
Figura 32. Tipos de incidencias de hinca.....	66
Figura 33. Incidencia de correa dañada.....	67
Figura 34. Vuelo de correa (izquierda correcto, derecha incidencia).....	67
Figura 35. Incidencias de paneles.....	68
Figura 36. Conformación de la mesa de proyecto fotovoltaico hipotético.....	76
Figura 37. Conformación de proyecto fotovoltaico hipotético a escala de servicio público.....	77
Figura 38. Tipos de mesa en proyecto fotovoltaico hipotético a escala de servicio público.....	77
Figura 39. Implantación de proyecto fotovoltaico a escala de servicio público hipotético.....	78
Figura 40. Cronograma de ejecución de proyecto fotovoltaico hipotético.....	79
Figura 41. Separación de zonas en proyecto fotovoltaico hipotético dentro del programa BIM.....	81
Figura 42. Elementos de una mesa fotovoltaica con estructura fija a suelo biposte por hincas.....	82
Figura 43. Configuración de tipologías de mesa fotovoltaica.....	82
Figura 44. Niveles de detalles de mesas fotovoltaicas.....	83
Figura 45. Configuración de parámetros de proyecto.....	85
Figura 46. Nomenclatura para descripción de incidencias de obra.....	87

Figura 47. Programación para localización de la familia “Mesa” en el layout.....	88
Figura 48. Localización de mesas fotovoltaicas sobre el layout.....	89
Figura 49. Ingreso de datos de grupos de trabajo.....	92
Figura 50. Ingreso de datos de incidencias de obra.....	92
Figura 51. Ingreso de datos de incidencias de obra.....	92
Figura 52. Registro de incidencias de obra civil por nubes de revisión.....	93
Figura 53. Registro de datos de incidencias de obra civil.....	94
Figura 54. Etiquetado de incidencias de obra civil.....	94
Figura 55. Plano y tabla de incidencias de obra civil.....	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de parámetros de grupos de trabajo.....	85
Tabla 2. Listado y configuración de incidencias de obra.....	86
Tabla 3. Configuración de parámetros de avances de obra.....	87
Tabla 4. Tabla de comparación entre metodologías de seguimiento y control.....	100

Parte 1

¿De qué se trata y cuál es el problema?

1.1. Introducción

Con el pasar de los años, el calentamiento global, la contaminación y el agotamiento de los recursos, ha ocasionado una constante búsqueda de optar por el uso de energías renovables con el fin de frenar estos efectos, lo que ha hecho posible que en el sector de la construcción energética se enfoque en el diseño y construcción de paneles fotovoltaicos, como una manera de suplir estas condiciones energéticas de mejor manera. Debido a esto, en los últimos años el auge por el desarrollo de proyectos fotovoltaicos desde la unidad de vivienda hasta grandes proyectos que abarcan grandes áreas ha ido en aumento. Sin embargo, a medida que este tipo de proyectos se van construyendo, van surgiendo una serie de necesidades en cuanto a cómo llevar de manera adecuada toda la ejecución del proyecto, de esta manera, se lleva a cabo la gestión y control que permite de manera ordenada vigilar la correcta ejecución de cada etapa de un proyecto, evitando contratiempos, pérdida de recursos, así como el fracaso del proyecto. Existen diferentes documentos o guías que establecen unos lineamientos para la dirección de proyectos, como por ejemplo PMBOK (La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos) que es ampliamente aceptado internacionalmente como una herramienta que permite desarrollar buenas prácticas en la gestión y control de proyectos.

Sin embargo, en el caso de los proyectos fotovoltaicos, especialmente los de gran escala, tienen unas características especiales que se deben tener en cuenta dentro de la gestión y control, lo que ha generado dentro de este tipo de proyectos, algunas dificultades para gestionar y manejar la información de avances de obra, grupos de trabajos, incidencias, entre otros, cuyas consecuencias se pueden reflejar en la mala comunicación entre los actores, tanto los que se ocupan de la ejecución de la obra, como los promotores, y por otro lado, retrasos en la ejecución o la pérdida de recursos económicos y materiales, esto se puede dar ya sea por problema entre los actores, o la dificultad de las herramientas para almacenar toda la información que se requiere para controlar la obra de manera óptima.

En este contexto de problemática, surge el interés de este TFM en investigar, analizar y proponer una metodología que responda a esas dificultades, mediante el uso de una herramienta de modelado y manejo de información, como lo son los programas BIM. De esta manera, el propósito es obtener un mejor resultado en la gestión y control de obras fotovoltaicas, especialmente, debido al volumen de datos, hacia los proyectos de mayor escala.

1.1.1 Definición de la escala o segmentos de mercado

Definir la escala, y por lo tanto, la naturaleza de los proyectos fotovoltaicos, permite medir el comportamiento del mercado energético solar, así como la evaluación de las tendencias de mercado, que juegan un papel importante en la toma de decisiones de promotores, fabricantes, EPCistas y otros actores presentes en el desarrollo. Para el desarrollo de este trabajo, la siguiente clasificación permite focalizar el desarrollo en una escala de proyecto específica, donde la metodología planteada pueda tener mayor efectividad en su aplicación.

Existen principalmente tres escalas en los proyectos fotovoltaicos, (Mulligan, 2019) (*The 4 Types of Solar Projects*, n.d.) que a su vez definen la naturaleza de su uso y localización, estas son:

1. Escala residencial

La escala residencial está generalmente por debajo de los 10 kW de capacidad total, el número de paneles necesarios para alcanzar esta capacidad es de entre 8 a 20 paneles. Son instalaciones pensadas para el autoconsumo en hogares, que usualmente están conectadas a la red eléctrica, cuando entregar energía a la red general es posible. Son generalmente paneles montados sobre la cubierta de las viviendas, apoyados en pequeñas estructuras metálicas triangulares, para corregir la inclinación de los paneles si la cubierta no tiene una pendiente favorable o de tenerla, los paneles se instalan sobre un sistema coplanar de rieles. Otra de las maneras en las que se pueden presentar los proyectos en esta clasificación, son instalaciones fotovoltaicas instaladas sobre el suelo, mayormente sobre una estructura fija y que no se encuentra conectada a la red eléctrica general, estas se encuentran generalmente en viviendas localizadas en lugares remotos, donde la conexión a la red eléctrica no está disponible.

2. Escala comercial

La escala comercial se encuentra desde los 10 kW hasta 1.000 kW de capacidad total, este número puede ser incluso mayor y aún así pertenecer a esta clasificación si el proyecto cumple otras de las características de esta escala. Su uso, como su nombre lo indica, hace referencia a las instalaciones fotovoltaicas que comúnmente se encuentran en las cubiertas previamente desaprovechadas de centros comerciales, naves industriales, grandes complejos de oficinas y empresas del sector tecnológico, donde la demanda de energía es alta. También pueden encontrarse en terrenos adyacentes al edificio o complejo donde esa energía es consumida, aunque es menos frecuente. Otro de los modelos de instalación en esta escala, es sobre las fachadas de estos edificios, que al tener grandes extensiones de pared vertical, paneles fotovoltaicos pueden ser instalados.

3. Escala de servicio público

La escala de servicio público es la de mayor potencia con mucha diferencia. Son instalaciones que van de los cientos a miles de paneles, que suelen estar, casi en todos los casos, conectadas a una red eléctrica. A diferencia de otras escalas, aquí no hay una intención de autoconsumo, sino que se construye un huerto solar con una capacidad de generación de energía muy alta para vender esta energía a la red general de pública. Específicamente, su capacidad debe superar los 1.000 kW, pudiendo llegar hasta los 50.000 kW, (*The 4 Types of Solar Projects*, n.d.) (Mulligan, 2019) e incluso mucho más, teniendo como ejemplo los múltiples proyectos en España, que se acercan y sobrepasan

los 300.000 kW. Estos niveles de potencia pueden alimentar pueblos de tamaño mediano o ciudades pequeñas. El techo en esta categoría es tan alto como el proyecto le sea posible realizar. No se han encontrado algún otro nivel que comprenda escalas mayores. Por su extensión, estos proyectos son instalados casi en su totalidad sobre el suelo, con estructuras fijas en la mayoría de los casos.

Estas escalas han sido definidas por los desarrolladores solares y otros actores, relacionados al rubro con la necesidad de categorización de estos proyectos, sin embargo, no se ha encontrado un estándar formal. Aunque la caracterización hecha desde el sector profesional sea variable y tenga márgenes amplios de clasificación, contiene en una escala simplificada varios factores decisivos sobre la potencia total, uso y localización de los proyectos, por lo que se considera suficiente para usarla para la definición del objeto de estudio.

1.2 Antecedentes

En la revisión de fuentes centradas en el estudio de proyectos fotovoltaicos y su metodología de gestión y control, son muy pocas las investigaciones que estudian estos conceptos, en donde es casi inexistente el seguimiento mediante programas BIM. De esta manera, para definir los antecedentes, surgen una serie de interrogantes iniciales sobre cada uno, esto nos permite organizar las fuentes y permiten tener una visión clara sobre lo tratado en cuanto a proyectos fotovoltaicos y el uso de metodologías BIM y de qué manera se han relacionado. En cuanto a los proyectos fotovoltaicos, la búsqueda de antecedentes abordó las siguientes preguntas: ¿Existe una preocupación en la construcción de plantas fotovoltaicas? ¿En la actualidad se usan metodologías BIM o de otro tipo, en el desarrollo de plantas fotovoltaicas? ¿Quién habla sobre gestión y control de obras?.

Entre los autores que hablan sobre los riesgos en proyectos fotovoltaicos se pueden mencionar a Daniel Lacambra (2020), quien describe la importancia de identificar con tiempo los riesgos y errores durante la ejecución de obras fotovoltaicas, con el fin de general el menor impacto económico en el proyecto.

En cuanto al uso de nuevas herramientas en el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, el artículo “*Case Study of Solar Photovoltaic Power-Plant Site Selection for Infrastructure Planning Using a BIM-GIS-Based Approach*” (2021), propone un sistema integrado por los sistemas de información geográfica GIS y metodología BIM. En el artículo se argumenta que la producción de energía eléctrica desde fuentes fotovoltaicas está incrementando constantemente, más específicamente 4.7 veces más desde el año 2008 al 2018. Esta fuerte alza en la producción está acompañada de la demanda correspondiente.

Por lo tanto, propone la creación de un sistema que permita encontrar de manera sistemática las implantaciones para huertos solares más eficientes en términos de producción, protección del medio ambiente, rentabilidad, estabilidad y precisión respecto a la energía producida. Posteriormente se centran en determinar las variables que permiten identificar una zona idónea para este tipo de proyectos, llegando a la conclusión de que el factor de incidencia solar es el más relevante, seguido por otros de menor relevancia como: la cercanía a líneas de alta tensión existente, las carreteras y vías de acceso al lugar, cercanía con centros poblados, topografía del terreno. La topografía del terreno juega un papel particular en la estimación precisa de la potencia nominal del huerto fotovoltaico, cuanto más accidentado sea el terreno, más margen de error presentará la estimación de la potencia nominal del huerto en la fase de ejecución. Una vez se han seleccionado estas variables y su orden de relevancia aplicada al proceso de selección, los Sistemas de Información Geográfica entran a examinar los inputs de información para encontrar las zonas que se encuentren en la mejor posición dentro de los criterios de selección. Una vez seleccionada la zona, estos datos son transformados a un formato compatible con algún software de metodología BIM, en este caso, Revit. El formato .CSV se utiliza para importar, a modo de puntos que constituyen un mapa de coordenadas, la topografía a Revit, los sistema de autopistas principales se importan como .DWG y de nuevo el formato .CSV para definir el punto de origen de la familia de la mesa. Teniendo ya todos los componentes, solo resta importar y ubicar los diferentes tipos de mesa en forma de familias a los puntos de origen marcados

anteriormente, de manera automatizada con la aplicación de Dynamo. A partir de este punto, el huerto fotovoltaico puede ser visualizado en Revit.

Esta investigación podría constituir el paso previo a lo que se ha propuesto en el presente trabajo, donde el resultado final es un huerto fotovoltaico realizado dentro de un software BIM, que luego podrá ser usado como base para la gestión de la construcción del mismo, aplicando las modificaciones que se determinen en los siguientes apartados.

Por otro lado, el artículo *Photovoltaic system: Finally a BIM technology applied to solar PV modelling* (2019), indican el creciente uso de programas BIM para el diseño e identificación de superficies de ejecución durante la obra, por lo tanto, es una herramienta que se encuentra en auge, y que por lo tanto, se requiere seguir explorando para otros aspectos de obra, como lo es la gestión y control.

En este trabajo se aplican herramientas BIM y de programación por nodos para permitir mejores análisis de irradiación solar sobre edificios ya existentes. Uno de los principales factores en la instalación de módulos sobre edificaciones ya existentes o en fase de diseño, aparte de la más importante que es su factor de irradiación, es el tipo de elemento construido sobre el que estará. Por esta razón, la incorporación del sistema Bim en estos análisis es de vital importancia pues permite la total modelación BIM de una edificación y su posterior toma de superficies aplicando Dynamo al mismo tiempo que se toma en cuenta el tipo de elemento construido sobre el que se plantea la colocación del módulo fotovoltaico. Si bien este sistema es mucho más exacto para predecir la mejor disposición de las placas, puesto que toma en cuenta no solo el edificio, como se ha mencionado ya, sino que además incorpora análisis 3D de los alrededores del edificio, que también afectan de manera considerable la potencia nominal del sistema, existe aún una etapa en la realización de estos proyectos que queda rezagada en implementación BIM, esta es la etapa de ejecución.

Se puede concluir que la metodología BIM está siendo aplicada a múltiples ámbitos dentro de la producción de energía fotovoltaica, pero solo dentro de las etapas de análisis energético y concepción del huerto. Es necesario llevar estas posibilidades al campo de la ejecución y manejo de proyectos para hacer de ella una realidad.

En el texto *BIM-based Surface-specific Solar Simulation of Buildings* (2018), se propone el uso de la metodología BIM junto con herramientas de programación como Dynamo incorporado en el programa BIM, con el fin de estudiar las superficies de los edificios para el aprovechamiento de los paneles solares de manera envolvente. Por último, desde el punto de vista del programa BIM como una herramienta que beneficia las diferentes construcciones de energías renovables, el artículo *BIM for Renewable Energy Sector* (2022), como una herramienta que fomenta al desarrollo de proyectos sostenibles, gracias a la gran cantidad de propiedades y *plugins* que pueden aportar durante el proceso de diseño y ejecución de las obras. Finalmente, desde el punto de la gestión y control de obras fotovoltaicas, no se identificó una fuente que trate específicamente la gestión y control desde este tipo de construcciones, sin embargo, a nivel internacional existen guías como el PMBOK (La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos), que permiten delimitar unos parámetros en la gestión y control de proyectos, por otro lado, Buchtik (2013) identifica la importancia de un correcto seguimiento de obra y que esto es un gran y constante reto durante la ejecución de un proyecto. Es así, como se identificó varias fuentes que trata el uso de herramientas BIM en proyectos

fotovoltaicos, sin embargo, como ya se mencionó, se encuentra ausente investigaciones que hable sobre el uso de esta herramientas para el seguimiento y control de proyectos fotovoltaicos a gran escala, por lo tanto, el presente TFM presente innovar en este aspecto y contribuir al discurso sobre el uso de estas herramientas dentro del quehacer constructivo.

1.3 Justificación

La ejecución de proyectos de manera general siempre está acompañada tanto de expectativas como de incertidumbres, en donde cada una de ellas puede aumentar o disminuir según la manera en que se lleva a cabo la ejecución, el seguimiento y control, de cada una de las etapas y actividades que involucran el proyecto. En la actualidad existen amplios conocimientos y conceptos sobre la gestión y control que permiten llevar a cabo de manera adecuada la ejecución de un proyecto, evitando cualquier contratiempo o fracaso, para el caso los proyectos fotovoltaicos, es la misma situación, por lo tanto, su ejecución y gestión implican “una gran cantidad de retos e incertidumbres” (Buchtik, 2013)

A partir de lo anterior, es necesario entender que la gestión y control de obra requiere analizar todos los factores positivos y negativos de la ejecución de cada etapa del proyecto, de manera que se pueda minimizar el fracaso, los retrasos, sobrecostos por incidencias o falta de una respuesta adecuada antes ellas, por lo tanto, las decisiones que se toman a partir de una correcta gestión y control, permiten ser más organizados y responder a tiempo, frente a cualquier problemática que pueda surgir durante la ejecución del proyecto, además de manera un mejor control y manejo entre los actores que ejecutan la obra y los promotores y demás actores que vigila su correcta ejecución. Adicionalmente, según Buchtik (2013), a apartir del 2006 ha estado aumentando el número de empresas que reconoce la necesidad de mejorar y cuantificar las incidencias como un factor de éxito en los proyectos¹. Sin embargo, a pesar de que ya lleva tiempo esta preocupación sobre mejorar la metodología de gestión y control de obras, de acuerdo con la bibliografía consultada, no existen o son escasos los estudios que traten específicamente la gestión y control en proyectos fotovoltaicos a gran escala. Por lo tanto, es necesario realizar una revisión del estado actual de la gestión y control en este sector de la construcción/mercado, e identificar los aspectos positivos y las dificultades que existen actualmente, con el fin de proponer mejoras y facilidades en el manejo de los datos. De igual manera, es importante atender a este sector del mercado de las energía renovables, puesto que debido a la gran escala de los proyectos que se están trabajando dentro del campo fotovoltaico, una mejor gestión y control de la ejecución de los proyectos, permite ahorrar de manera significativa en tiempo, costos y materiales, entre otros.

1.3.1 Crecimiento del sector PV en proyectos de gran escala (Mayores a 10 MW)

1.3.1.1 Crecimiento por escalas o segmentos de mercado

Una vez que se ha establecido una escala para los proyectos, es posible realizar un análisis del crecimiento del sector solar discriminado por escalas de proyecto. Esto puede revelar tendencias en el sector que pueden ayudar a establecer los ámbitos de aplicación de este trabajo. En primer lugar, se elabora un análisis del crecimiento global del consumo eléctrico y posteriormente se contrasta esta información con el crecimiento del sector fotovoltaico por escalas.

¹ Buchtik (2013). Pag. 18

Inicialmente se puede observar un crecimiento evidente en la demanda de energía eléctrica global. Este crecimiento parece una constante a través de países con economías y estados de desarrollo variados, aunque existen algunas diferencias.

1. Países de PIB per cápita alto:

Son economías ya desarrolladas y que por lo tanto tienen márgenes de crecimiento inferiores. Tienden a enfocarse en economías de servicios, sector que consume menos electricidad por unidad de PIB. Han experimentado procesos de digitalización más fuertes, factor que eleva el consumo eléctrico per cápita, pero debido a que generalmente la población de estos países aumenta poco, e incluso en algunos casos decrece, su nivel de consumo no aumenta significativamente en términos porcentuales. Sin embargo, debido a grandes capacidades de inversión y políticas públicas en fomento de la transición energética, es así como los pequeños porcentajes se traducen proyectos numerosos y de gran potencia, por lo que el incremento en números reales es importante dentro del recuento general.

2. Países de PIB per cápita medio:

En el caso de los países de PIB per cápita medio, la fuerte presencia de industrias productivas de gran consumo energético, electrificación intensiva y elevado crecimiento anual, llevan a grandes escaladas en la demanda de energía eléctrica. Estos países tienen porcentajes de crecimiento elevado, así que sus industrias productivas generan un gran aumento en sus niveles de consumo energético de forma muy rápida. Aunque su proceso de digitalización no esté presente en la misma medida que los países de PIB per cápita alto, su proceso está en marcha y junto con su crecimiento poblacional generalmente positivo, este se convierte en otro factor que incrementa la demanda.

3. Países de PIB per cápita bajo:

Estos países tienden a consumir poca energía por unidad de PIB, debido a la alta combustión de energías fósiles y biomasa. Sin embargo, presentan altas tasas de crecimiento demográfico, el cual es uno de los indicadores más influyentes para el crecimiento de la demanda energética. Esto junto al crecimiento general de sus economías los sitúa por delante de los otros dos grupos.

Figure 10: Electricity demand in ISA countries, by region, 2010-2050 (TWh)

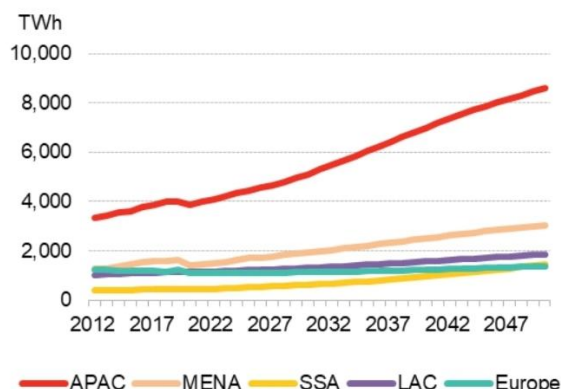


Figure 11: Electricity demand in ISA countries, by country group, 2010-2050 (TWh)



Source: BloombergNEF New Energy Outlook, Economic Transition Scenario 2020. Note: See Appendix A for ISA country list.

Figura 1. Demanda energética por región y grupo. Fuente: *Bloomberg NEF New Energy Outlook, Economic Transition Scenario 2020*.

“Beneficiary” = Países de PIB per cápita bajo

“Facilitator” = Países de PIB per cápita alto

“Pivotal” = Países de PIB per cápita medio

“APAC” = Asia pacífico

“MENA” = Medio oriente y norte de África

“SSA” = África subsahariana

“LAC” = Latinoamérica y el caribe

Una vez establecidos los crecimientos generales y su proyección en aumento en los próximos años, se procede a discriminar este crecimiento de acuerdo a su segmento de mercado o escala, según lo establecido en la sección anterior. Según los datos de este informe de Bloomberg NEF y la Asociación Solar Internacional, el crecimiento en la potencia fotovoltaica total instalada mundial es 18 veces más grande que solo hace una década atrás.

Figure 12: Global cumulative installed PV capacity, by market segment

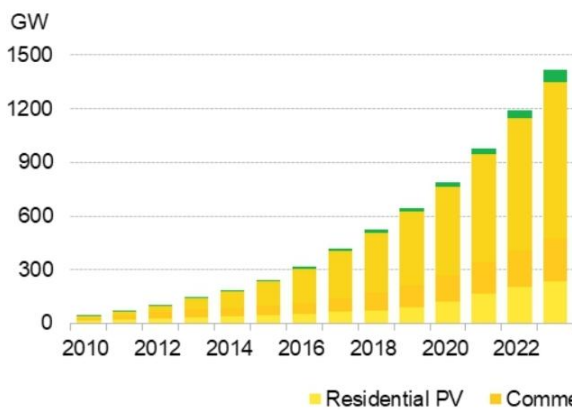


Figure 13: Global annual new PV capacity additions, by market segment



Source: BloombergNEF Note: Forecast as of September 2021.

Figura 2: Demanda energética por capacidad y escala. Fuente: Bloomberg NEF New Energy Outlook, Economic Transition Scenario 2020.

El crecimiento se concentra principalmente en la escala de servicio público, ese segmento era el 58% del total de nuevas instalaciones en 2020 y las proyecciones sugieren que este segmento en particular crecerá más rápidamente que otros ya que la potencia de este tipo de proyectos ha crecido en pocos años por su gran capacidad para crecer más rápidamente que las otras escalas. La planta solar más grande del mundo en 2010 era una fase de 70 mW de la planta SunEdison Rovigo, en contraste con dos proyectos de 2020 en Abu Dhabi y China, ambos con una capacidad de 1.2 GW cada uno, sumado a 14 plantas más de más de 500 mW alrededor del mundo. Lo que demuestra que, si bien la pequeña escala, que comprende la escala residencial y comercial, harán una contribución notable, los proyectos más grandes, destinados a suplir el consumo eléctrico a escala de ciudad o país, serán los que generen los mayores cambios.

A partir de estos datos se puede extraer que la presencia de proyectos de gran escala será mayor a cualquier otro segmento y por esta razón, la metodología de gestión en este tipo de proyectos debe ser optimizada para responder a este crecimiento.

1.3.1.2 Energía solar en el contexto de las renovables

El crecimiento de la potencia global instalada proveniente de huertos fotovoltaicos, en adición al crecimiento de las otras fuentes de energías renovables en la última década es considerable, sin embargo, al comparar su producción con otros tipos de energía no renovable, se evidencia que las energías renovables representan apenas el 11.4% del total consumido, si a esto se suma la energía nuclear, que es una fuente de bajas

emisiones en carbono, se llega al 15.7%. El consumo global de energía sigue dominado por los combustibles fósiles.

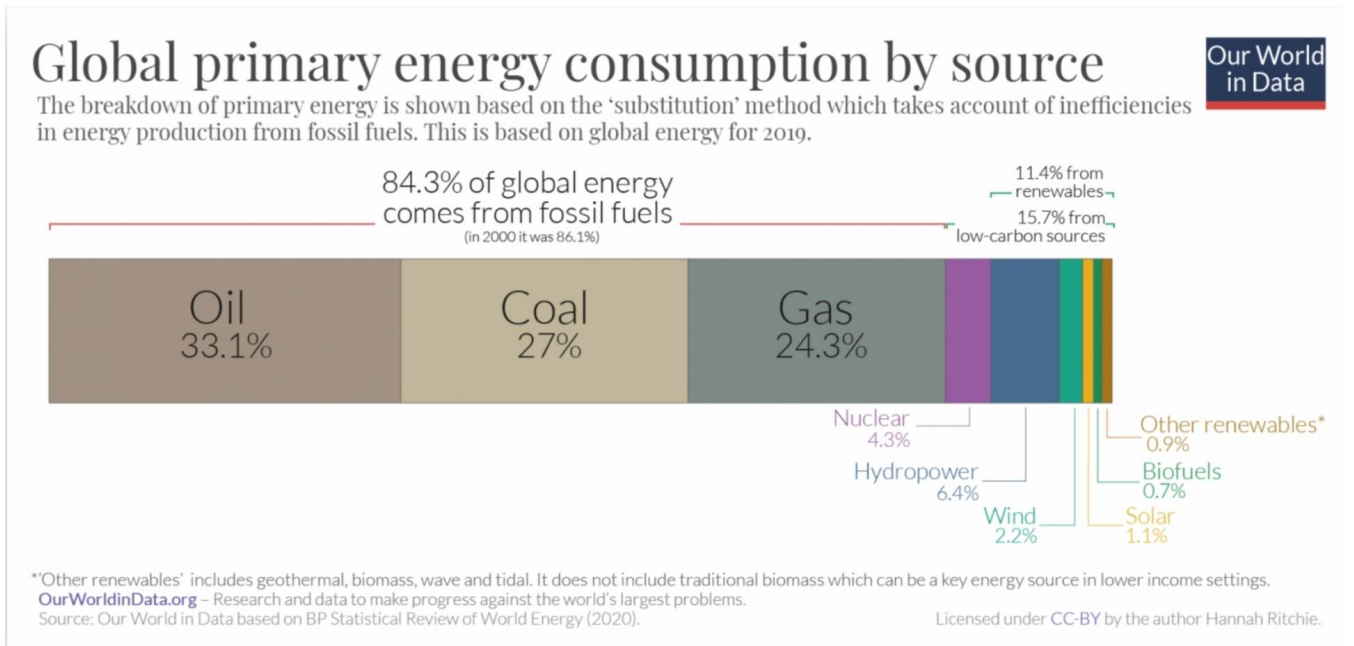


Figura 3. Indicadores de consumo de las fuentes de energía primaria. Fuente: Our World in Data. Global primary energy consumption by source. (2017)

La industria de energías renovables requiere de aumentar su producción a un ritmo mucho mayor, con el fin de cubrir el porcentaje de crecimiento anual de la demanda energética. Este tipo de crecimiento solo se puede satisfacer por medio de proyectos de gran escala, que de acuerdo con la tendencia, está en continuo crecimiento en número y capacidad. Por lo tanto, es en estos casos cuando un sistema de gestión de obra para proyectos fotovoltaicos cada vez mayores entra dentro de las prioridades del sector.

1.4 Objetivos del proyecto

El objetivo general de este TFM es establecer una metodología de gestión y control para obras fotovoltaicas a gran escala mediante herramientas de modelado BIM, en donde se permita el manejo de información detallada de los actores y etapas de ejecución, así como la cuantificación de algunos factores de seguimiento.

De acuerdo con lo anterior, para lograr dicho objetivo se requiere cumplir con unos objetivos específicos: en primer lugar identificar las herramientas y actores involucrados en la ejecución y que son relevantes para la gestión y control de obra. Una vez identificado los actores y herramientas, se requirió analizar y reconocer cuales son las dificultades que se presentan tanto entre actores, como en el uso de las herramientas para una correcta gestión y control de obra en proyectos fotovoltaicos a gran escala. A partir de estas dificultades, se propuso una metodología de gestión y control a partir de los factores seguimientos identificados y de qué manera se puede mejorar el registro y control de la información. Finalmente, se aplicó la metodología propuesta de gestión y control a un proyecto hipotético, con el fin de comparar la efectividad de la metodología propuesta con la metodología tradicional usada en los proyectos fotovoltaicos.

1.5 Estructura del documento

El presente documento se divide en cuatro capítulos. En el primero, se introducen los conceptos y el estado del arte sobre el crecimiento y desarrollo de la construcción fotovoltaica dentro del sector del mercado por escalas y las energías renovables, con el fin de delimitar la escala en la que se trabajó, de igual manera, se identifican los tipos de estructura, para definir sobre cuál se aplica la metodología propuesta. Posteriormente, se identifican los actores involucrados en los proyectos fotovoltaicos, en donde se delimita los actores encargados de la ejecución del montaje de las estructuras fotovoltaicas, que son los de principal interés para el seguimiento y control. A continuación, se describen las etapas de montaje y construcción de las estructuras fotovoltaicas, así como también se describen las actividades de gestión y control, así como las herramientas comúnmente utilizadas para el seguimiento de todas las actividades y demás datos obtenidos en la ejecución de obra. Por último, mediante un análisis de todo lo anterior, se identifican y describen las dificultades que se pueden llegar a presentar durante el desarrollo de las obras fotovoltaicas.

En el segundo capítulo, empieza el desarrollo de la propuesta metodológica de gestión y control de obras fotovoltaicas por medio del programa BIM, describiendo los aspectos a mejorar a partir de la identificación de las dificultades del método tradicional y los resultados que se esperan obtener al aplicar la metodología en un ejercicio práctico.

En el tercer capítulo, se desarrolla el objetivo principal de esta investigación, la aplicación de la metodología BIM de gestión y control propuesta en un proyecto fotovoltaico hipotético a escala de servicio público, en donde se describe cada uno de los pasos para llevarlo a cabo y los resultados que se obtuvieron, además se describe las limitaciones que se llegaron a presentar durante la aplicación de la metodología BIM.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se realiza una comparación entre la metodología propuesta y la tradicional, con el fin de analizar y determinar de qué manera la metodología propuesta responde a las dificultades identificadas en la metodología tradicional, así como la facilidad en el manejo y extracción de datos en el programa BIM para vincularlos con otros programas usados tradicionalmente en el control de obras, dando paso finalmente a las conclusiones del trabajo.

1.6 Metodología

Para el desarrollo metodológico de este TFM, se tuvo en cuenta varias herramientas. La primera es un proceso de investigación sobre los procesos que se llevan a cabo dentro de la ejecución de obras fotovoltaicas. En segundo lugar, con base en la experiencia propia laborando con empresas de montaje y realizando visitas de campo a diferentes obras, para obtener resultados identificando las etapas de ejecución de la obra, los actores involucrados, los procesos que se llevan a cabo en las mismas, así como en la identificación de las herramientas que actualmente se usan para la gestión y control de obras fotovoltaicas. De igual manera, se recogieron resultados sobre las incidencias más comunes que se encontraron durante la ejecución y a partir de lo anterior, se realizó un análisis para deducir las dificultades que se presentan en la gestión y control. Posteriormente, a través de un análisis de los actores y herramientas, así como de las dificultades, se realizó la propuesta metodológica que permita mejorar y facilitar el registro y manejo de la información durante la ejecución de las obras fotovoltaicas. Por último, el uso y testeo del programa BIM, como medio de aplicación de la metodología de gestión y control propuesto por esta investigación, aportó y permitió analizar los alcances y limitaciones para el registro y manejo de la información dentro del modelado de un proyecto hipotético, y su vez, permitió comparar con el método tradicional de gestión y control, la efectividad de la metodología propuesta, y a su vez, la vinculación de la herramienta BIM para trasladar, conectar y manejar la información con las herramientas tradicionales, como las hojas de cálculo, lo que genera un aporte y responde a la problemática actual en la dificultad de la gestión y control de obras fotovoltaicas a gran escala, con resultados positivos tanto organizacionales, como como económicos, entre otros.

1.6.1 Marco Teórico

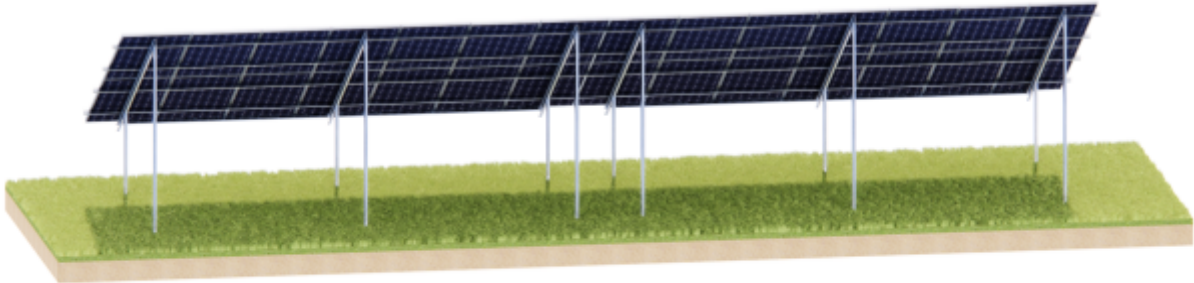
1.6.1.1 Tipos de estructuras fotovoltaicas y su relación con las escalas o segmentos de mercado

Las plantas fotovoltaicas, además de su clasificación por escalas, existen otras formas de clasificación de acuerdo con otras características, sin embargo, para los fines del presente trabajo, además de la escala, se identifican los tipos de estructuras para la instalación de plantas fotovoltaicas, cada una con el fin de atender una serie de requerimientos y necesidades del proyecto, ya sean del terreno o por condiciones meteorológicas. Las principales estructuras son las siguientes:

- Estructuras fijas a suelo: Son el tipo de estructuras más comunes. Consisten en instalaciones de perfiles metálicos al suelo, cuyo montaje con correas y bastidores, permiten instalar el panel fotovoltaico encima de la estructura. Se requiere realizar un estudio previo del terreno, así como de las condiciones meteorológicas, como el viento y la nieve, para hacer este tipo de instalación y la estructura funcione de manera correcta. Este tipo de estructuras se clasifican según la disposición de los perfiles en las mesas:

La primera, estructura fija biposte, posee dos puntos de apoyo que funcionan como pilares, estas se fijan al suelo mediante hincas, tornillos anclados o sobre zapata de hormigón superficial. La segunda, la estructura fija monoposte, como su nombre lo indica, consta de una hincas o tornillo como pilar en la estructura de la mesa.

Estructura fija biposte



Estructura fija monoposte

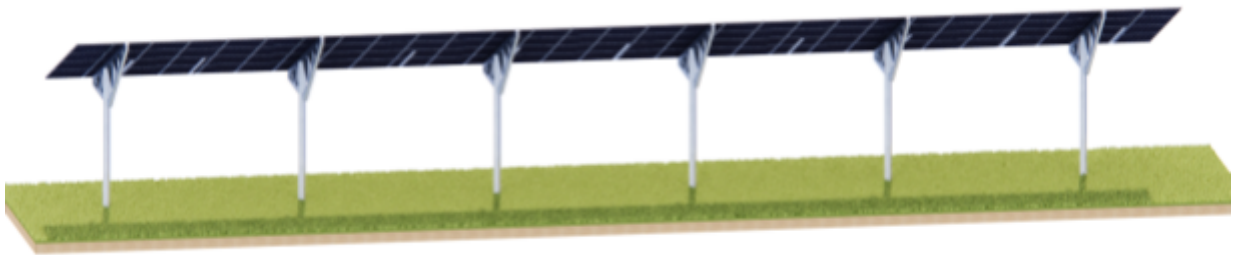


Figura 4. Tipos de estructuras fijas al suelo. Fuente: Elaboración propia.

- Estructuras lastradas: Es un tipo de estructura comúnmente usado en cubiertas. Este tipo de sistemas aseguran el correcto funcionamiento mecánico de la estructura, mediante lastres, para asegurar que el viento no los pueda desplazar. Para que pueda ser viable este sistema, se suele reducir el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, con el propósito de reducir la fuerza del viento, esto evita aumentar significativamente el peso del lastre, comprometiendo el lugar de la instalación. Para este caso se requieren estudios estructurales de la cubierta.

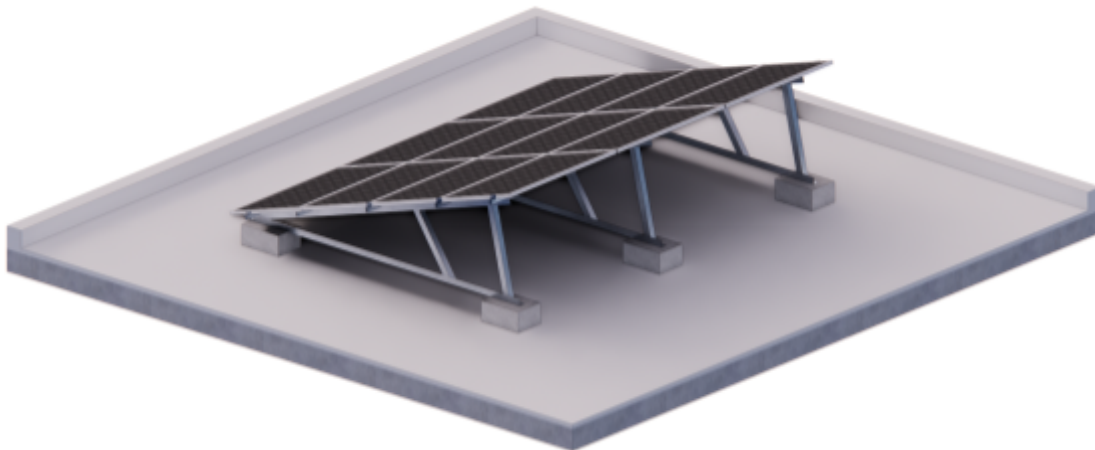


Figura 5. Estructura lastrada. Fuente: Elaboración propia.

- Estructuras móviles (*Tracker*): Son el tipo de estructura más costosa, tanto en su fabricación como mantenimiento. Así mismo, el tiempo de instalación es mayor en comparación con los anteriores, debido a sus sistemas complejos, ya que tienen partes móviles. Este tipo de estructura se implementa con el fin de optimizar y aumentar la producción eléctrica, puesto que, debido a su estructura móvil, el panel permanece el máximo tiempo posible expuesto a la radiación solar. El sistema genera un movimiento en la estructura, buscando siempre el máximo nivel de radiación solar, adaptándose al movimiento del sol.



Figura 6. Estructura *Tracker* (Seguidor solar). Fuente: Elaboración propia.

- Estructuras flotantes: Es uno de los sistemas más recientes de soporte de paneles fotovoltaicos. Su instalación consiste en módulos flotantes sobre el agua, esto permite tener grandes instalaciones de plantas fotovoltaicas sin la necesidad de ocupar terrenos, que pueden ser usados para otros servicios. Estas estructuras pueden aportar beneficios para los ecosistemas, al reducir la temperatura del agua

beneficiando algunas especies, sin embargo, se deben realizar los estudios necesarios para analizar la biodiversidad del ecosistema, de manera que no afecte su supervivencia y bienestar.

Una vez presentado todos los tipos de estructuras usados en plantas fotovoltaicas, el presente trabajo se enfoca en los proyectos fotovoltaicos con estructura fija a suelo biposte por medio de hincas, ya que dentro de la escala de servicio público, es la estructura que comúnmente se desarrolla en dichos proyectos. Una vez establecida la escala y el tipo de estructura fotovoltaica a la que se dirige este trabajo, a continuación, se expone la estructura empresarial y los actores que participan dentro de la metodología de gestión de construcción de proyectos fotovoltaicos.

1.6.1.2 Configuración de la mesa y sus etapas de construcción

Dependiendo de las necesidades y parámetros del diseño del huerto fotovoltaico, se han identificado dos maneras de configuración de las mesas, según la disposición de los paneles solares (Figura 7). La primera es la configuración de paneles verticales (a), cuya nomenclatura para identificar la distribución de los paneles es, por ejemplo, 2V10, que se traduce en diez filas de dos paneles dispuestos sobre la estructura en posición vertical. Para este tipo de configuración, se requiere la instalación de estructuras con correas horizontales. Por otro lado y como segunda configuración, se encuentran los paneles horizontales (b), donde una configuración de paneles con nomenclatura 4H20, permite ver que la mesa está conformada por veinte hileras de cuatro paneles, los cuales están soportados sobre la estructura en posición horizontal, cabe señalar que para este tipo de estructuras se recomienda el uso de arriostras verticales, ya que con esta forma de sujeción de los paneles, se mejora el desempeño estructural de la estructura frente a las fuerzas horizontales del viento.

De esta manera, la nomenclatura descrita anteriormente, no solo ha permitido identificar la posición y distribución de los paneles en la mesa, tanto en el diseño como construcción de las plantas fotovoltaicas, si no también, definir y gestionar rápidamente la cantidad total de paneles por mesa.

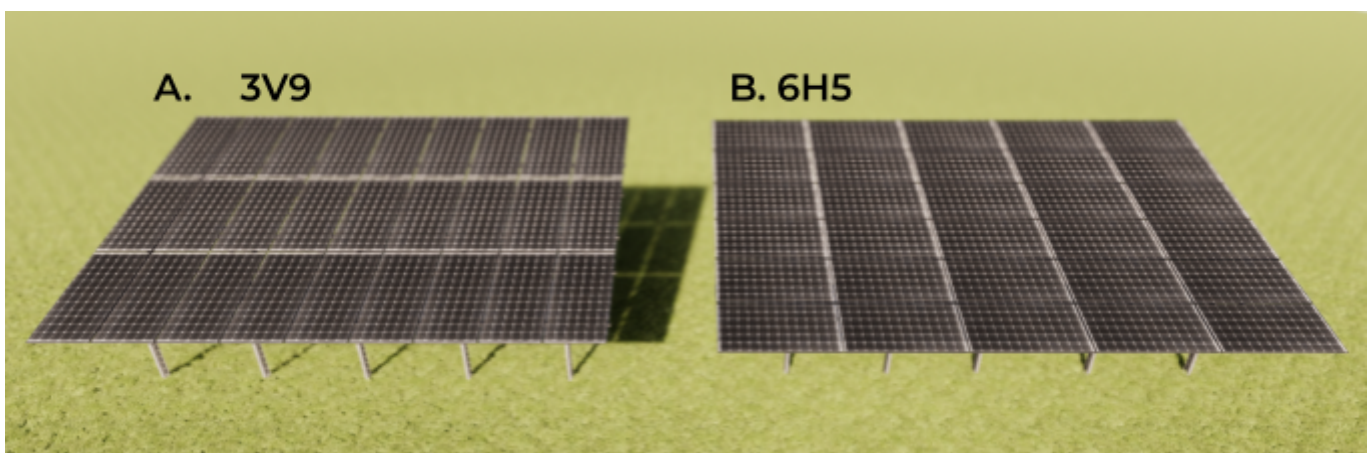


Figura 7. Configuración de las mesas según disposición del panel. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, para identificar las herramientas de control y gestión, durante la ejecución de la obra y de acuerdo con el tipo de estructura más común para proyectos a escala de servicio público, es decir, una estructura fija biposte con hincas, se han identificado cinco etapas de construcción de las mesas:

- **Implantación:** En esta etapa se realiza un replanteo de la cimentación de la mesa, donde el topógrafo con las herramientas correspondientes, señala de manera precisa donde se ubica cada una de las hincas que conforman la mesa.

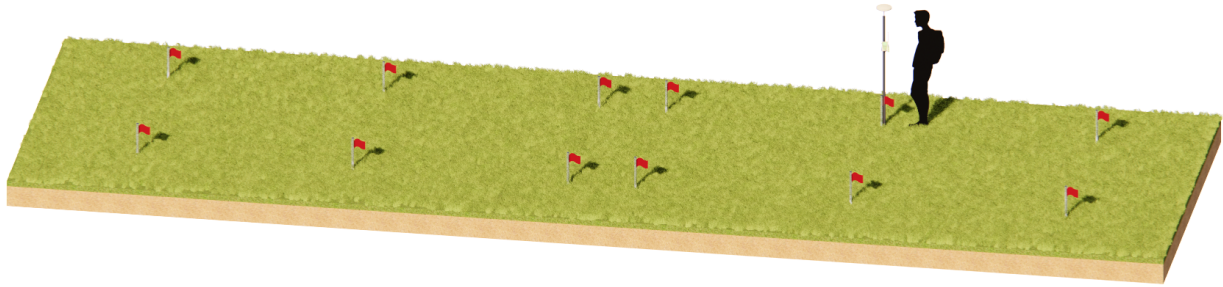


Figura 8. Localización de puntos. Fuente: Elaboración propia

- **Hincado:** Una vez finalizada la implantación, se realiza el proceso de hincar los perfiles que soportan la estructura y los paneles solares. Las hincas están conformadas por perfiles metálicos tipo C. Cada una de las hincas debe estar insertada de tal manera que su altura final desde el nivel del suelo, sea el indicado para generar el ángulo de inclinación deseado para los paneles solares.

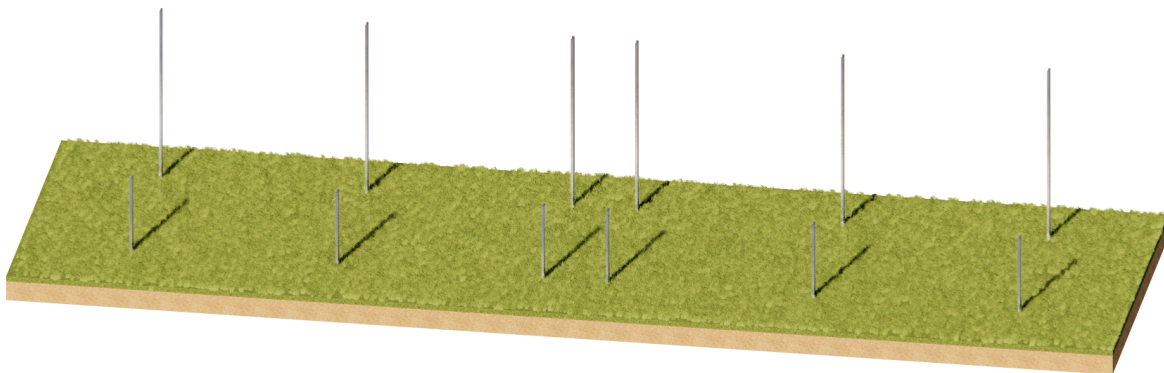


Figura 9. Hincado de las fundaciones. Fuente: Elaboración propia

- **Estructura:** Posterior a la inserción de las hincas, continúa el montaje de la estructura de la mesa, conformado por bastidores, correas y arriostras como apoyo a la estructura, cada una de ellas debidamente aseguradas con uniones atornilladas.

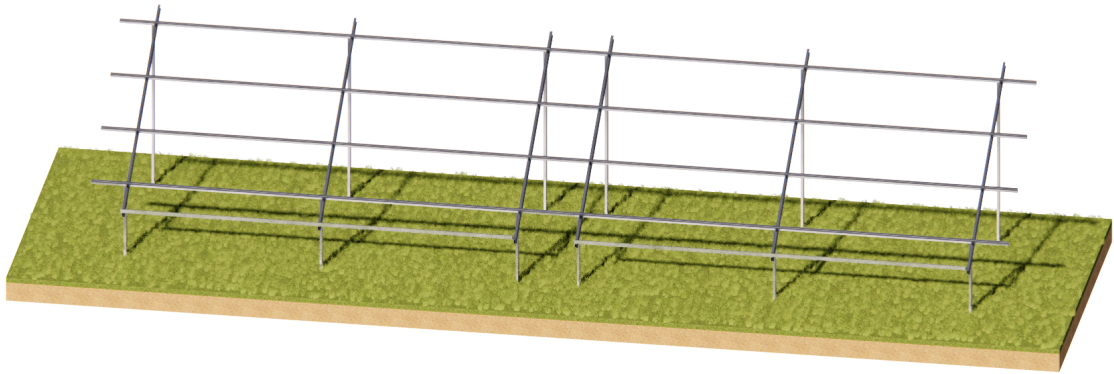


Figura 10. Estructura montada (Correas y bastidores). Fuente: Elaboración propia

- Paneles: Finalmente, una vez terminada la estructura de la mesa, se realiza el montaje de los paneles solares con los debidos elementos de fijación (grapas), situados en los extremos o intermedio de los paneles, sujetos a la estructura metálica. Estos elementos (grapas), puesto que no van atornillados, permite un rápido posicionamiento, nivelación y apriete de los paneles con las correas y bastidores, reduciendo considerablemente el tiempo de montaje.

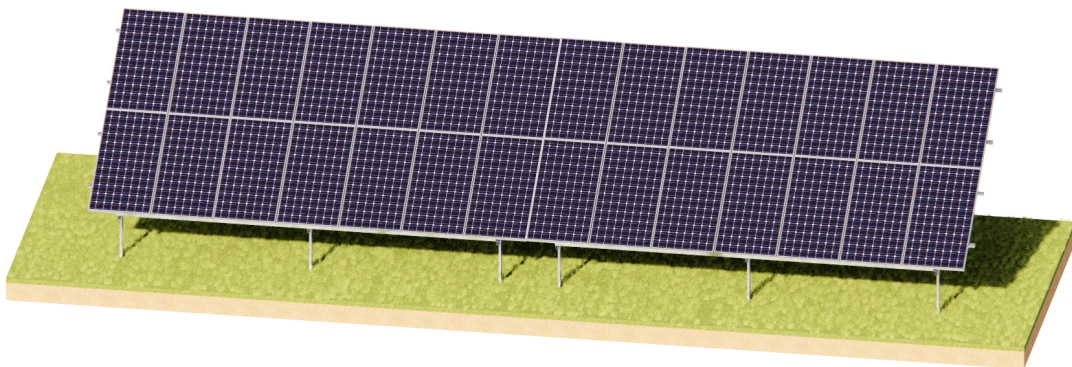


Figura 11. Etapa de instalación de módulos. Fuente: Elaboración propia

- Control de calidad: Como etapa final, se revisa cada una de las mesas terminadas, dónde se verifica la inserción de las hincas, el ángulo de inclinación resultante de los paneles solares, así como la integridad de la estructura, entre otros elementos, para determinar si su instalación se realizó correctamente.

1.6.2 Modelo de control y actores relacionados al método en fase de ejecución

1.6.2.1 Estructura empresarial y actores relacionados al método

Determinar las estructuras empresariales para el desarrollo de los proyectos fotovoltaicos es determinante para reconocer los actores a los que afectará el modelo de gestión que se plantea. Además, permite identificar las necesidades de cada actor, según su función en el proyecto y permite identificar con mayor claridad los resultados que se esperan, teniendo en cuenta un contexto amplio de actores, no sólo los directamente implicados en la ejecución de la obra, como un *site manager*.

A continuación se describe la estructura típica para proyectos fotovoltaicos de gran escala:

En primer lugar, existe una empresa promotora/propietaria, que de la cual se desprende una SPV (Special Purpose Vehicle), esta es una filial de la empresa madre que opera con sus propios recursos financieros, esto con el fin de evitar riesgos financieros importantes para la empresa matriz. No todos los proyectos fotovoltaicos se estructuran a través de una filial de empresa, ya que esto genera ciertas afectaciones comerciales que no siempre es deseable asumir, así que esto dependerá de la empresa promotora/propietaria. A partir de esta SPV, se estructura el proyecto. En este punto, toda la documentación del proyecto permite solicitar los préstamos necesarios para la financiación, y posteriormente se inician los contratos con las empresas contratadas para las diferentes fases del proyecto.

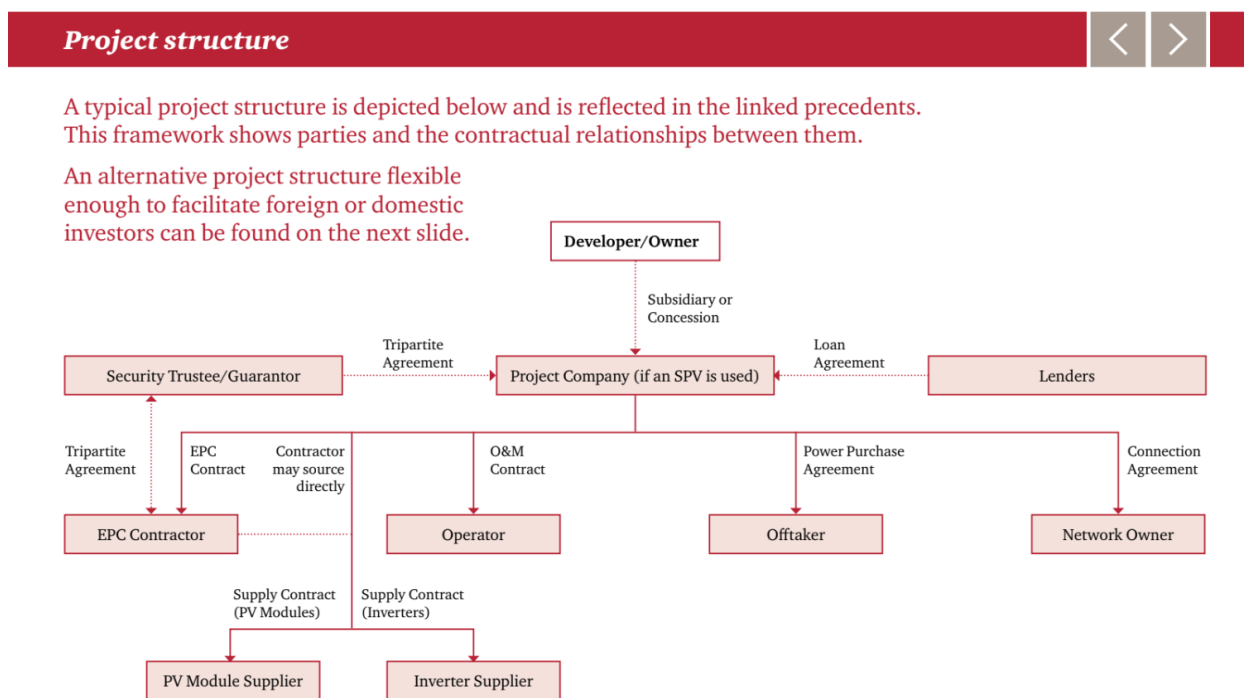


Figura 12. Estructura de actores dentro de un proyecto fotovoltaico a gran escala. Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2017

- Se realiza un acuerdo de conexión a la red con el propietario de la red para las fases finales del proyecto.
- Se realiza un PPA (Power Purchase Agreement) con el distribuidor de energía eléctrica que asegura la venta de la energía producida.
- Se contrata a un operador con el cual se desarrollarán las tareas de O&M (Operación y Mantenimiento) de la instalación.
- Se establece un acuerdo de suministro de los paneles solares e inversores con el proveedor, usualmente provenientes de China. En algunos casos, el EPC puede suministrar los paneles o inversores de ser acordado así.
- Se establece un contrato “llave en mano” con una empresa EPC (*Engineering, Procurement and Construction*), este permite delegar a una sola empresa el diseño de la ingeniería de detalle, el suministro de los materiales necesarios y el montaje del proyecto. Este actor es muy relevante, ya que, es el encargado de la materialización del proyecto, son quienes gestionan directamente el montaje de las estructuras de soporte, el proceso de montaje de los módulos fotovoltaicos, realizar sus propios procesos de control de calidad y demás tareas relacionadas con la construcción que son el objetivo principal del método de gestión que se desarrollará en este trabajo. El siguiente esquema amplía las información sobre las tareas del EPC. Al ser este un actor relevante dentro del método, se amplía a continuación la información sobre él.

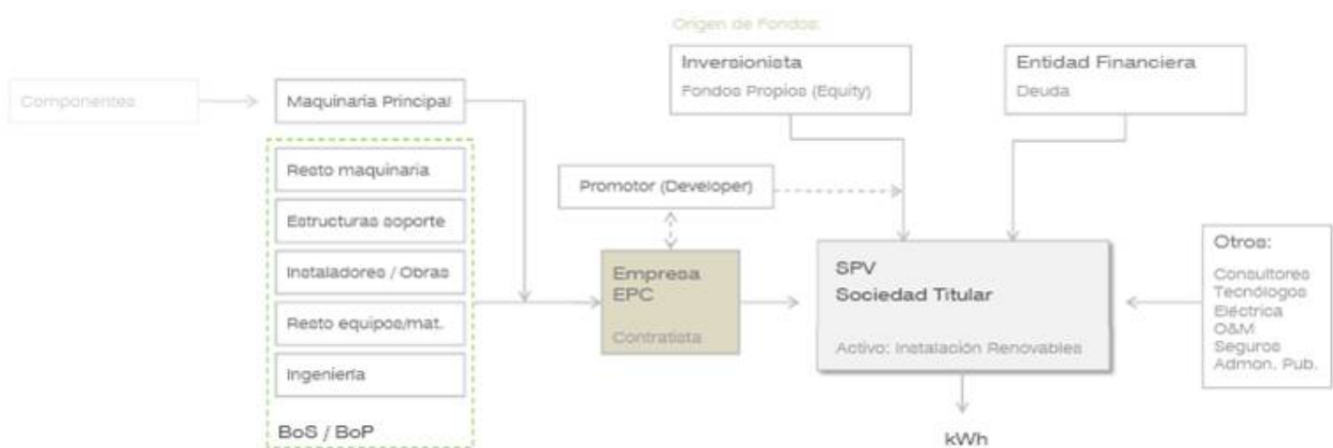


Figura 13. Estructura típica de los proyectos fotovoltaicos. Fuente: Estructura típica de los proyectos renovables en Energías renovables y eficiencia energética - wiki EOI de documentación docente

1.6.2.2 EPC

Del inglés, *Engineering, Procurement and Construction*, las empresas EPC son las encargadas de construir la planta fotovoltaica en sí. Dentro de sus labores está el diseño de la ingeniería de detalle del sistema de montaje de la estructura de soporte asegurando el comportamiento exigido por la SPV y realizar el montaje de esta estructura apegados a las exigencias de calidad. Al ser esta empresa la directa responsable de la materialización del proyecto, en ella recae la responsabilidad de gestionar prácticamente la totalidad de actividades para la construcción del proyecto.

Las principales tareas que debe desarrollar el EPCista relacionadas a la construcción y montaje de la estructura fotovoltaica y a los subcontratas encargados de su ejecución, son:

- Ingeniería de detalle

Determinar la ingeniería de detalle de la estructura de las mesas, donde en algunos casos pueden ser sistemas diseñados por empresas dedicadas exclusivamente al desarrollo de este tipo de estructuras que fabrican y posteriormente suministran al EPCista para que éste lo derive a la empresa encargada del montaje. En otros casos, existen empresas que diseñan sus propias estructuras, las fabrican y posteriormente las montan ellas mismas. lo que permite generar diseños adaptados a las necesidades puntuales de cada proyecto.

- Obra civil

El EPCista tiene la responsabilidad de realizar la obra civil necesaria para adecuar la localización del proyecto a las necesidades de accesibilidad, protección contra el medio natural y adecuación para la colocación de la estructura y otros componentes eléctricos. La accesibilidad comprende el acceso al huerto fotovoltaico y las vías que recorren el campo y que permiten el mantenimiento y reparación de las estructuras, paneles, inversores, centros de transformación y los componentes eléctricos. Respecto al medio natural, se aplican obras para evitar inundaciones por acequias y otros cuerpos de agua que puedan afectar el proyecto o su proceso de construcción. Las áreas de almacenamiento destinadas a depositar los módulos fotovoltaicos y la estructura así como las áreas donde acaban las mesas instaladas deben permanecer accesibles y libres de riesgo de inundación, hundimiento por peso o deslizamientos. Los huertos fotovoltaicos suelen localizarse en zonas llanas, donde este tipo de topografía permita una instalación rápida y económica de las mesas, por lo tanto los riesgos de deslizamiento no son frecuentes, por otro lado, los riesgos asociados a inundaciones están mucho más presentes en este tipo de proyectos, lo que obliga al EPCista a prestar especial atención a este factor de riesgo. La localización de algunos proyectos hacen necesarios la construcción de muros de contención que permitan la construcción de vías de acceso, áreas para los CT's y bahías para la correcta circulación vehicular de los proyectos, este tipo de intervenciones también son parte de las actividades determinadas y realizadas por el EPCista por el mismo o a través de una empresa especializada. Adicionalmente, se deben realizar algunas intervenciones sobre toda el área de mesas. Si se tiene el caso de un proyecto sobre una zona natural no, previo a la colocación de las mesas, se debe remover la capa vegetal de esta zona, para permitir los ensayos previos a las cimentaciones de las mesas. Esta limpieza del terreno también facilitará los posteriores trabajos con maquinaria pesada utilizada en el transporte de los pallets con módulos. Dentro de los trabajos de obra civil también se encuentran todas las zanjas y adecuaciones de terreno destinadas a albergar los componentes eléctricos que recorren el proyecto, como el cableado. Todas estas tareas pueden ser subcontratadas a una empresa especializada en estas actividades.

- Componente eléctrico

El EPCista debe asegurar la correcta instalación de todos los elementos eléctricos, esto quiere decir que debe determinar el tipo de módulo que se emplea, para que cumpla con las estimaciones previas que permitan cumplir con el PPA. Los módulos deben ser conectados entre sí, tarea que puede ser llevada a cabo directamente por la empresa subcontratada, sean los montadores de paneles o los eléctricos. Más importante aún, deben ser determinados los *strings* o grupos de mesas que se conectan *al inversor* o al *string box*, y asegurar la correcta conexión de estos últimos con los CT's y posteriormente a las líneas de alta tensión. El seguimiento de esta tarea es importante, ya que los eléctricos solo podrán operar una vez que todos los módulos del string estén instalados, lo que significa que debe haber un seguimiento detallado de avances para evitar choques entre equipos. Todas estas tareas pueden ser subcontratadas a una empresa especializada en estas actividades.

- Descarga, gestión de almacenamiento y transporte. reparto, montaje y limpieza.

El mayor parte del trabajo manual de un proyecto fotovoltaico es su montaje, que debe ser llevado a cabo de forma manual por montadores y operarios de máquinas que asisten esta tarea. El EPCista realizará por su propia cuenta o contando con la participación de una empresa especializada en esta labor, el montaje de la estructura de soporte para los módulos así como la descarga, gestión del almacenamiento, transporte y repartición de los elementos justo en el sitio en el que deben ser montados. La organización de tareas puede variar, sin embargo es común encontrar que la empresa subcontratada para el montaje de la estructura también se encargue de determinar la maquinaria necesaria para realizar el transporte y reparto de todo el material, siendo esta misma empresa (o varias según la escala del proyecto) quien gestiona el alquiler o transporte de maquinaria si es propia, para llevar a cabo la tarea. La recepción de material se lleva a cabo por el EPCista y esta pasa a ser descargada por la empresa de montaje si la hubiera, que la almacenará en las zonas dispuestas para tal fin hasta que llegue el momento de usarlas, cuando maquinaria especializada como carros elevadores, recojan el material para que este sea llevado a la zona donde se montara, en un proceso denominado reparto, en el que se tiene especial atención a distribuir las piezas correctas en el lugar correspondiente a su montaje, ya que los sistemas de mesas suelen tener diferentes partes muy similares que son empleadas de forma diferencial según la ubicación de la mesa respecto a la zona (perimetral o interior), el módulo utilizado que puede cambiar de dimensión, aunque no es una situación muy frecuente, o cambios en el número total de paneles en las mesas, ya que hay varios tipos mesas con diferentes cantidades de módulos para adaptarse a la zona de instalación de mesas. Una vez repartido el material justo donde se montará, los montadores pueden comenzar su labor, montaje que se describe con detalle posteriormente. Con cierta periodicidad, se deben realizar trabajos de limpieza al finalizar las jornadas, ya que los módulos fotovoltaicos y la tornillería llegan al sitio de montaje sobre pallets y protegidos por por cajas de cartón, que deben ser recogidas para evitar contaminaciones al medio natural donde suelen estar los huertos. Todas estas actividades son el núcleo central de la construcción de los proyectos fotovoltaicos, es de las actividades que más consumen tiempo y recursos a nivel humano, puesto que el ensamblaje se lleva a cabo con grandes

cantidades de trabajadores. Por lo tanto, la monitorización de estos trabajos constituye una parte de vital importancia en el desarrollo de estos proyectos.

- Centro de transformación (CT's)

Si bien los Centros de transformación se definen junto con las demás especificaciones eléctricas, la instalación de estos requieren el avance de la instalación del string y su cableado por zanjas hasta los centros de transformación. También se deben preparar de antemano las plataformas especiales donde estarán los centros. Una vez estos preparativos están listos, las centrales, que para proyectos de escala de servicio público pueden pesar varias toneladas, lo que hace necesario contar con alguna empresa especializada en la instalación de estos equipos.

- Suministro

Los elementos necesarios para el montaje de las mesas son diseñados, fabricados y suministrados por la misma empresa. EPCista suele tener un buen conocimiento de los fabricantes del mercado, sus condiciones y modelos disponibles para que adaptarse a los proyectos de la mejor manera. Existen también empresas que tienen la capacidad de desarrollar sus propias estructuras, fabricarlas y llevarlas a la obra para posteriormente ser montadas por ellos mismos, esto dependerá de las capacidades y organización del proyecto.

- Distribución de costos y BoS

Dentro del esquema organizacional del EPCista, se encuentra el rol de project manager, que junto con su equipo técnico se encarga de la planificación de todo el proyecto teniendo en cuenta la distribución de costos de las diferentes partidas, que generalmente se dividen en las siguientes categorías: módulos, hardware BoS, (que abarca todos los componentes del huerto fotovoltaico con excepción de los módulos fotovoltaicos, este concepto hace referencia entonces a componentes como: inversores, sistemas de montaje, cimentaciones, cables, conectores), costos suaves (que se refiere a costos de adquisición de tierras, impuestos de ventas, gastos generales, ganancias netas, y costos relacionados a la instalación)

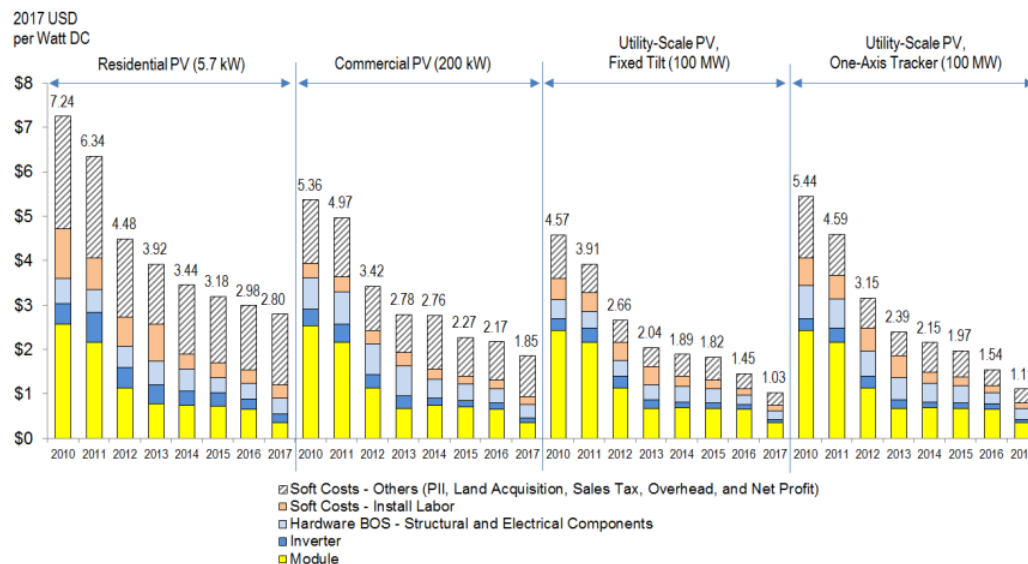


Figura 14. Distribución de costos según escalas de proyecto. Fuente: Fox, 2010

- Seguimiento de obra

El EPCista supervisa directamente el desarrollo de las obras y adicionalmente, se establecen comités periódicos de obra donde las diferentes subcontratas informan de sus avances en sus tareas particulares, a partir de estos datos, se elaboran los informes de avance y se puede medir el rendimiento de los actores implicados en el proyecto, de esta manera el EPCista puede prever qué tareas pueden entrar en conflicto en el futuro y tomar medidas correctivas. También se debe vigilar la logística del suministro de los diferentes materiales, donde se debe asegurar la correcta cadencia de llegada de módulos para no saturar las zonas de almacenamiento, así como otros elementos necesarios para la construcción del huerto, como las piezas necesarias para ensamblar las mesas.

- Garantía

Durante la ejecución de las obras se ejecutan varios controles de calidad que se traducen en informes que solicitan la corrección de estos. Este control permanente exigido por el EPCista al montador y quien suministra la estructura le permite al EPCista generar una garantía respecto a la estructura, que se negocia previamente y que usualmente está cubierta por periodos de entre 15 a 25 años, todo según las condiciones pactadas a la hora de negociar el contrato.

- Impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental es encargado a una empresa especializada en este tipo de seguimientos, donde durante la fase de obras, se hace un seguimiento del impacto y se implementan

unas medidas de protección, mitigación y compensación de daños a la fauna y flora del lugar. Posteriormente en la fase de aplicación se siguen verificando la aplicación de las medidas aplicadas y se monitorizan la respuesta y evolución ambiental de la zona donde se implanta el proyecto.

1.6.2.3 Organigrama de funciones

Debido a que la metodología de gestión se concentra en la fase de construcción del proyecto, se realiza un análisis detallado de los métodos actuales para monitorizar la fase de construcción de un huerto fotovoltaico a escala de servicio público. Los parámetros que permiten monitorizar el avance del proyecto se analizan para determinar su método de recolección, almacenamiento, procesamiento para determinar el estado de la obra y las decisiones a tomar.

Se han determinado ya las tareas que deben ser llevadas a cabo por el EPCista y cómo estas pueden distribuirse entre los sub contratistas, ahora se profundizará en los esquemas organizacionales dentro de cada uno de los actores empresariales, aquí se evidencia entonces como las actividades asignadas a cada organización se reflejan dentro de sus organigramas internos. Esto nos permite establecer de forma más orgánica los individuos que participan del proceso y ajustar los datos que son recogidos, como se almacenan y se utilizan.

Se proponen dos esquemas de organización donde se intenta establecer las principales relaciones entre actores y dentro de ellos durante la etapa de construcción del proyecto, durante el primero, se prioriza la organización dentro de una empresa "fabricación, diseño y montaje", que es un esquema de organización empresarial muy común en la elaboración de estos proyectos. Por otra parte se explora también otras de las organizaciones posibles, donde el EPCista subcontrata una empresa encargada del montaje y otras tareas de construcción, pero que en cuanto al diseño, la fabricación y el suministro de las mesas, estas las realizará una empresa dedicada exclusivamente a esto, cuya especialización es el desarrollo y fabricación de estos sistemas estructurales y que por lo tanto solo suministran a la empresa de montaje.

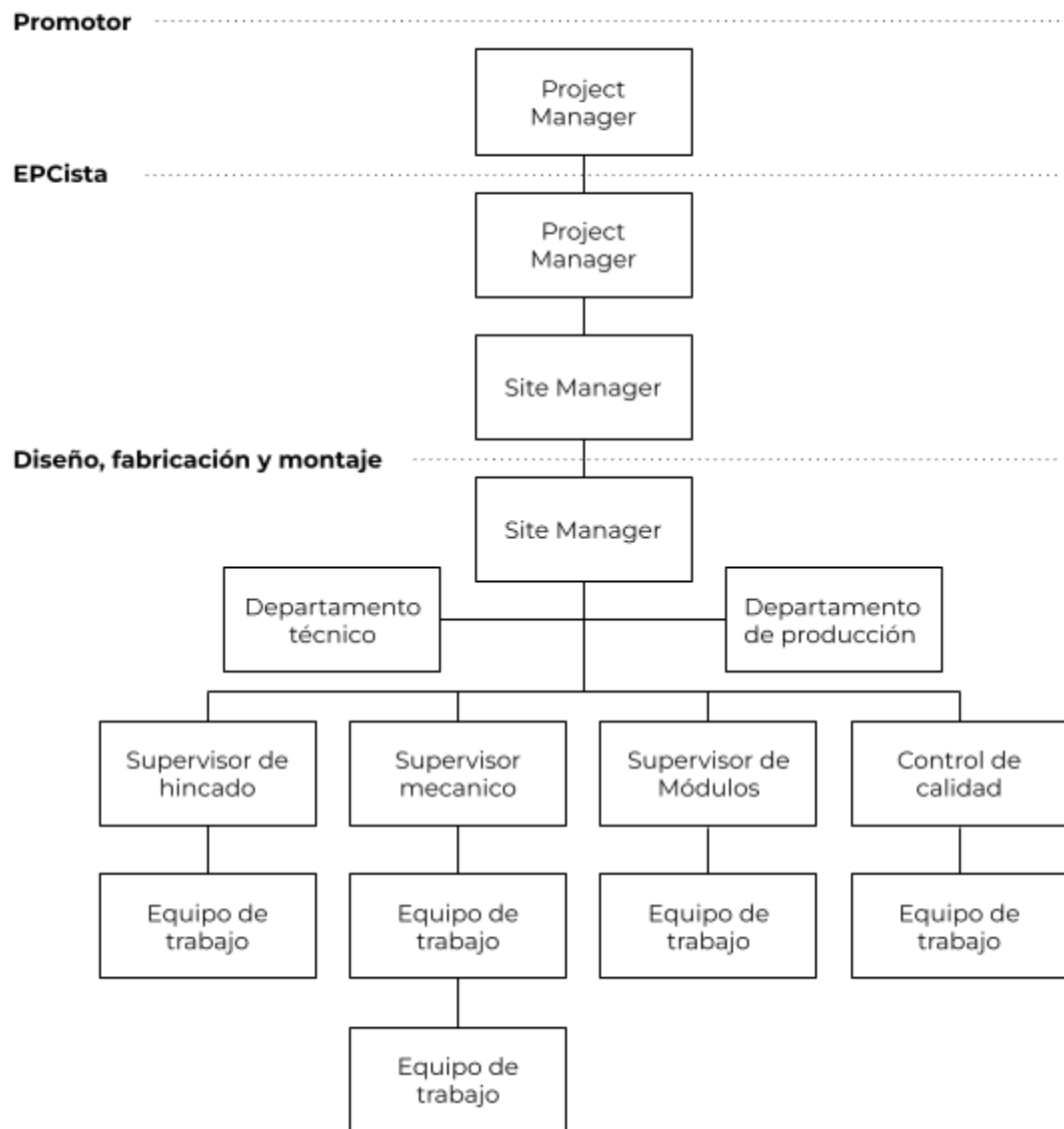


Figura 15. Organigrama con empresas de “Diseño, fabricación y montaje”. Fuente: Elaboración propia

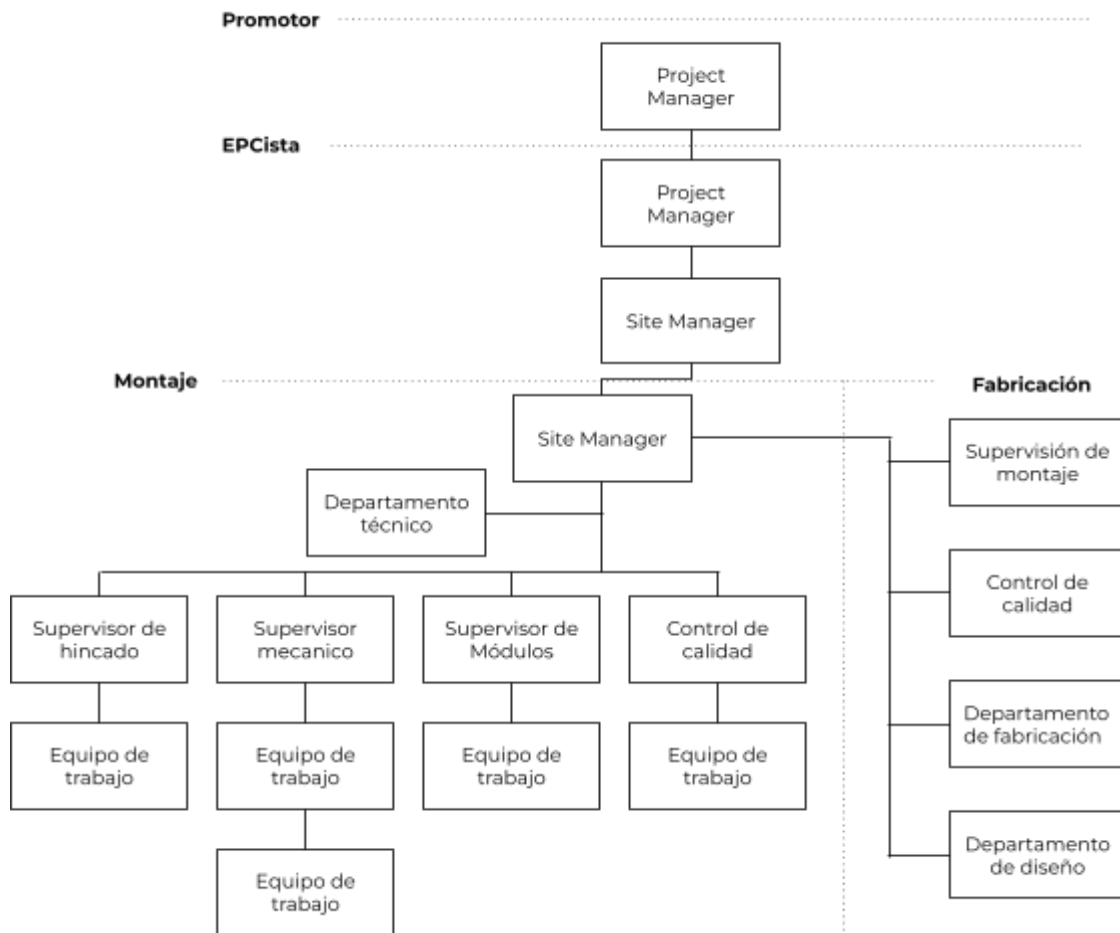


Figura 16. Organigrama con empresas de montaje y fabricación. Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidos los agentes que interactúan en el proceso de gestión, diseño, fabricación y montaje de los huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, a continuación, se describen las herramientas de control utilizadas en la fase de ejecución, cada una con sus respectivas características, con respecto a qué actividades o funciones gestiona y controla, cómo se recogen los datos, cómo se almacenan y cómo se usan en el desarrollo de la obra.

1.6.3 Herramientas de control en fase de ejecución

Para la realización de la gestión y control de obra de huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, a continuación, se expone brevemente cómo se configura la mesa, su nomenclatura y cuáles son sus etapas de construcción, esto con el fin de comprender cómo se registra, almacena y usa la información en las herramientas de gestión y control. Posteriormente, se han identificado las actividades de gestión y control de los proyectos fotovoltaicos en fase de ejecución. Una vez identificadas las actividades, se describen las herramientas de control principales utilizadas para almacenar y gestionar la información más relevante de la obra. Por último, se encuentran las herramientas secundarias, como apoyo de información en algunos aspectos de la ejecución de obra.

1.6.3.1 Actividades de gestión y control de huertos fotovoltaicos

Para realizar la gestión correspondiente de cada una de las etapas de construcción, se debe tener en cuenta las diferentes tareas y maneras de recoger la información sobre la ejecución de la obra. Esto se realiza por medio de la gestión del personal que vigila y controla la obra, conformado por profesionales, técnicos u operarios de base, que de acuerdo con su jerarquía, se asignan las respectivas tareas de control y gestión a desarrollar, dichas tareas son:

- Informes de obra: Por medio de este informe, se tiene en claro el estado general del proyecto, con el fin de observar cuales son las actividades que se están ejecutando, cuales están finalizadas y cuales se encuentran pendientes o próximas a realizar. En él participan los encargados de cada dependencia, con el fin de reportar los avances de cada uno.
- Control de actividades: Permite definir las actividades acorde al proceso de la obra, las cuales nos ayudan a controlar y garantizar su ejecución en el tiempo correspondiente.
- Recepción y control de materiales: En este formato se registra la información sobre el ingreso de materiales dentro de la obra, así como su control y manejo de los recursos según el desarrollo y ejecución de construcción y montaje de los huertos fotovoltaicos. Esto permite tener ordenado el flujo de entrega de materiales a los puntos de trabajo acorde a la cantidad requerida, con el fin de evitar la acumulación y desperdicio de materiales en la obra.
- Cantidades de obra: Se enfoca en tener un control detallado de cada actividad ejecutada, donde se tiene claro cuales son las tareas a desarrollar, junto con el cálculo de cantidades de obra de cada actividad. Esto permite llevar un orden más detallado y controlado del proceso y desarrollo de cada una de las tareas.
- Control de maquinaria y herramientas: En este formato se recolecta información sobre fechas de uso, estado de equipos y personal autorizado para operar la maquinaria, así como la recepción y retiro de herramientas menores, con el fin de tener un buen control de todo lo utilizado dentro de la obra durante su ejecución.
- Manejo de grupos de trabajo: Permite tener un control de todos los grupos de trabajo, de todas las jerarquías de funciones, mediante un encargado y su respectivo grupo de trabajo, asignando sus respectivas tareas en la ejecución de la obra.
- Control diario de obra: En este formato se registra la información en relación con las actividades realizadas durante el día, en el que se registran todos los componentes anteriores, como usos de materiales, maquinaria y herramientas, grupos de trabajo y las actividades realizadas por día.
- Actas de control de planos: Realizado por un profesional con conocimiento sobre el tema, el cual se encarga de verificar y aprobar los planos topográficos, estructurales, eléctricos, entre otros, de tal manera que cumpla con la normativa vigente y con los parámetros establecidos del proyecto.
- Control de calidad de obra: Una vez realizadas las actividades de cada etapa de construcción y montaje de las mesas, explicadas previamente, se realiza un control de calidad de cada uno de los procesos, para identificar si la mesa fue correctamente instalada. De igual manera, si se presenta algún error, este formato permite registrar la información acorde a la actividad y etapa en la que se encuentra la construcción de la mesa.

Una vez establecidas las etapas de construcción de las mesas y las actividades de control y gestión que permite recoger datos referentes a la ejecución de la obra de paneles fotovoltaicos a escala de servicio público, a continuación, para el almacenamiento y uso posterior de los datos recogidos, existen diferentes métodos para registrar la información, estos se dividen de acuerdo a la relevancia que tienen como herramientas de gestión dentro de la obra, en donde se encuentran unas principales, que abarcan las etapas de construcción, manejo general de la obra y control de diseño, y otras secundarias, que sirven como apoyo e información adicional a las herramientas principales.

1.6.3.2 Herramientas principales de gestión y control de huertos fotovoltaicos

Los proyectos de construcción pueden ser difíciles de manejar, en especial cuando se habla a una escala de servicio público, donde se involucran diferentes variables como las personas, los materiales y el tiempo de ejecución. Es por esto que, el mantener organizado todos estos componentes durante el proceso es esencial para el éxito del proyecto, de esta manera, y gracias a los avances tecnológicos, contamos con diferentes programas que permiten almacenar y gestionar la información del proyecto.

Existe una gran variedad de herramientas ofimáticas que permiten generar formatos de control de proyectos para el manejo de personal o grupos de trabajo, recepción y manejo de materiales, recepción y control de estado de maquinaria y herramientas, así como control de avances de la obra. Entre los programas más comunes utilizados para generar estas tablas o formatos de control, se encuentran las hojas de cálculo, que permiten crear plantillas para cada actividad o ítem de la obra, y ajustarlas de acuerdo con las necesidades de cada proyecto. De esta manera, este programa permite manejar dos actividades importantes de gestión y control de los huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, los controles de por etapas de construcción de las mesas (implantación, hincado, estructura, paneles y control de calidad) y el informe de obra, como modelo de gestión del personal y de las diferentes actividades de la obra. Por otro lado, tanto en las hojas de cálculo como en otros programas, como los de creación de documentos de texto, se suelen usar como herramientas para generar los informes de control de errores de obra.

- Hojas de cálculo como formato de control de etapas:

Los hojas de cálculo como herramienta dentro de la gestión y control de obras de proyectos fotovoltaicos, sirve como base del flujo de información entre las empresas, así como del flujo entre los procesos de construcción y montaje del proyecto. De acuerdo con lo anterior, los formatos que se manejan para la gestión y control de cada etapa de construcción son las siguientes:

- Formato de gestión y control de implantación: Como se explicó anteriormente en las etapas de construcción de los proyectos fotovoltaicos, la primera etapa de implantación,

consiste en el replanteo de cada una de las hincas de la mesa. De acuerdo con esto, para su gestión y control por medio del formato, se desarrolla de la siguiente manera: cada casilla del formato se traduce en una mesa, aquí la información se registra de dos maneras, la primera (A), que indica la totalidad de puntos de referencia donde se ubican las hincas, la X cantidad se indica en cada mesa, por otro lado, como en el caso (B), en caso de, ya sea, que aún no se haya ejecutado la tarea en esas mesas, o, por problemas con lo topografía, entre otros, no se logra realizar el proceso de implantación de los puntos de referencia, se indica en cero. Por último, como control de avances generales del proyecto, puesto que el proyecto es a escala de servicio público, se maneja mediante zonas, dichas zonas se organizan en una tabla, con el fin de resumir las mesas y los puntos de referencia ejecutados, para obtener un porcentaje de avance, tanto por zona, como por la totalidad del proyecto (C).

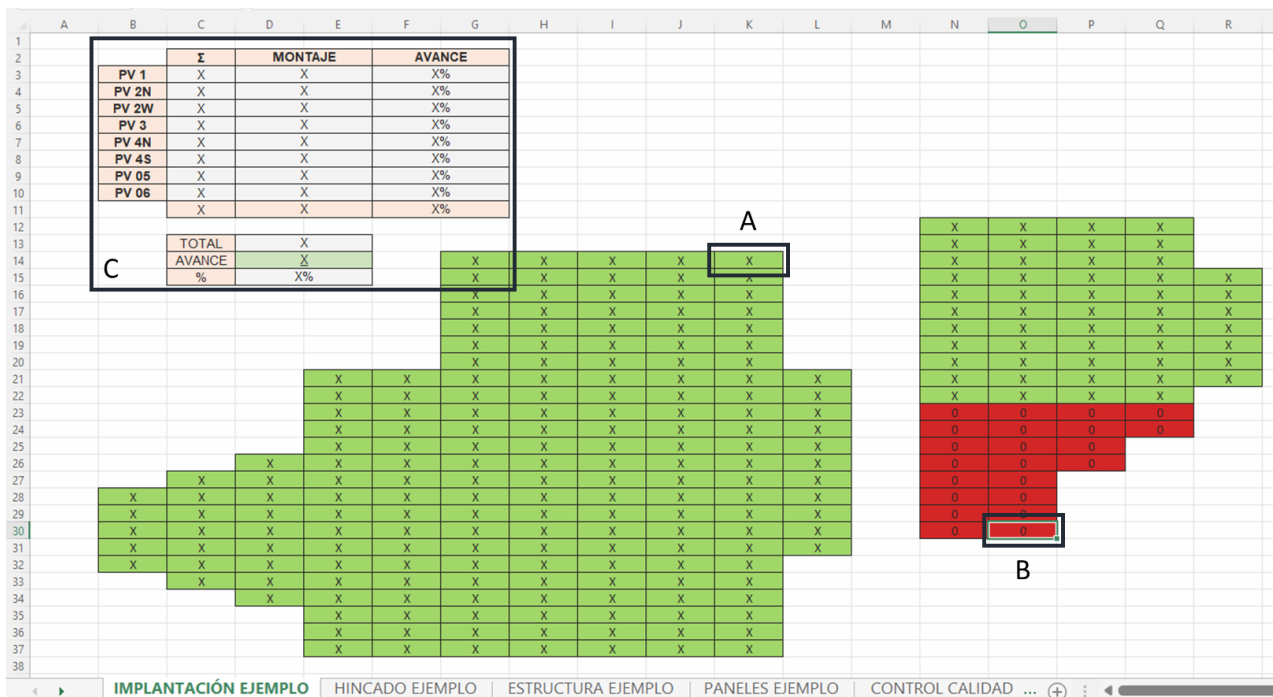


Figura 17. Ejemplo de formato de gestión y control de implantación en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia

- Formato de gestión y control de hincado: Para el caso del proceso de hincado, su control se realiza, nuevamente, sobre cada mesa, en donde se registra el número de hincas instaladas, en el cual, se pueden presentar los siguientes casos: en primer lugar (A), la instalación correcta de todas las hincas de la mesa, esto se expresa con el número total de ellas en la mesa, indicado en color verde según el formato; en el segundo caso (B), cuando se presenta complicaciones para instalar todas las hincas correspondientes de la mesa, se indica el número de hincas instaladas, junto con un color naranja según el formato, con el fin de registrar el estado de avance de la mesa, por último (C), cuando aún no se ha ejecutado o por problemas de terreno, entre otros, no se inserta las hincas de las mesas, esto se ve reflejado en cero y en color rojo,

según formato. De esta manera, se mantiene un control del proceso de hincado de cada mesa, de acuerdo con las situaciones descritas. Por último (D), como control general de avances, tanto por zonas, como totales de la obra, se tiene un cuadro donde se indican según los datos de las mesas, dichos porcentajes de avances.

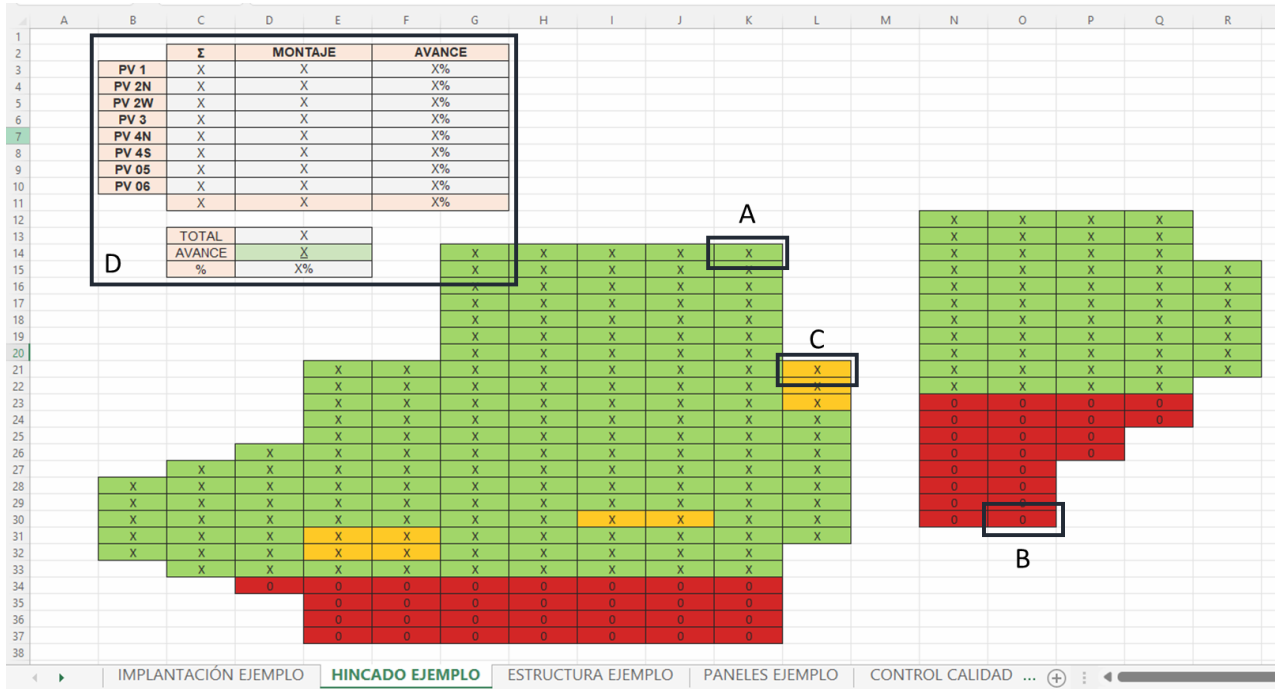


Figura 18. Ejemplo de formato de gestión y control de hincado en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia

- Formato de gestión y control de estructura: En el proceso de instalación y montaje de la estructura, su control se realiza por medio de unidad terminada, es decir, se cuenta la totalidad de la estructura de la mesa ya instalada. Por lo tanto, la información se organiza de la siguiente manera: una vez completada la estructura de la mesa, se indica con uno y en color verde en el formato (A), por otro lado, si la estructura aún no ha iniciado su proceso o se encuentra aún incompleta, su reporte se mantiene en cero con color rojo (B), como se indica en el formato. Por último y al igual que en los anteriores formatos, se tiene una tabla de control de avances general y por zonas de la obra, a partir de los datos recogidos por cada mesa (C).

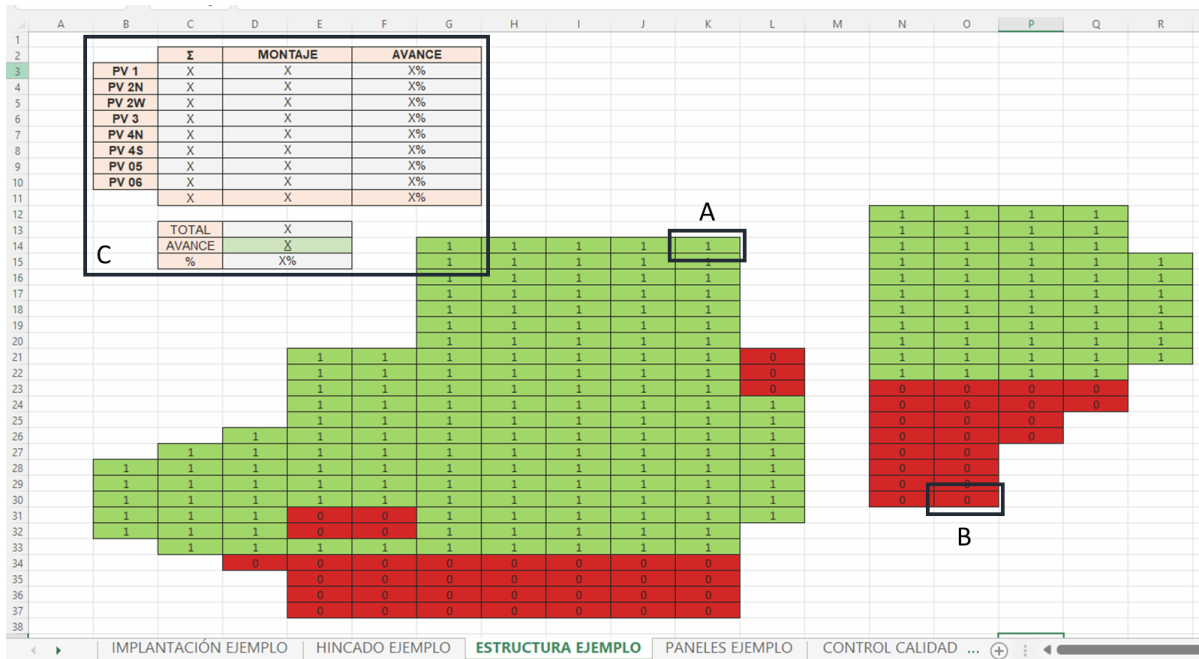


Figura 19. Ejemplo de formato de gestión y control de estructura en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia

- Formato de gestión y control de paneles: Por último, la instalación de los paneles, para su gestión y control se tiene en cuenta el número total de paneles por mesa, según el diseño del proyecto, por lo tanto, la información se maneja de la siguiente manera, de acuerdo con el avance en el proceso de instalación de los paneles: en primer lugar (A), cuando la totalidad de los paneles de la mesa son instalados, se registra el número correspondiente en la mesa, marcado con color verde, según el formato. En el segundo caso (B), cuando aún no se termina de instalar todos los paneles, ya sea por que se encuentra aún en ejecución, o por problemas durante el proceso, se coloca el número de paneles instalados en el momento de registrar la información, marcado con un color naranja, según el formato. Por último (C), cuando las mesas aún no se encuentran en esta etapa, o, por otras condiciones no se logra instalar ninguno de los paneles de la mesa, se indica en cero sobre la mesa con color rojo, según el formato. Adicionalmente, al igual que en los anteriores formatos, se tiene el respectivo cuadro de control de avance (D), según las zonas en las que se divide el proyecto así como la totalidad de esta.

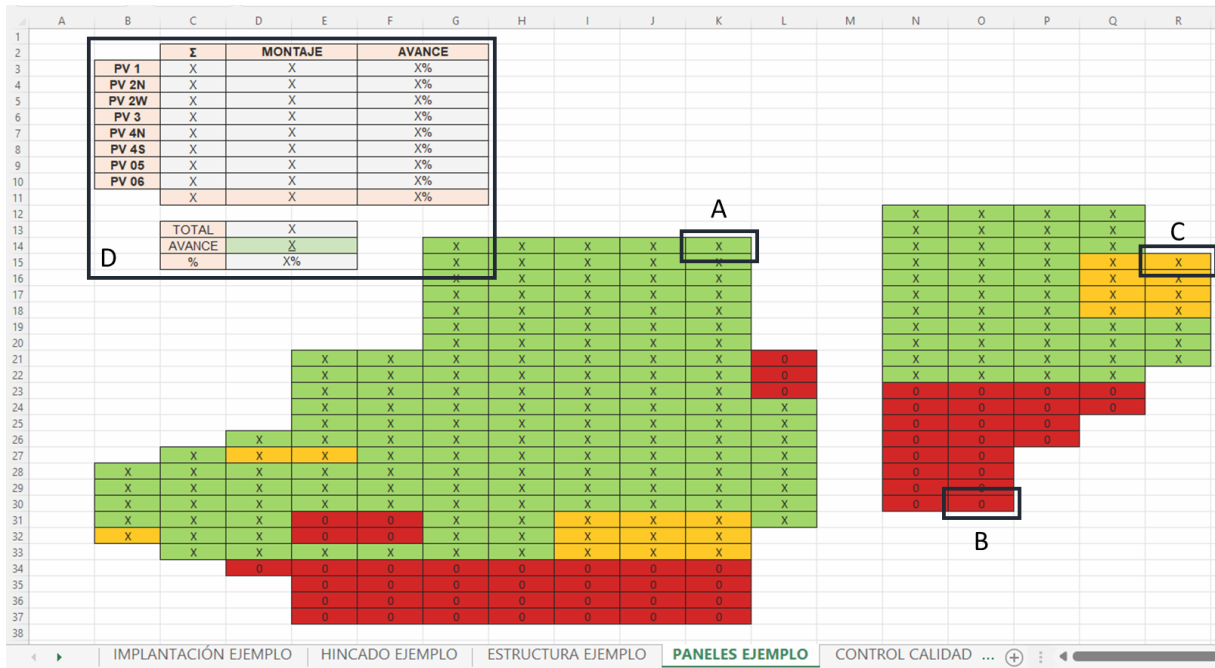


Figura 20. Ejemplo de formato de gestión y control de paneles en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia

- Formato de gestión y control de calidad: Por último, una vez terminada la instalación de las mesas fotovoltaicas, se realiza un control de calidad de cada una de ellas, por lo tanto, los datos recogidos a partir de dicho control se ingresan al formato en relación de, si cumple o no, con los estándares requeridos de la mesa. De esta manera, si cumple con estos requisitos se indica la mesa con uno y color verde, según el formato (A), por otro lado, si aún no se encuentra terminada la mesa o presenta algún inconveniente, se registra con cero y sin color, según formato (B). Por último, el respectivo cuadro de control de avances en este proceso de control de calidad de las mesas (C).

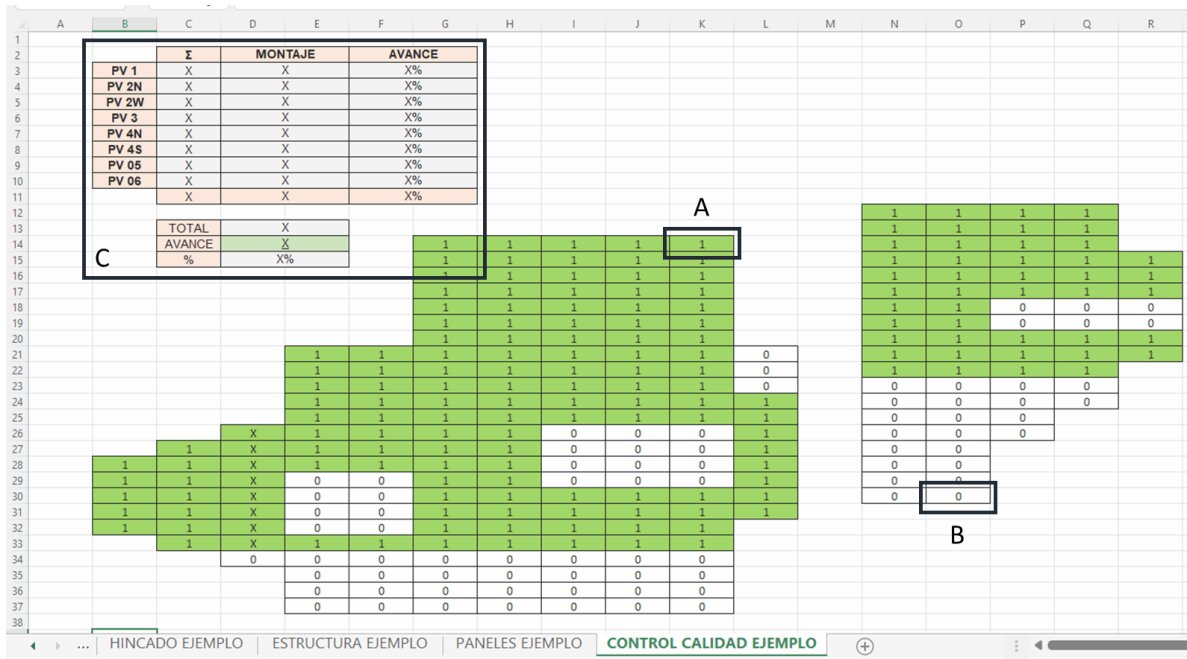


Figura 21. Ejemplo de formato de gestión y control de calidad en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia

- Hojas de cálculo como formato de Informes de obra:

Otro de los usos de esta herramienta en función con otra de las actividades más relevantes dentro de la gestión y control de huertos fotovoltaicos, es en el registro de información para generar informes de obra, ya sean semanales o mensuales. Estos informes contiene información de distintas actividades de control, como se explican a continuación:

En primer lugar, se registran los datos generales del proyecto, así como la fecha en la que se realiza el informe. A continuación, se realiza un listado de los participantes de la reunión, en dónde se describe la función de cada uno de ellos dentro de la obra, que empresas se encargan de ejecutar dichas funciones y su respectivo representante.

De acuerdo con lo anterior, los participantes pueden ser los siguientes: según el organigrama de funciones expuesto en el anterior apartado, se encuentran primero el promotor del proyecto del huerto fotovoltaico, seguido del EPCista, como se muestra en la Figura 22. También entre los actores que participan en los informes de obra, se encuentran las oficinas de control, que consisten en el control de estructuras y de inspección eléctrica, y la oficina de estudios que se encargan de los estudios adicionales como el de diseño medioambiental o el de geotecnia. Por último, se encuentran los grupos que trabajan de manera directa en la obra, como el grupo de movimiento de tierras, el grupo de estructuras o módulos, el grupo de instalación eléctrica, el grupo encargado del cerramiento y el grupo de seguridad del sitio.

Informe de obra						
Proyecto:	XXXXXXX			Dirección:	XXXXXXXXXXXX	
Fecha:	XX/XX/XXXX			Reunión n°:	X	
Participantes						
FUNCIONES	NOMBRE ENTIDAD	DATOS DE CONTACTO	REPRESENTANTE	Asistió	Convocado para la próxima reunión	Ausente
Promotor	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	X		
EPC	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	X		
EPC	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX		X	
Propietario	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	X		
NOTA: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX						

Informe de obra						
Participantes						
Oficinas de control						
FUNCIONES	NOMBRE ENTIDAD	DATOS DE CONTACTO	REPRESENTANTE	Asistió	Convocado para la próxima reunión	Ausente
Oficina de control de estructuras	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Oficina de inspección eléctrica	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Oficinas de estudios						
Oficina de diseño medioambiental	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Oficina de ingeniería geotécnica	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
NOTA: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX						

Informe de obra						
Participantes						
Grupos de trabajo						
FUNCIONES	NOMBRE ENTIDAD	DATOS DE CONTACTO	REPRESENTANTE	Asistió	Convocado para la próxima reunión	Ausente
Grupo de movimiento de tierras	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Grupo de estructura/módulos	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Grupo de instalación eléctrica	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Grupo de cerramiento	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
Seguridad	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX			
NOTA: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX						

Figura 22. Ejemplo de formato de informe de obra sección de participantes. Fuente: Elaboración propia

Una vez indicado los asistentes de la reunión, a continuación, se registran las observaciones, según el avance en el que se encuentra la obra, estas observaciones pueden ser generales de ejecución del proyecto, o según los actores que se involucran en la actividad o en las funciones anteriormente descritas, por ejemplo, observaciones sobre seguridad, las oficinas de control o de estudios, etc. En este formato se registran las solicitudes u observaciones más relevantes y se definen dentro de la reunión unos parámetros de solicitud para su ejecución, así como notificar las que ya se han completado, indicando la empresa encargada que realizó dicha tarea.

Informe de obra				
Observaciones generales				
Asunto	Descripción	Solicitud	En ejecución	Completado
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX	XX/XX/XXXX		
XXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
XXXXXX XXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
Oficina de control				
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
Seguridad				
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX		(empresa encargada)	
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
Medidas medioambientales / Limpieza				
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			
Trabajos preparatorios / Instalaciones				
XXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX			

Figura 23. Ejemplo de formato de informe de obra sección de observaciones. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, en el siguiente formato, se registra la información del manejo del personal total que se encuentra ejecutando la obra, a partir de la empresa a la que pertenece, el número de efectivos y la descripción del personal de cada uno de ellos. Adicionalmente, se encuentra un apartado, en donde se registran las observaciones sobre los efectivos, ya sea para solicitar más personal para determinadas áreas de la obra, o redirigir las actividades de los grupos de trabajo, tal y como se muestra en el siguiente ejemplo:

Informe de obra		
Efectivos presentes en el sitio		
Empresa	Número de personas/ número de máquinas	Observaciones
XXXXXX	3	1 jefe de proyecto + 1 jefe de obra + 1 ayudante de jefe de proyecto (ejemplo)
XXXXXX	X	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXX	XX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXX	X	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXX	XX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
NOTA: Hace falta personal en las actividades de estructura (ejemplo)		

Figura 24. Ejemplo de formato de informe de obra sección de personal en el sitio. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizan en el informe de obra las observaciones en referencia a las etapas de la obra en ejecución, por ejemplo, en la cimentación o en el montaje de las estructuras o módulos, como se muestran en las siguientes figuras. En estos formatos se diligencia la información correspondiente a las observaciones administrativas, observaciones de la obra, observaciones de la entrega de cada etapa y notas finales sobre los avances. Es en esta sección del informe, en donde se realizan observaciones en relación a la gestión de cantidad de materiales, herramientas y equipos, que son utilizados en cada una de las etapas, así como los protocolos para el manejo, transporte y descarga de ellos, con el fin de evitar contratiempos o problemas de organización en las áreas de trabajo. Cada una de las observaciones realizadas se debe registrar la fecha ya sea de su solicitud, si se encuentra en ejecución o si ya fue completada al momento de realizar el informe.

Como ejemplos de observaciones de la cimentación, se encuentra las referentes al proceso del hincado que no pueden ser descritas en las hojas de cálculo, como las anotaciones dadas por la empresa durante el proceso de inserción de las hincas, indicando los rechazos en el hincado, ya sea por las malas condiciones del terreno por presencia de grandes sedimentos, zonas mal compactadas, o si el hincado se encuentra torcido. Otras observaciones son para dar a conocer si hay ajustes de profundidad, debido a modificaciones del diseño. Adicionalmente, las observaciones se pueden dar en relación con el movimiento de tierras, indicando que zonas se encuentran terminadas para iniciar con el proceso de implantación e hincado. Por último, otros aspectos a tener en cuenta para esta sección del informe, son las indicaciones sobre la recepción, almacenamiento y transporte de las hincas y demás materiales al lugar de ejecución.

Informe de obra			
OBRA - CIMENTACIÓN			
Observaciones administrativas	Fechas		
	Solicitud	En ejecución	Completado
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX	Día-Mes		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX		Día-Mes	
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX			
Observaciones de la obra	Solicitud	En ejecución	Completado
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX	Día-Mes		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX			
Observaciones sobre las entregas	Pendiente	Parcial	Total
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX	Día-Mes		
Notas de progreso	Fechas		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXX			

Figura 25. Ejemplo de formato de informe de obra sección de etapa de cimentación. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las funciones de estructura/módulos, ejemplos de observaciones se encuentran las indicaciones sobre el control de calidad antes, durante y después del proceso de montaje de la estructura y la mesa en general, ya sea en el proceso de atornillado o controlar la calidad del hincado para el montaje de la estructura, o, en otra situación, se pueden dar observaciones solicitando más personal en control de calidad, en caso de

que se presente problemas realizando dichos controles. Otras observaciones que se suelen registrar, son las indicaciones sobre el despacho y transporte de la estructura, paneles y demás elementos de las mesas, que son necesarios para evitar bloqueos, tanto en las áreas de trabajo como en las de transporte y almacenamiento, por ejemplo, en el caso de almacenamiento de los paneles, estos son agrupados en palets de treinta o cuarenta módulos aproximadamente, recubiertas en cajas de cartón, por lo tanto, para conservar de la mejor manera los materiales, se deben realizar las respectivas observaciones, y avisos, para cubrir aquellos que se encuentran a la intemperie y puedan ser afectados por las malas condiciones climáticas. Por último, en relación con la escala del proyecto de servicio público, debido a la magnitud del proyecto, se realizan observaciones sobre las zonas que se encuentran terminadas para su entrega, con el fin de enfocar el trabajo en otras zonas, o en caso que alguna zona se encuentre cerca de fecha de entrega y su porcentaje de avances sea bajo, solicitar grupos de trabajos de otras zonas, con el fin de finalizar las que se encuentran próximas a entregar. Estas son algunas de las observaciones que se pueden presentar en esta sección del informe, sin embargo, se pueden dar más situaciones en relación con el montaje de la estructura.

Informe de obra			
OBRA - ESTRUCTURA/MÓDULOS			
Observaciones administrativas	Fechas		
	Solicitud	En ejecución	Completado
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXX	Día-Mes		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXX		Día-Mes	
Observaciones de la obra	Solicitud	En ejecución	Completado
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXX	Día-Mes		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXX			
Observaciones sobre las entregas	Pendiente	Parcial	Total
	Día-Mes		
Notas de progreso	Fechas		
XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXX			

Figura 26. Ejemplo de formato de informe de obra sección de etapa de estructura/módulos. Fuente: Elaboración propia

Como recopilación de los avances en todos los procesos de ejecución de obra del huerto fotovoltaico, evidenciados anteriormente en las hojas de cálculo, para el informe de obra el EPCista hace la recopilación de los avances de cada etapa de las diferentes funciones que conforman la obra, por ejemplo, la empresa encargada de la estructura, debe notificar los avances de cada una vez las etapas de instalación (implantación, hincado, estructura y paneles), otra empresa, la encargada de electricidad, de igual manera debe entregar sus respectivas tablas de avances de sus actividades. Es así, como en un primer momento, se tiene de manera independiente una serie de informes de avances de las diferentes actividades de la obra, según la empresa encargada de ejecutarla, que son entregados al EPCista. Posteriormente, como segundo informe de avances, el EPCista crea un nuevo informe de avance general de la obra, que recopila y condensa la información anterior de todas las empresas y actividades, con el fin de mostrar los avances a los promotores del proyecto.

Informe de obra													
OBRA - Progreso estructural													
	Zonas	1		2N		2W		3		4N		TOTAL	
	No. De mesas	XXX		XXX		XXX		XXX		XXX		XXXXX	
Estructura de la instalación	Hincas	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	0	0%	XXX	X%
	Estructura	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	0	0%	XXX	X%
	Módulo de mesa	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	XXX	X%	0	0%	XXX	X%
Conexión eléctrica	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Total de avance: XX%

Figura 27. Ejemplo de formato de informe de obra sección de avances. Fuente: Elaboración propia

Por último, como control de interrupciones en obra debido a problemas climáticos o de terreno debido al mal clima, se realiza un formato en donde se registra la fecha de inicio, los días que duró la interrupción, las funciones afectadas y las observaciones exponiendo las razones por las que se presentó la interrupción.

Informe de obra			
OBRA - Intemperie			
Fecha	N° días de baja	Funciones afectadas	Observaciones
XX/XX/XXXX	X	Movimiento de tierras, hincado	Lluvia, terreno inestable
XX/XX/XXXX	X	Montaje de mesas	Tormenta

Figura 28. Ejemplo de formato de informe de obra sección de intemperie. Fuente: Elaboración propia

De esta manera se conforma el informe de obra, como herramienta de gestión y control, en donde se registran los diferentes elementos que constituyen las actividades de control, explicadas anteriormente, como el manejo de grupos de trabajo, los avances de cada etapa de la obra, entre otros. Adicionalmente, se puede anexar al informe el control de otras actividades como el control de materiales, herramientas y equipos, y demás actividades de gestión. A continuación se muestran los formatos de control de incidencias de la obra, estos formatos se pueden elaborar ya sea en hojas de cálculos o programas de redacción de documentos.

- Hojas de cálculo o programas de tratamiento de texto como formato de control de incidencias de la obra:

Para llevar un control adecuado por parte de los promotores del proyecto de huertos fotovoltaicos de manera externa a los controles internos que se realizan en la obra, se contrata una empresa aparte que funge como interventor de la obra. De esta manera, este actor evalúa los avances del proyecto conforme a lo estipulado en los documentos técnicos y de diseño del proyecto, con el fin de identificar e informar a los promotores de las inconformidades y errores durante el desarrollo de la obra. Es así como, para registrar la información referente

a las inconformidades y observaciones de la interventoría, se realiza un informe de control de incidencias de la obra, que se desarrolla de la siguiente manera: en primer lugar, los datos correspondientes tanto de la empresa interventora, como la promotora y el nombre del proyecto, posteriormente se indica todos los documentos correspondientes al proyecto, para examinarlos de acuerdo con la etapa en la que se encuentra la ejecución de la obra y la fecha en la cual se recibió.

FORMATO DE CONTROL DE ERRORES	
Hoja N.º X	
Interventor	Destinatario
Nombre	Nombre
Datos de contacto	Datos de contacto
NOMBRE DEL PROYECTO	
Designación - Identificación de los documentos examinados	Fecha recibido
Calculo Zapata-hinca.pdf	Día/mes/año
Cálculo de las tolerancias de los arriostramientos.pdf	Día/mes/año
Correas de montaje y repostaje.pdf	Día/mes/año
Cálculo de las tolerancias de verticalidad de los pilotes.pdf	Día/mes/año

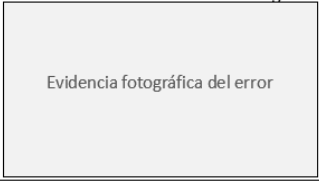
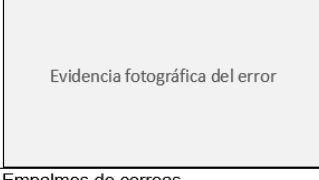
Figura 29. Ejemplo de formato de informe de errores sección de documentación. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen cada una de las observaciones o inconformidades por parte de la interventoría, la primera columna del formato se describe las características de los elementos analizados, por ejemplo, pilotes, cimentación o la estructura como tal, y se añaden otros datos como la zona en la que se identificó el error y el documento técnico o de diseño que soporta la inconformidad. Posteriormente, en la siguiente columna, se califica la situación conforme a la gravedad del error o si ya está resuelto, y luego, se añaden en otra columna, las observaciones y comentarios describiendo la inconformidad e incongruencias de la ejecución en relación con los estipulado en los documentos técnicos o de diseño, también, se agrega para futuros informes, nuevas observaciones sobre la manera en que se resuelve el error. Por último, se añade una columna con el número de la inconformidad que se encuentra aún en observación.

Entre las inconformidades que se pueden registrar en este tipo de informe se encuentran, por ejemplo, la unión de los arriostramientos con la hinca en dos puntos diferentes, lo que puede afectar seriamente la integridad de la hinca, por lo tanto, se solicita a oficina técnica calcular el margen máximo que pueda justificar esta distancia entre las uniones, de lo contrario, se deben tomar otro tipo de acciones para corregir el error, en un principio calculando el número de mesas con este error y medir el margen entre las uniones de cada una de ellas, para cuantificar las que se encuentran favorablemente en el margen o las que sobrepasan el límite, sin embargo, estos datos son registrados en otro documento. Otro ejemplo de inconformidad, se puede dar en relación con la instalación de las correas en la estructura de la mesa, en donde el perfil de la correa, en relación con la hinca, puede llegar a sobresalir significativamente, generando un gran voladizo, lo que puede generar un

riesgo de que, al instalar los paneles, la correa se deforme y se comprometa la estructura. Por lo tanto, se solicita con oficina técnica información aclarando el máximo de voladizo permitido, con el fin de evaluar los que se encuentran dentro del rango permitido y cuantificar los que se encuentran fuera del rango, con el fin de tomar las acciones pertinentes para solucionar el problema, como la adición de otros elementos para agregar soporte a la correa, el desmontaje de la estructura para ajustar el voladizo de la correa, entre otros. De esta manera, es como se implementa este formato, para mantener una gestión y control de los errores identificados dentro de la ejecución de la obra.

Para las tareas encomendadas formulamos, tras el examen de los documentos enumerados anteriormente, los siguientes dictámenes:

Elementos examinados	Opinión	Observaciones y comentarios	N°
Estructura Zona X - Columna - conexión diagonal 	F	*Observaciones iniciales: Algunas diagonales están unidas a la columna en 2 puntos diferentes, lo que crea un momento en la columna la columna: ser ocupada o justificada por una nota de diseño. Justificarse mediante una nota de cálculo. *Nueva opinión: desplazamiento de 20 cm como máximo justificado.	
Pilotes Referencia: Documento XXXXXXXXXXXX 	D	Hasta la fecha, seguimos sin poder emitir un dictamen favorable sobre los pilotes hechos. Las pruebas aún no están validadas (valores de fuerza).	XX
Empalmes de correas Referencia: Montaje refuerzo correas.PDF	S	El ajuste de los pernos debe especificarse en el plano. No se entiende porque en el plano el voladizo es siempre de 95 cm.	XX

* F: Favorable, S: Suspendido, D: Desfavorable

Comentarios finales

Figura 30. Ejemplo de formato de informe de errores sección de observaciones. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en cuanto la gestión y control de la obra por medio de los planos del proyecto, se encuentran los programas de modelado tanto en 2D como 3D, es decir, los programas CAD o BIM. Mediante el control de planos, se evalúa desde el diseño, los avances de cada una de las mesas, y determinar qué zonas se encuentran en cada una de las etapas de ejecución explicadas anteriormente, de esta manera, se establece un porcentaje general de ejecución del proyecto.

- Programas CAD o BIM como control de planos:

En contraste con los formatos mostrados anteriormente en las hojas de cálculo de las etapas de construcción, los planos de programas de CAD o BIM comúnmente no se almacena la información numérica de los avances de cada mesa en cada una de las etapas, sin embargo, al ser una herramientas principalmente de diseño, se pueden realizar controles correspondiente con la topografía, así como para verificar que el diseño sea el acorde al planteado en el proyecto. Como se indica en la siguiente imagen, el control de planos permite revisar e identificar por zonas, puesto que se trabaja a escala de servicio público, que las mesas se encuentren ubicadas

correctamente, teniendo en cuenta los elementos topográficos indicados en el plano, así como remarcar las mesas terminadas por etapas y por zonas.

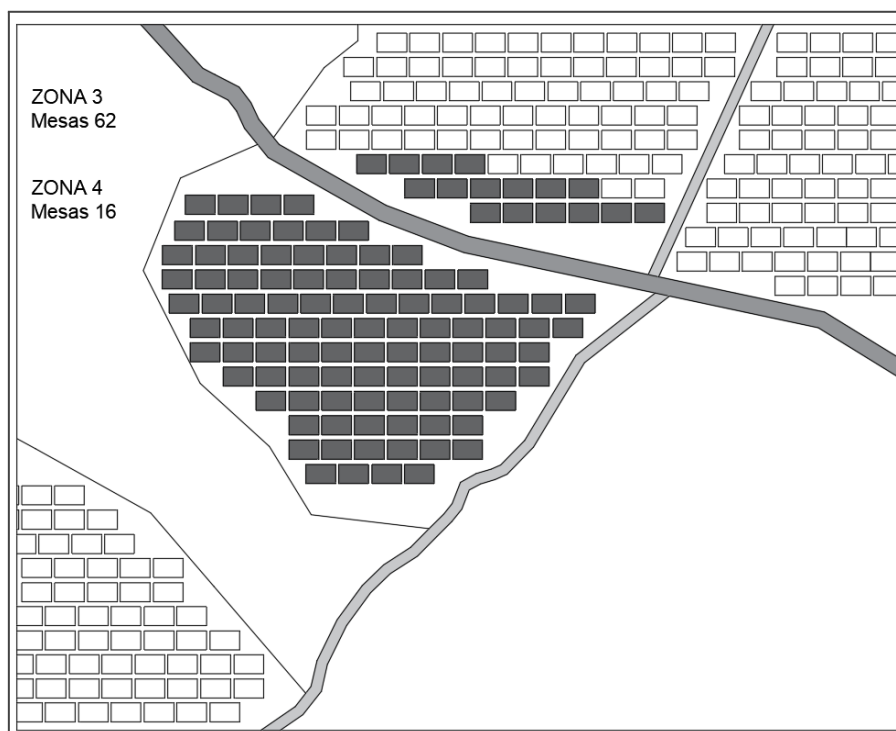


Figura 31. Ejemplo de plano de huerto fotovoltaico en CAD. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, aunque las herramientas CAD y BIM son útiles para tener cierto control sobre la ejecución del proyecto, en su mayoría están destinadas como herramientas dentro de la etapa previa de diseño del huerto fotovoltaico, en el que se pueden observar complementos (*plugins*) para estos programas exclusivamente para el diseño, por ejemplo, complementos que evalúan automáticamente la disposición de las mesas en relación con la radiación solar, con el fin de determinar la mejor distribución de los paneles fotovoltaicos y obtener mayor ganancia energética. Por lo tanto, desde la gestión y control de obra, existen grandes limitaciones que permiten tener un mejor manejo de la información de la ejecución de la obra en torno a estos programas.

1.6.3.3 Herramientas secundarias de gestión y control de huertos fotovoltaicos

Una vez expuesto las herramientas principales usadas en el control y gestión de obra de huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, a continuación, se presentan las diferentes herramientas que complementan la información almacenada de los anteriores, en cuanto a avances de obra, control de errores y manejo de tiempos y actividades. De esta manera, se presenta a continuación cada una de ellas:

- Registro fotográfico: Es una herramienta de documentación y gestión comúnmente usada durante la ejecución de la obra. Al tener un registro y seguimiento de manera periódica de la obra, permite a los equipos de trabajo encargados del proyecto, analizar y monitorear el avance de la obra y el estado de

cada mesa, con el fin de controlar que la obra se está llevando a cabo conforme a la planeación, así como de reconocer y registrar situaciones inesperadas durante la ejecución, con el fin de analizar y encontrar soluciones para posibles problemas.

- Programas de administración de proyectos: Existen otra clase de programas que permiten tener una mejor gestión y organización de los avances de obra en relación con el tiempo y los recursos utilizados, mediante la realización de diagramas de Gantt. De igual manera, permite controlar la asignación de tareas y recursos de cada grupo, evitando de esta manera, la sobreasignación de tareas y tener una óptima gestión de los recursos.
- Drones: El uso de esta herramienta dentro de la construcción se ha dado de manera reciente, ya sea para recopilar información del terreno, previo al diseño de las instalaciones, como para su posterior control y mantenimiento de los huertos fotovoltaicos. Sin embargo, en algunos casos, se utiliza como apoyo en replanteos y seguimiento de grandes obras de plantas fotovoltaicas en todas sus fases, con el fin de mantener un control de los avances, es decir, mediante fotogramas identificar las áreas que inician el proceso de instalación, las áreas terminadas y las áreas faltantes, además de verificar que las condiciones de instalación de las mesas sean pertinentes. Los datos recolectados se transfieren a un programa de BIM o CAD para su análisis y revisión.

1.6.4 Dificultades en la gestión y control de proyectos fotovoltaicos de gran escala

De acuerdo con los diferentes métodos de control y gestión tanto los principales como los secundarios, explicados en los anteriores apartados, aunque cada uno de ellos presenta unas características propias que permiten tener un orden y buen manejo de la información sobre la ejecución de la obra, existen ciertas dificultades para obtener una gestión y control integral de todos los recursos, actividades y situaciones que se pueden presentar dentro de la obra, cuya causa más relevante es la escala en la que se trabaja, es decir, huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, por lo tanto, la cantidad de información que se maneja dentro de la obra, requiere de un mayor control, precisión y facilidad de acceso a cada una de las actividades y etapas de su construcción. Por otro lado, las dificultades también se pueden presentar desde los actores encargados de la ejecución, control y gestión de la obra, de igual manera, esto puede generar errores significativos en el manejo de obra e impide una correcta ejecución de cada una de las etapas de construcción de los huertos fotovoltaicos. Dichas dificultades se exponen a continuación desde dos puntos de vista: por actores y por herramientas.

Dificultades en la gestión y control por actores:

Como se indicó en el anterior apartado sobre los actores que conforman la obra de huertos fotovoltaicos, cada uno de ellos de acuerdo con sus funciones, deben estar atentos en la ejecución de sus respectivas áreas de trabajo, así mismo, deben informar los avances correspondientes o los errores que puedan presentarse. En el caso de los avances, para transferir y continuar la ejecución al grupo de trabajo que le corresponden las siguientes actividades. Por otro lado, en cuanto al EPCsista, que se encarga del manejo general de obra, también debe identificar y solicitar en caso de errores en la obra, los procedimientos correspondientes con la empresa encargada de la actividad, y además, reportar los avances a los promotores del proyecto. Por lo tanto, debido tanto a la magnitud del proyecto, como la gran cantidad de actores que influyen tanto en la ejecución del trabajo, como los encargados de gestionar y controlar la obra, se pueden llegar a presentar dificultades en

la comunicación entre ellos, ocasionando posteriores problemas que afectan el desarrollo correcto de la obra. Algunos de estos problemas que se pueden dar entre actores pueden ser:

- No se informan los problemas de ejecución, por ejemplo, el incorrecto montaje de la estructura, afectando la integridad de las mesas, por lo tanto, al continuar con el trabajo y percatarse del error, se deben realizar acciones para cuantificar el error en el proyecto, e invertir recursos en soluciones a dicho problema.
- El encargado no informa de manera pertinente o no administra adecuadamente la distribución de los materiales en la obra, lo que ocasiona demoras del personal mientras realiza el transporte, carga o descarga de materiales, así como la pérdida de materiales.
- La falta de comunicación entre empresas o grupos de trabajo (en caso que varias empresas se ocupen de una misma función en la obra) haciendo que se crucen las tareas en una misma área de trabajo (por ejemplo, estructura y paneles al mismo tiempo).
- No se informa qué áreas se encuentran casi terminadas y por lo tanto, se pueden acumular materiales y personal de forma innecesaria.
- Él EPCista o encargado no informa correctamente los avances, por lo tanto, las certificaciones, el manejo del material (suministro y reparto) y de personal de las empresas contratadas, entre otros aspectos de la obra, se pueden ver afectados para realizar las siguientes actividades.
- La realización de reuniones informales, donde se comenta los avances de obra por parte de los actores presentes, sin embargo, por su carácter informal, se puede dar el caso en el que no todos los actores concernientes a la actividad ejecutada se encuentre presentes, lo que genera desinformación y puede llegar a generar conflictos posteriores en la ejecución.

Estas son algunas de las dificultades que se pueden presentar en la gestión y control de obra de proyectos fotovoltaicos a escala de servicio público, por parte de los actores, sin embargo, se pueden presentar gran variedad de situaciones que puedan afectar el desarrollo de la obra. A continuación se encuentran las dificultades dadas por las herramientas de gestión y control.

Dificultades en la gestión y control por herramientas:

En las herramientas principales se puede observar una serie de inconvenientes en el manejo de la información. Por un lado, en las hojas de cálculo, a pesar que se puede ingresar gran cantidad de información y calcular porcentajes de avances, estos datos no se encuentran ligados al diseño del huerto fotovoltaico, debido a esto, cuando se presentan ajustes de diseño, se puede generar contratiempos o errores de control de la nueva información que se ingresa de acuerdo con las modificaciones del diseño, por otro lado, puede faltar información necesaria sobre el manejo de los grupos y las empresas encargadas de cada etapa de construcción, con el fin de identificar y notificar más rápido los errores o cambios.

En lo que se refiere al informe de obra, se puede registrar información muy específica sobre avances, errores y demás comentarios de la ejecución, en relación a los grupos de trabajo, que empresas se encuentran involucradas en el proyectos y las funciones que cada una cumple, sin embargo, se requiere de otras herramientas para relacionar las observaciones y demás información registrada, para indicar de mejor manera donde se localizan o que zonas son las que afecta cada observación. En cuanto a los programas de CAD o

BIM, debido a que actualmente su principal uso se da en la etapa de diseño, mediante complementos que ayudan a establecer la mejor disposición de los paneles fotovoltaicos, sin embargo, para el registro y control de las etapas de construcción, su uso se limita al control del diseño, indicaciones en plano las mesas y zonas terminadas, y manejo de topografía. Por lo tanto, el ingreso de otro tipo de información en estos programas no es recurrente, lo que impide la facilidad de acceso a observaciones, errores, avances, entre otros datos sobre la ejecución de la obra, en torno al diseño del huerto fotovoltaico. En cuanto a las herramientas secundarias, como se mencionó anteriormente, sirven principalmente de apoyo a las anteriores, por lo tanto, eso significa que dichas herramientas, se limitan a almacenar cierta información de la obra, lo cual es necesario contar con muchas herramientas de gestión y control para obtener un adecuado manejo de ejecución de la obra. Por último, desde el manejo de los materiales de la obra, ninguna de las herramientas descritas anteriormente permiten tener un registro y control cuantificado del material utilizado, principalmente del acero para montar la estructura de la mesa, por lo tanto, debido a que no se tiene en cuenta las cantidad compradas en relación con las utilizadas durante la obra, se pueden llegar a presentar pérdidas de material o desperdicios, generando gastos extras para la empresa encargada de la estructura de la mesa fotovoltaica.

A continuación, se describen algunos casos en donde se pueden llegar a presentar dificultades de gestión y control de obra tanto por parte de los actores, como de las herramientas:

- La actividad de montaje de los paneles sobre la estructura de la mesa, suele ser una tarea de mucho cuidado, puesto que los paneles debido a su forma rectangular requiere que en la estructura, cada uno de las correas se encuentren de manera perpendicular entre ellas, con un grado mínimo de error de grados de inclinación, con el fin de que el rectángulo que conforma la estructura corresponda con el del panel, de esta manera, se realiza el adecuado montaje e instalación. Sin embargo, se puede presentar la situación, en el que las correas no se encuentran perfectamente perpendiculares entre sí, por lo tanto, la geometría al no coincidir, el montaje del panel no se puede realizar, este caso se puede dar principalmente cuando se tiene pendientes pronunciadas. Por lo tanto, aquí se puede presentar un primer error por parte de los actores, en este caso, del equipo de trabajo encargado de la actividad, adicionalmente, se puede dar el caso, en el que durante el control de calidad de esa etapa de ejecución no se percatan del error, aprobando las mesas para continuar con el montaje de los paneles, por consiguiente, los actores encargados del control de calidad también pueden presentar estas dificultades. Es aquí donde el equipo de montaje, al intentar realizar la instalación, observa que los paneles no concuerdan con algunos de los elementos de la estructura para el anclaje, y ahí es donde se notifica el error. A continuación, se deben definir las acciones que permitan subsanar el error de ejecución, en primer lugar, el EPCista como encargado general de la obra del proyecto fotovoltaico, debe solicitar a la empresa encargada de realizar el montaje de estructura y la que realizó la mala ejecución, debido a que se desconoce realmente la magnitud del error, es decir, que tantas mesas fueron instaladas incorrectamente, una cuantificación del error, con el fin de saber los costos para corregir el problema. De esta manera, se realiza un conteo de las mesas afectadas de todo el proyecto, lo cual, afecta a la obra tanto en el tiempo invertido en la tarea, como en la disposición del personal para realizarla, en lugar de completar otras actividades, posteriormente, se registra el número total de ellas en alguna de las herramientas de control y gestión, por ejemplo, en un plano o una hoja de cálculo indicando positivamente o negativamente en binario. Sin embargo, se informa desde la oficina

técnica, que existe un margen holguras de seguridad, es decir, un margen de error aceptable en la estructura, que permite mediante los elementos de fijación (grapas) anclar el panel, por consiguiente, no solo se requiere ahora conocer la cantidad de mesas descuadradas, si no, también el margen de error de cada una de ellas, de esta manera, al no tener una clara comunicación con todos los actores de la obra interesados de la situación, se debe realizar un nuevo conteo y registrar en otra herramienta o en las hojas de cálculo, las mesas descuadradas y adicionar cual es el margen de error de cada de una ellas, con el fin de filtrar las que se encuentra dentro del margen aceptable. Es aquí donde observamos un contraste y la dificultad de las herramientas para almacenar adecuadamente toda la información necesaria para gestionar y controlar esta situación, ya que como se observó anteriormente en los formatos de hojas de cálculo, para el de control de calidad se registra únicamente con uno o cero, si la mesa está correctamente ejecutada y no se tiene en cuenta como en estos casos, los espacios requeridos para agregar otros datos importantes. De esta manera, se puede ver falencias tanto de los actores, como de las herramientas de control dentro de una situación de montaje de estructura.

- Para el montaje e instalación de las mesa de los huertos fotovoltaicos, debido a la magnitud del proyecto al ser de escala de servicio público, se puede dar el caso en el que el EPCista contrate dos empresas para dividir las actividades que conlleva la instalación de la mesa, o en otro caso, la empresa encargada de la instalación, subcontrata a otra como apoyo a alguna de las actividades, por ejemplo, una empresa que se encargue únicamente de la instalación de los paneles. Se puede dar la situación en el que por cuestiones de organización las dos empresas trabajen en una misma zona del proyecto, ya sea de manera simultánea o consecutiva. Para mantener un orden de la ejecución del montaje de los paneles, cada empresa encargada de sus actividades en el área correspondiente al momento de la ejecución, reportan en los planos de CAD cuales filas de mesas en las que trabajaron en el día. Sin embargo, debido a la herramienta, se puede dar el caso, que la empresa que recibe la información para continuar con la actividad, al ir a la zona las mesas no estén completamente terminadas, es decir, no todos los paneles de las mesas fueron instalados, por lo tanto, la otra empresa debe terminar el montaje de los paneles de las mesas trabajadas. Es aquí donde se puede llegar a presentar problemas tanto de las herramientas de control como de los actores, debido a que, desde las herramientas, no se tiene como registrar la información correspondiente a que actividades o cual es el porcentaje de avances de determinada actividad ejecutó cada una de las empresas responsables del montaje de las mesas. Esto puede llegar a generar conflictos posteriores entre los actores, ya que cuando se lleguen a presentar errores, realizar las certificaciones a las empresas de acuerdo con el trabajo ejecutado, o realizar solicitudes de parte de otro grupo de trabajo o del EPCista, si no se pueden identificar correctamente cuál empresa es la responsable. Es debido a esto que se hace necesario desarrollar herramientas que puedan facilitar el manejo y almacenamiento de toda clase de información, con el fin de gestionar adecuadamente la comunicación entre actores y las actividades que realizan, ya que en las hojas de cálculo o en los programas de CAD no se pueden asignar de manera eficaz los trabajos realizados por un actor u otro, lo que puede generar dificultades entre los actores.
- En algunos proyectos de huertos fotovoltaicos, se tiene una organización de las actividades estrictamente horizontal, es decir, no se solapan las actividades de montaje de las mesas, lo que permite una transición del personal, herramientas y materiales, si no que, hasta que es terminada determinada actividad, no se realiza la gestión correspondiente para empezar la siguiente, lo que

puede generar cambios abruptos en el desarrollo de la obra y la comunicación entre los actores. Por lo tanto, al realizarse cambios tan repentinos de actividades, esto también afecta la manera en que se organizan los grupos de trabajo según la actividad que se está ejecutando en el momento, lo que puede llegar a generar órdenes cruzadas por la falta de una línea de mando clara, es decir, al no tener claro y organizado previamente las actividades, se puede dar el caso que algunos grupos de trabajo se encuentren ejecutando determinada actividad bajo la orden de un actor, sin embargo, otro actor, puede llegar a solicitar el grupo de trabajo para ejecutar otra zona, dejando zonas paralizadas y sin terminar. Por lo tanto, al no tener claro la línea de mando como una clara organización de las actividades y disposición de grupos, puede llegar a generar un conflicto entre actores, así como retrasar el avance de la obra. Para esto se hace necesario además de una correcta organización por parte de los actores, las herramientas necesarias que puedan prever este tipo de situación y gestionen de manera adecuada la coordinación entre las actividades de la obra.

- En cuanto al manejo del material dentro de la obra, principalmente en el caso del acero, para el montaje de la estructura de la mesa, se pueden llegar a presentar situaciones en las que hay discrepancias entre los informes sobre el material utilizado en la obra, con el material enviado de la fábrica, en donde se identifica material perdido o faltante y se desconoce la causa o el momento en el que ocurrió. Debido a la ausencia de una herramienta que permita a los actores registrar los avances y el uso del material en la obra, se debe realizar un conteo en la obra del acero utilizado, lo que es tiempo y personal perdido para ejecutar la obra, y, posteriormente comparar los datos con la cantidad despachada en la fábrica para identificar dónde se encuentra el error en la cantidad del material.
- En cuanto a las reuniones informales entre los actores, como las reuniones diarias a pie, se puede dar el caso en el que, por ejemplo, se encuentra el director de obra con el director de proyecto, donde realizan una corta charla sobre los avances de la obra, y posteriormente, se acercan otros actores para informarse sobre la reunión en cuanto a lo que se ha avanzado y los pasos a seguir. Sin embargo, los demás actores que debían enterarse de la información y no se encontraban presentes en esa reunión, deben esperar a que posteriormente, les sea informado por parte del director de obra o el superior en la cadena de mando. De acuerdo con lo anterior, al ser una reunión informal, la falta de rigurosidad para transmitir la información y al no tener en cuenta en el momento las herramientas de control, para informar lo tratado durante la reunión, puede generar pérdida de información y, por lo tanto, se puede dar el caso en el que, no todo lo que se habló durante la reunión, sea correctamente informado a los demás actores de la obra, ocasionando conflicto en la organización y ejecución de algunas tareas.

De acuerdo con lo anterior, y puesto que el presente trabajo se enfoca en proyectos fotovoltaicos a escala de servicio público, estas dificultades traen como consecuencia, la falta de rapidez y versatilidad en el acceso a toda la información, de igual manera, en registrar la información en tiempo real, debido al uso de varias herramientas para almacenar diferentes datos, que son manejados independientemente, entre otros. Estos problemas de las herramientas de gestión y control, pueden afectar la eficiencia y ocasionar contratiempos en la obra, ya sea por el cruce de etapas de construcción, errores de cálculo de materiales para su compra, suministro y reparto, manejo de personal, entre otros.

Parte 2

¿Qué elementos incorporar para mejorar?

La gestión y control es uno de procesos más indispensables en el desarrollo de proyectos, ya que al tener una buena gestión y control sobre la ejecución de obra, aumentará el éxito que tendrá y minimizará significativamente los errores o retrasos de ejecución, certificaciones, contratiempos, desperdicio de los recursos disponibles, entre otros, que puedan llegar a presentarse. Una vez se identificaron los actores, las actividades y herramientas de control de la ejecución de la obra de huertos fotovoltaicos a escala de servicio público, así como las dificultades que éstas pueden llegar a presentar y afectar significativamente el desarrollo de la obra, principalmente por la magnitud de este tipo de proyectos, se logra identificar una necesidad de desarrollar un mejor método de gestión y control, que permita almacenar todo de tipo de información que se requiera para comunicar y asignar adecuadamente las tareas a los diferentes actores, así como identificar los errores por parte de los actores, con el fin de realizar de manera más efectiva los procesos de ajustes de la obra. De esta manera, es como en este apartado se describen los elementos a tener en cuenta para establecer un sistema bajo la metodología BIM, que pueda almacenar y cuantificar variedad de datos, tanto los que se mencionaron en el anterior capítulo, como otros elementos que son necesarios incorporar para mejorar la gestión y control de las obras fotovoltaicas. A continuación, se describen las determinantes a tener en cuenta para el desarrollo del sistema, tanto generales como específicos en la ejecución del proyecto. A partir de estos elementos, se delimita el alcance del sistema para recolectar y manejar la información, y los resultados que se esperan obtener.

2.1 Factores determinantes generales en la gestión de obras fotovoltaicas

Para llevar a cabo un proyecto cuyo objetivo bien definido es, en este caso, huertos fotovoltaicos, se debe tener en cuenta para su gestión una serie de factores generales que se encuentran presentes en toda ejecución de obra, para ello, en un principio se debe tener claro el alcance, las actividades y el costo para realizar el proyecto, y así mismo, para realizar una adecuada gestión y control. De esta manera, los diferentes factores determinantes generales para la gestión de obras fotovoltaicas se encuentran los siguientes:

- Alcance del proyecto: Aquí es donde se delimita todo el trabajo a realizar según lo solicitado por el cliente, cumpliendo con unos requisitos y criterios técnicos y de diseño dados durante la fase de diseño del proyecto.
- Cliente: Se debe tener en cuenta que para la gestión y control, es necesario mantener comunicación y proporcionar la información que necesita el cliente, para conocer los avances y se puedan realizar las certificaciones a las empresas subcontratadas, realizar observaciones e inconformidades por parte del cliente sobre la ejecución de la obra.
- Costo: En relación con el anterior, se debe tener en claro el costo total de la obra, en donde se toma en cuenta los gastos por subcontratación de las empresas, materiales, gastos administrativos, supervisión. Además, para una mejor gestión es necesario conocer cada etapa de la obra de un proyecto fotovoltaico, con el fin de manejar los costos por ejecutar cada una de ellas.
- Manejo de recursos: de manera general se refiere al manejo de personal, empresas, equipos y herramientas, materiales e instalaciones.
- Tiempo/cronograma: Para la gestión de la obra es indispensable tener en claro el inicio y la fecha de entrega del proyecto. Para llevar a cabo esto, se requiere del manejo de tiempos entre cada una de las actividades de la obra.
- Planes de mitigación: desde un principio se debe tener en claro que la ejecución de una obra siempre suele tener algunos contratiempos, por lo tanto, es necesario preparar de antemano los procesos a seguir en caso de que se presente, con el fin de minimizar lo mejor posibles atrasos o gastos extras para corregir el error.

De acuerdo con los factores generales descritos, por medio del sistema planteado bajo la metodología BIM, se espera desarrollar un modelo del proyecto fotovoltaico que pueda recoger y almacenar información para determinar el alcance del proyecto, mediante una representación básica de las mesas fotovoltaicas con los elementos principales que la componen y en las que se desarrolla las diferentes etapas de ejecución descritas anteriormente. De esta manera, se plantea tener un control en tiempo real en el modelo de factores como las necesidades del cliente, es decir, cualquier observación que pueda realizar, poder registrarla. Por otro lado, mantener un control de los diferentes recursos que se necesitan para desarrollar la obra, que puedan identificarse con facilidad dentro del modelo, esto permite tener mayor facilidad para establecer tiempos de trabajo y coordinación de actividades entre los actores. Por último, el poder tener presente los planes de mitigación para registrarlos dentro del modelo al momento de requerir aplicarlos por alguna incidencia, es necesario para conocer en detalle el desarrollo del proyecto. Es así como mediante el sistema planteado busca articular cada uno de las determinantes generales, con el fin de crear un sistema de control y gestión versátil, que pueda atender las diferentes necesidades y situaciones dentro de la ejecución de una obra fotovoltaica a escala de servicio público.

2.2 Factores determinantes específicos en la gestión de obras fotovoltaicas

Además de los anteriores factores generales que determinan la gestión y control de obras fotovoltaicas, para desarrollar el sistema que propone desarrolla este trabajo, se describen a continuación factores específicos, a partir de las dificultades identificadas anteriormente en los actores y herramientas de gestión y control, y de qué manera, mediante el sistema bajo la metodología BIM propuesto, permite mejorar y detallar un poco más el manejo de la información.

Como se pudo observar en las dificultades de los actores y herramientas de control, es indispensable que los actores puedan contar con herramientas adecuadas para registrar todo tipo de información para concretar avances, registrar incidencias, entre otros aspectos para controlar el desarrollo de la obra, sin embargo, como se pudo observar en el anterior apartado, las herramientas no siempre tienen en cuenta todos los datos necesarios para gestionar la obra. Por lo tanto, se plantea dentro del sistema, que consiste en un modelo básico de las mesas del proyecto fotovoltaico, bajo la metodología BIM, adicionar información de cada uno de los elementos que la conforman, como las siguientes:

- Desglose del proyecto por etapas de construcción: Permite identificar y registrar con mayor facilidad los avances de la obra, además por medio del modelo del proyecto fotovoltaico podemos registrar información de cada etapa de la obra, como se observó en los formatos de hojas de cálculo, en relación con el diseño del proyecto, como en el caso del control de planos. Adicionalmente, este sistema plantea adicionar información adicional al de estos formatos, como observaciones adicionales del avance de cada etapa.
- Descripción de la empresa encargada de determinada actividad o etapa de montaje: en relación y para articular otro dato esencial en el control de obra con el anterior punto, en cuanto al manejo del personal, articular los actores con las actividades y avances de obra, agiliza el desarrollo de la obra y la interacción entre el EPCsista, con las diferentes empresas contratadas para cada actividad, por otro lado, por parte de los actores, es indispensable que los actores que ejecutan en la obra se mantengan a lo largo del desarrollo de la obra, para evitar confusiones u otros inconvenientes.
- Desarrollar una organización más dinámica, en contraste con la organización horizontal que pueden ejecutar algunas obras, mediante el modelo del proyecto, se puede establecer un orden claro de actividades según los sectores de la obra y solapar actividades que puedan desarrollarse a la vez, con el fin de aumentar el rendimiento de trabajo en la obra.
- La relación entre las empresas que ejecutan la obra con las empresas fabricantes/proveedoras de los materiales, se debe tener en cuenta la comunicación entre estas, con el fin de conocer el flujo de producción y envío del material al lugar de la obra.

De acuerdo con lo anterior, como planteamiento general para articular los diferentes determinantes específicos de la obra, es integrar todos los aspectos positivos de las anteriores herramientas de gestión y control

identificadas, y mejorar las falencias que cada una tiene, a partir de un sistema integral de un modelo del proyecto, que permite almacenar información sobre, avances de cada etapa de la obra, grupos de trabajo, elementos que componen la mesa fotovoltaica, observaciones o descripción de actividad o incidencia, entre otros, y que todos estos datos puedan ser identificados fácilmente dentro del diseño del huerto fotovoltaico.

A continuación, se describen puntualmente otros elementos determinantes que se deben tener en cuenta dentro de la gestión y control de obra de proyectos fotovoltaicos. Primero se realiza una descripción sobre cómo se manejan actualmente en la gestión y control, cuales son los inconvenientes que se presentan y a partir de eso, describir los aspectos para mejorar de cada determinante y de qué manera se vinculan en el sistema planteado bajo la metodología BIM.

2.2.1 Cuantificación del error

Entre los principales aspectos que se observaron en las dificultades en la gestión y control de obra, cuando se identifican errores durante la ejecución, comúnmente se requiere personal para realizar un conteo en toda la obra registrando los que se encuentran ejecutados correctamente y los que son ejecutados incorrectamente, por lo tanto, la manera en la que se registra la información, usualmente, se registran los errores a partir de uno si o no, o uno y cero, lo que limita el manejo de la información a unos pocos datos, lo que puede ocasionar problemas de control posteriormente, debido a que desde oficina técnica acepte algunos márgenes de error dentro de los elementos ejecutados, por lo tanto, se debe realizar nuevamente un conteo y realizar un nuevo registro de los elementos ejecutados según el margen de seguridad en el que se puede desfazar el elemento, esto trae como consecuencia invertir tiempo y personal adicional para ejecutar estos procesos. De acuerdo con lo anterior, las herramientas de gestión y control fallan al cuantificar el error, es decir, manejar dentro de las herramientas de gestión, articular y registrar desde un principio, información proveniente de la oficina técnica, que pueda establecer rangos que permitan delimitar un margen aceptable de desfase que pueda llegar a presentarse, en la ejecución de los diferentes elementos de la estructura de la mesa, durante el montaje e instalación, sin que afecte la integridad y funcionalidad de la estructura.

Por lo tanto, mediante el sistema planteado bajo la metodología BIM de este trabajo, se plantea una cuantificación del error de algunos elementos de la mesa, cuya ejecución en la obra, se puede dar el caso que algunos de ellos se desfasen por grados o centímetros, en contraste con lo planteado en el diseño, pero que, por estudios de la oficina técnica, se puedan aceptar dentro de un margen de error aceptable que no afecte a la estructura. De esta manera, se puede hacer un respectivo filtro entre los elementos que se encuentran dentro de los parámetros de los que no, y así realizar las tareas correctivas a los elementos que sí se encuentren fuera del rango y puedan afectar la integridad de la estructura. Es así, como al tener claro en un comienzo los rangos de desfase, al momento de realizar los controles se puede ahorrar tiempo y personal al momento de identificar los elementos y realizar los filtros, además de los costos adicionales para corregir cada incidencia. A continuación, se describe algunos de los elementos que requiere de dicha cuantificación y los casos en los que se puede aplicar la cuantificación del error, y de qué manera puede mejorar la organización y gestión de la obra:

- Incidencias de hincado: Durante el proceso de hincado, para que sea ejecutado correctamente debe estar insertado de manera perpendicular (Figura 32, A) y que el elemento se encuentre en perfecto estado despues de instalarlo, sin embargo, se puede dar la situación de que algunas de las hincas pueda presentar algunos errores de ejecución que pueden afectar seriamente la estructura de la mesa. Entre las incidencias se encuentran las siguientes: primero, cuando la hinca resulta revirada con un determinado ángulo de rotación (B), segundo, cuando la hinca finalmente queda con un grado de inclinación, por consiguiente, si el grado de inclinación es superior a lo permitido puede llegar a afectar a toda la estructura, y tercero, cuando la hinca presenta un rechazo y no se puede insertar a la distancia correspondiente en el diseño, se determina la distancia del error.

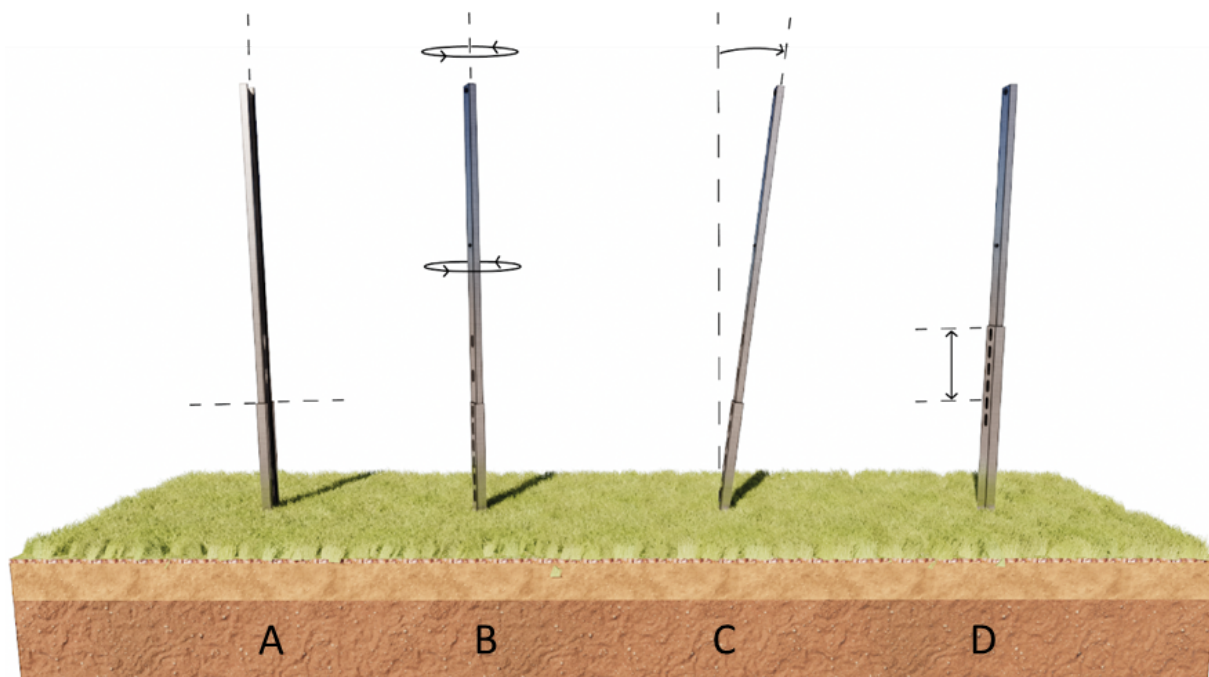


Figura 32. Tipos de incidencias de hinca. Fuente: Elaboración propia.

- Incidencias de estructura: En cuanto a la estructura, las incidencias varían de acuerdo con los elementos que conforman la estructura de la mesa fotovoltaica. En primer lugar, la pata de la estructura puede presentar una incidencia porque durante su ejecución sujetaron los tornillos a una distancia elevada entre ellas, por lo tanto, se requiere cuantificar la longitud del error. Por otro lado, en cuanto a los bastidores y correas (Figura 33), durante su montaje se puede dar el caso de que en el proceso se pueda dañar, por lo tanto, se tiene que determinar en binario la existencia de esa incidencia.

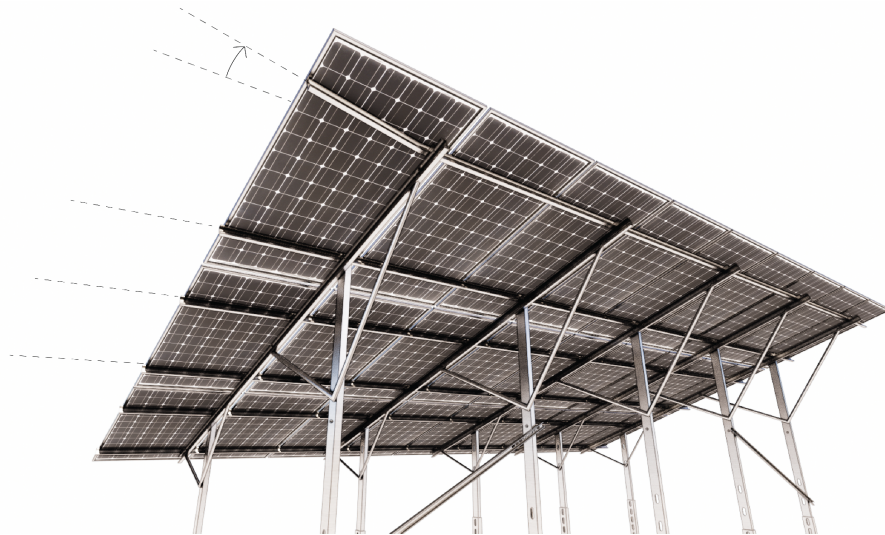


Figura 33. Incidencia de correa dañada. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, al igual que con el hincado, en la ejecución del montaje de las correas y bastidores, también se puede dar el caso que resulten con unos grados en inclinación, que según el margen de error puede llegar a afectar el montaje de los paneles solares. Otro tipo de incidencia es la distancia del voladizo de la correa en relación con el soporte que puede llegar a sobrepasar al establecido (Figura 34), lo que puede llegar a afectar la estructura al momento de instalar los paneles.

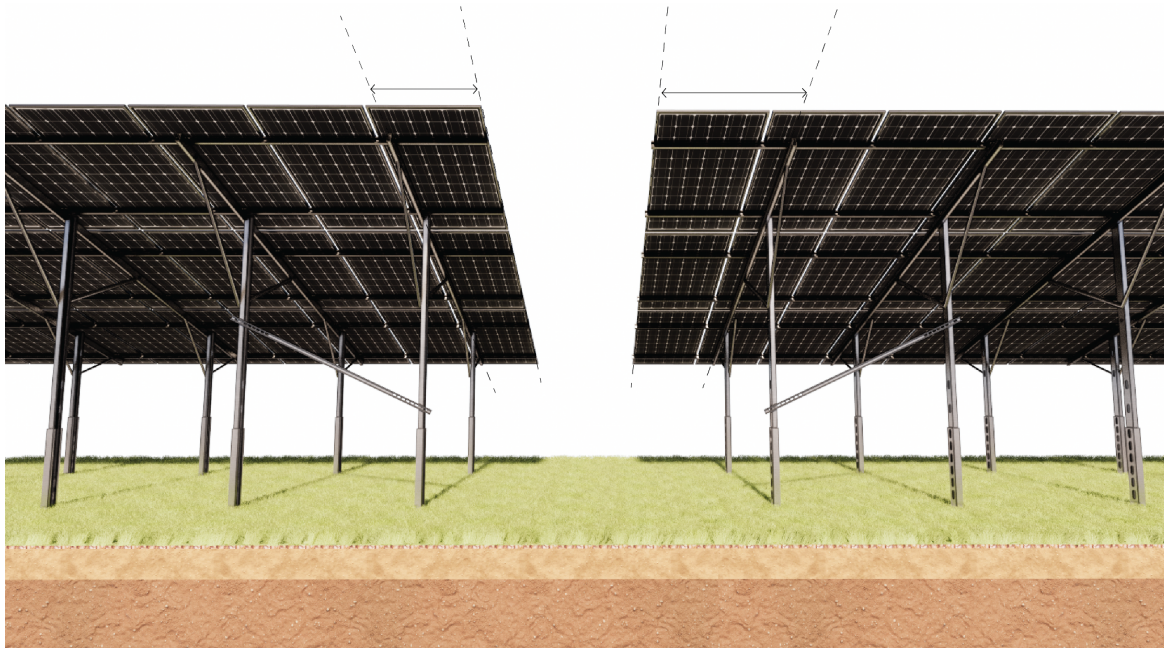


Figura 34. Vuelo de correa (izquierda correcto, derecha incidencia). Fuente: Elaboración propia.

- Incidencias de paneles: Durante la ejecución de la obra, se puede observar que en algunas mesas pueden llegar a faltar algunos paneles, esto se debe a la presencia de incidencias que impidieron

realizar la instalación de estos elementos. Las principales incidencias que se pueden identificar en la ejecución de paneles son: panel roto, panel invertido y potencia incorrecta.

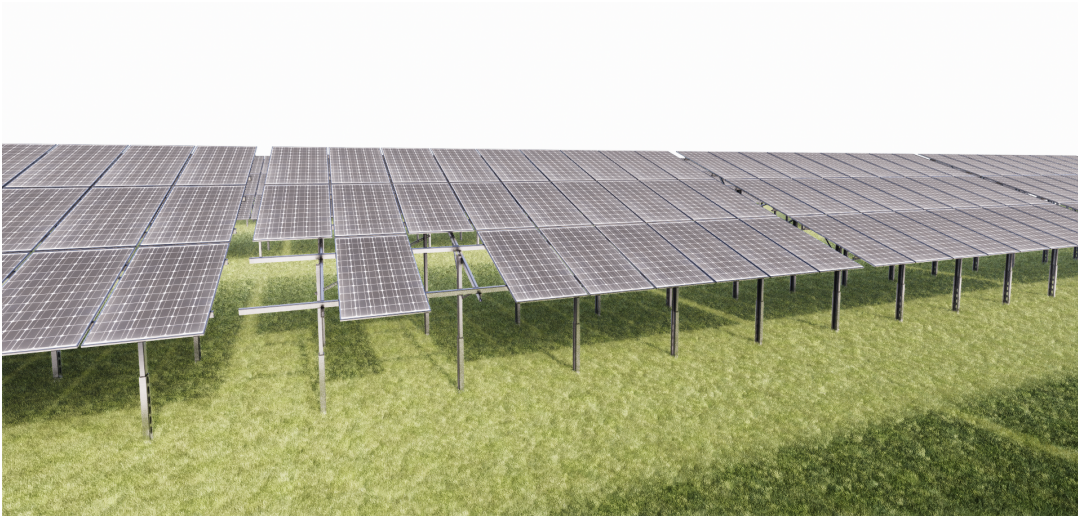


Figura 35. Incidencias de paneles. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, mediante el sistema bajo la metodología BIM, el fin es identificar y registrar la información en el modelo del proyecto, donde cada elemento (hinca, correa, entre otros) cuente con una anotación cuantitativa, en caso de que se presente un error en su ejecución, esto mediante la implementación de parámetros, que permitan, en primer lugar, registrar la existencia de un error en un elemento de la mesa, mediante un check o una respuesta de si/no, en segundo lugar, un parámetro que permita describir el tipo de error, y por último, un parámetro que cuantifica el error por grados, longitud u otra medida cuantitativa que se requiera, de manera que se pueda cuantificar de forma más eficaz los errores de la obra. Con estos parámetros y mediante la implementación de filtros por rangos y colores, identificar los elementos que se encuentren dentro de un rango de error aceptable, de los que no. De acuerdo con lo anterior, la idea de estas mejoras es la de optimizar la información y permitir que se pueda realizar un seguimiento adecuado de las incidencias y los márgenes de error aceptables dentro del proyecto, con el fin de reducir gastos extra, tiempo, personal y materiales.

2.2.2 Incidencias en el control de calidad (*Punch list*)

Dentro de los formatos y herramientas de gestión para control de calidad, existe una específica que permite registrar las últimas tareas o actividades pendientes previas a entregar el proyecto. La *Punch list* es una herramienta de seguimiento que permite enumerar y organizar tareas pequeñas de incidencias que van surgiendo a lo largo de la ejecución de la obra, pero que son de menor gravedad para resolverse inmediatamente, por lo tanto, estos son abordados casi al final de la ejecución, por ejemplo, aquellos elementos no ejecutados según las especificaciones técnicas, como tornillos o grapas faltantes o sueltas, así como elementos que necesiten corrección, por ejemplo, se identifica en una mesa que las instalaciones eléctricas o los inversores fallan debido a algún golpe o una mala conexión, también se puede identificar una falla o partes rotas de un panel, debido a golpes o un desajuste. También se puede encontrar tareas como la recolección de residuos de materiales en las áreas de trabajo.

De esta manera, el EPCista tiene la tarea de vaciar esta *punch list* antes de la visita final de entrega del proyecto, sin embargo, él no es el único responsable de revisar y asegurarse de que todos los ítems de esta lista se hayan ejecutado, debido a que reúne variedad de tareas de todas las funciones de la obra, por lo tanto, es clave que todos los actores participen en el proceso de ejecutar esta lista de pendientes. En un principio el promotor, que es quien requiere que la obra sea entregada en perfectas condiciones, debe estar presente cuando se acerca el final de la ejecución de la obra para inspeccionar el trabajo, desde esta manera, está a tiempo para realizar cualquier observación o petición final, estas observaciones son registradas en esta lista. Como ya se mencionó el EPCista es el encargado principal de la *punch list*, principalmente por ser el enlace entre el promotor, las empresas contratadas y demás actores, por lo tanto, él es quien añade las observaciones del promotor, revisa los pendientes y adiciona tareas que puedan faltar, también, es quien asigna las tareas de la lista a las empresas contratadas y define el plazo en el que se deben completar todos los ítems, con el fin de asegurar que la *punch list* esté finalizada cuando se realice la visita final de la obra. En el caso de las empresas contratadas, ellas reciben el listado de pendientes y deberán ejecutar cada una de ellas en el plazo estipulado por el EPCista, así mismo ellos deben registrar con alguna herramienta la manera en que ejecutaron las tareas, por ejemplo, en caso de reparaciones, el EPCista o promotor pueda conocer cómo se llevó a cabo, o en caso de que no se pueda ejecutar la tarea según lo especificado, exponer las razones por las que se realizaron de otra manera y cómo lo modificó. Por último, la oficina técnica y de diseño deben estar pendientes de que también las tareas de la *punch list* se realizaron según las especificaciones del diseño, y que en caso de modificaciones, estar pendientes para su revisión y aprobación. Una vez finalizadas las tareas de la *punch list* se realiza una última revisión de control de calidad de todo el proyecto, para finalmente realizar la entrega del proyecto.

Las *punch list* son fundamentales para la ejecución de cualquier proyecto fotovoltaico, sin embargo, debido a la magnitud del proyecto, al ser de escala de servicio público, estas tareas pueden llegar a perderse durante el desarrollo del proyecto si no se tiene un registro adecuado. Por lo tanto, para mejorar el registro y control de las *punch list*, mediante el sistema bajo metodología BIM que propone el presente trabajo, se plantea lo siguiente:

- Mantener una trazabilidad en el modelo BIM del proyecto fotovoltaico, de las tareas o incidencias menores que van surgiendo a lo largo del proyecto, indicando en la mesa un parámetro de check, si presenta una incidencia menor, junto con un parámetro que describa el tipo de incidencia, esto con el fin de evitar que las tareas menores se identifiquen hasta el último momento de la ejecución de la obra y previa a la revisión final, y por lo tanto, se pierda tiempo y personal en realizar controles de último momento. De esta manera, al tener en desarrollo la *punch list* desde el inicio de la obra, permite organizar con anterioridad a la entrega de la obra, una adecuada repartición de las tareas e información de los plazos para ejecutar las actividades con mayor anterioridad, evitando de esta manera, desconocimiento por parte de los actores, las actividades pendientes que tienen para entregar su parte correspondiente de la obra.

Con estos puntos, se espera que el desarrollo y ejecución de la *punch list* sea más eficaz y ahorre tiempo y recursos, así como un manejo más claro de la información y de lo que se requiere para ejecutar las tareas, ya que al ser un proyecto fotovoltaico a escala de servicio público, es indispensable tener una herramienta que

pueda ayudar a controlar y registrar todas las tareas, e identificarlas con mayor facilidad cuando se vaya a ejecutar lista, sin que se llegue a perder la información por la magnitud del proyecto.

2.2.3 Incidencias de obra civil

Previo al proceso de montaje e instalación de las mesas de los huertos fotovoltaicos, se realizan los trabajos de obra civil, en donde se realizan tareas de movimiento de tierras, creación de vías de acceso para todo el proyecto, entre otros. Estos trabajos son indispensables para que se pueda desarrollar el resto de la obra, por ejemplo, la conformación de una vía de acceso dentro del proyecto que conecte con la vía principal de la zona para poder ingresar el material y el personal a la obra, así como la creación de vías secundarias dentro de la obra, para el transporte del lugar de acopio principal a los sectores que se encuentran ejecutando una actividad, como puede ser el transporte de paneles para su montaje en determinado sector. De esta manera, la importancia de una buena ejecución de la obra civil en los proyectos fotovoltaicos es de gran importancia para realizar una buena ejecución en el montaje e instalación de los huertos fotovoltaicos. Sin embargo, se pueden llegar a presentar incidencias dentro de la obra civil, que puedan llegar a afectar la ejecución del montaje e instalación de las mesas, como las siguientes:

- La creación de una vía a determinado sector dentro del proyecto que tiene un radio de giro muy cerrado, por lo tanto, los vehículos de gran tamaño como los de transporte de materiales pesados (perfiles, paneles, entre otros) no pueden acceder a dicho sector, esto ocasiona un gran retraso en el avance del montaje de la estructura de las mesas.
- Se puede dar el caso de que, como muchas de las vías creadas durante la obra son provisionales durante la ejecución, algunas de ellas las realizan únicamente con grava, con el fin de ahorrar costos de la capa asfáltica. Sin embargo, debido a malas condiciones climáticas la vía con grava se ve afectada su estabilidad, y, por lo tanto, los camiones que pasan por ellas se hunden y no pueden continuar con el trayecto. Por consiguiente, se debe solicitar ante obra civil asfaltar la vía para poder transportarse sin problema, lo que deviene en tiempo y recursos perdidos.
- La obra civil también se encarga de alistar el terreno donde se ubicarán las mesas fotovoltaicas, por lo tanto, el trabajo de movimiento de tierras es indispensable para evitar retrasos en el montaje de las mesas. En algún momento de la obra, se puede presentar una incidencia sobre el terreno donde van ubicadas las mesas, por ejemplo, que el terreno se encuentre muy empinado y, por lo tanto, las máquinas de hincado no pueden acceder y realizar el trabajo. Es así como, se debe solicitar a obra civil la razón por la que dejaron un terreno de mesas fotovoltaicas con una pendiente fuera de lo permitido para la instalación de la estructura, y de esta manera, el actor debe responder y realizar las actividades necesarias para corregir la incidencia, para continuar con el trabajo de montaje.
- Dentro de los sectores que van ubicadas las mesas, se puede llegar a encontrar material rocoso de gran tamaño residual de la nivelación del terreno, y al momento de realizar el hincado, este material resulta ser un impedimento para ejecutar la tarea. Por lo tanto, se debe solicitar a obra civil llevar el equipo y herramienta necesario para evacuar el material rocoso y proporcionar un terreno adecuado para iniciar el proceso de hincado en el sector.
- En las áreas de las mesas fotovoltaicas, para evitar el desbordamiento de agua cuando se presenta mal clima, para evacuar el agua del sector se realizan zanjas de rodean las mesas, sin embargo, cuando

estas rodean completamente el sector, hay un impedimento de acceder al sector con vehículos pequeños, por lo tanto, se debe solicitar a obra civil, mediante la inserción de tubos u otros elementos para crear un camino adecuado por el cual puedan acceder esta clase de vehículos.

De acuerdo con lo anterior, estas incidencias hacen que se retrase la ejecución de las mesas fotovoltaicas, lo que puede llegar a generar conflictos entre el EPCista con la empresa o empresas encargadas de la ejecución de las mesas, y que el actor responsable de obra civil no notifica o asuma la responsabilidad una vez la obra se encuentre en dicha fase de ejecución, por lo tanto, el sistema planteado bajo metodología BIM, busca desarrollar un registro de estos inconvenientes, en el que la empresa encargada del montaje de la estructura de la mesa identifique las incidencias, antes o durante la ejecución de la obra, con el fin de evitar inconvenientes que puedan presentarse en caso de un retraso de la obra, así como tener evidencia de las incidencias por parte de la empresa de obra civil, con el fin de informar al EPCista los inconvenientes y mantener un registro, para que no se puedan atribuir la responsabilidad del retraso que pueda tener la obra, a la empresa de montaje e instalación, en caso de, que no se puede ejecutar alguna tarea de la estructura a cargo de ellos. El fin de incluir dentro del sistema propuesto este componente de obra civil, permite mejorar la comunicación entre los diferentes actores con él EPCista, y que pueda actuar de manera correspondiente antes las incidencias que se puedan llegar a presentar desde la obra civil y puedan llegar a afectar el resto de la obra.

2.2.4 Registro de avances por grupos de trabajo

Como ya se mencionó en las dificultades en la gestión y control de los grupos de trabajo, debido a la escala de servicio público en los proyectos plantas fotovoltaicas, su ejecución requiere que el EPCista subcontrata a varias empresas para ejecutar las diferentes actividades de la obra, sin embargo, se dan situaciones en el que, ya sea desde los actores, o por la ausencia de una herramienta de control adecuada, no se pueda organizar y controlar adecuadamente el manejo de los grupos de trabajo. Por lo tanto, la manera en que se reparte las actividades, principalmente, en el caso de que dos empresas desempeñen una misma actividad, se requiere tener un registro adecuado de la información sobre los grupos de trabajo, con el fin de evitar confusiones y retrasos en las certificaciones de cada empresa, es decir, a quien se va a pagar por determinado trabajo.

De acuerdo con lo anterior, el sistema bajo la metodología BIM, busca incorporar un registro de porcentaje de avances de actividades por empresa, que permita registrar y determinar correctamente cuáles actividades o qué porcentaje de determinada actividad fue ejecutada por cada empresa contratada. De esta manera, los aspectos a tener en cuenta dentro del sistema para mejorar la organización de los grupos de trabajo, consiste en los siguientes:

- Nombre de la empresa: Aunque parece algo evidente este dato, como se pudo observar tanto en las hojas de cálculo como en los planos, esta información pasa desapercibida, por lo tanto, se requiere incluir este tipo de información dentro del sistema para un manejo acuerdo de los actores.
- Identificación de las actividades o etapas de la obra: Como ya se explicó en el anterior apartado, el montaje e instalación de los huertos fotovoltaicos consiste en cinco etapas (implantación, hincado, estructura, paneles y control de calidad). Estas etapas son importantes desglosarlas dentro del sistema y sean articuladas con la empresa o empresas correspondientes de ejecutar cada una de ellas.

- Porcentaje de avance: Este dato es indispensable para conocer el trabajo realizado por cada empresa al momento de realizar las certificaciones.

Con estos puntos a mejorar, se espera que en la gestión y control de la obra pueda agilizar los procesos de certificación de las empresas, según lo ejecutado en la obra, así mismo, el registro de esta información, permite también tener en cuenta en caso de incidencias en una actividad o en determinada área del proyecto, poder identificar fácilmente la empresa responsable y actuar debidamente para solucionar cualquier inconveniente. Adicionalmente, ayuda a evitar confusiones o conflictos en caso de que más de una empresa llegue a ejecutar una misma actividad o etapa de montaje e instalación de las mesas.

2.2.5 Cuantificación del material utilizado (Por unidades y peso)

Como ya se mencionó en las dificultades de las herramientas de gestión y control, el manejo de los materiales a utilizar para el montaje e instalación de las mesas de los huertos fotovoltaicos son de las tareas más indispensables que determinan el éxito de la ejecución de la obra, pues si las empresas contratadas que ejecutan las actividades manejan adecuadamente el material, especialmente en el montaje de la estructura de la mesa, pueden evitar pérdidas innecesarias u obtener un porcentaje de desperdicio mínimo, evitando realizar gastos extras para la empresa encargada, por lo tanto, se requiere de una herramienta que permita tener un control adecuado del material de la obra. Cuando el EPCsista contrata una empresa para manejar la fabricación, el abastecimiento y el montaje del acero para conformar la estructura de la mesa y se encuentre lista para anclar los paneles, la empresa requiere de un buen control del material utilizado en la obra, en donde la cuantificación, es necesaria para evitar contratiempos o gastos innecesario. En este caso, el conocer y cuantificar cuánto acero que se requiere, se puede dar tanto por unidad como en peso.

Las ventajas de que la empresa lleve un control y registro cuantificado de los materiales por unidades y peso, permite que, por ejemplo, una vez instaladas las hincas de un sector de la obra, se pueda conocer cuánto acero se ha utilizado y cuánto queda del acero comprado, y además, revisar con los planos de la obra, si realmente todo el material que se utilizó en la obra, o si hubo desperdicio o pérdida de material por otras circunstancias. De esta manera, se puede mejorar el rendimiento del acero, ya que al ser un material costoso, es favorable para la empresa que el material inicialmente comprado o solicitado para desarrollar toda la obra sea utilizado, sin la necesidad de solicitar material adicional.

De acuerdo con lo anterior, mediante el sistema BIM que plantea este trabajo se busca tener una trazabilidad del material utilizado, en este caso, del acero para la estructura de la mesa, en donde se pueda cuantificar en cada perfil de la estructura el peso (toneladas), de esta manera, se puede contabilizar el materiales tanto por peso como por unidades. Por otro lado, por medio de la herramienta de modelado BIM, también se busca identificar y registrar con mayor facilidad el material utilizado para montar la estructura en cada mesa y sector de la obra, durante la ejecución del proyecto, para poder controlar y asegurar que todo el material comprado inicialmente sea instalado, y en caso de que se presente un desfase entre la cantidad del material utilizado y el material comprado, se pueda identificar con mayor facilidad las circunstancias que se dieron lugar a dicha situación. También, mediante este registro del material, se puede tener en cuenta si el material solicitado por la empresa que lo fabrica realizó la cantidad correspondiente, o en caso contrario, realizar la queja correspondiente.

2.3 Alcance de los datos y establecimiento de los resultados a obtener

Una vez establecido los aspectos que se tuvieron en cuenta para desarrollar el sistema de control y gestión de obras fotovoltaicas, bajo la metodología BIM, debido a la gran cantidad de información que puede representar cada uno de estos elementos, a continuación, se realiza una acotación de la toda la información con la que se pretende trabajar en este sistema y cuales son los resultados que se esperan obtener a partir de su aplicación.

Identificar las empresas que ejecutan cada etapa de la mesa: Se plantea incorporar en cada etapa de la obra en el modelo fotovoltaico, un código para registrar la empresa encargada de ejecutar determinada etapa de la obra, por ejemplo, seleccionar en el modelo las hincas e identificar en el sistema, la empresa que ejecutó el proceso de hincado.

Cuantificación de error: Los siguientes elementos:

- Hincas
- Pata
- Correas
- Bastidores
- Paneles

En los resultados a obtener de la aplicación de la metodología de trabajo para seguimiento y control de obras fotovoltaicas a escala de servicio público por medio de programas BIM, se espera obtener un registro que pueda almacenar variedad de datos sobre la ejecución de obra, además de la facilidad para manejar la información y extraerla en planos de revisión o de avances. Además, cada uno de estos componentes puede estar acompañado de un cuadro y gráficos que resuman la información contenida. Estos entregables se esperan que cuente con información de manera general y por cada zona del proyecto, en cuanto a avances de obra según etapas que se estén ejecutando al momento de extraer los datos del programa, de igual manera, obtener planos de revisión de incidencias de mesas como de obra civil, así como de grupos de trabajo para rectificar certificaciones de parte del EPCista a la empresa subcontrata. De esta manera, se genera un entregable con todos los aspectos concernientes al seguimiento y control de obras fotovoltaicas.

Parte 3

¿Cómo sería el proceso de aplicación?

3.1 Creación de un proyecto hipotético

En un principio, para llevar a cabo la aplicación del sistema de gestión y control bajo la metodología BIM propuesto por el presente trabajo, se realizó un ejercicio práctico de la creación de un proyecto hipotético de un huerto fotovoltaico a escala de servicio público, en donde se establecen los datos necesarios para, en primer lugar, desarrollar la implantación del diseño del huerto fotovoltaico en CAD, puesto que es la herramienta principal que manejan los promotores y profesionales encargados de diseñar el proyecto. El planteamiento de esta investigación, es que posteriormente, al momento de ejecutar la obra, el diseño del proyecto previamente proporcionado por la empresa promotora, pasa al programa BIM, para su modelación e ingreso de datos, de esta manera, es como se lleva a cabo la gestión y control de obra bajo esta metodología.

- Propuesta de huerto fotovoltaico: Como se mencionó en el apartado 1.2, los proyectos a escala de servicio público manejan una capacidad de 1.000 kW hasta los 50.000 kW e incluso hasta los 300.000 kW, por lo tanto, a partir del planteamiento de la disposición y nomenclatura de la mesa prototipo del proyecto fotovoltaico hipotético, se realizó el siguiente cálculo para establecer el número de mesas que se necesitan, para proporcionar la potencia correspondiente a la escala en la que se está trabajando:

Mesa prototipo: se plantea una 2V26 (Figura 36), es decir, se compone de 2 hileras de 26 módulos o paneles solares en posición vertical, lo que da un total de 52 módulos por mesa. Teniendo en cuenta que cada panel fotovoltaico puede generar unos 440 Wp², por lo tanto, 52 módulos generan 22.880 Wp. De esta manera, se plantean un total de 2.192 mesas para una capacidad de 50.100 kW aproximadamente.

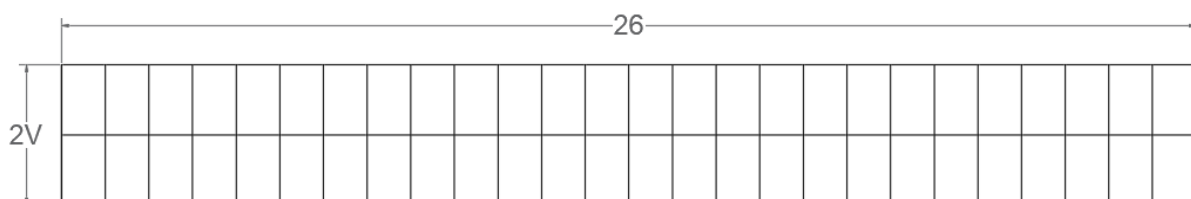


Figura 36. Conformación de la mesa de proyecto fotovoltaico hipotético. Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior, se distribuyen las mesas en un terreno seleccionado para el ejercicio práctico, cuyo resultado se divide en cuatro zonas (Figura 37). Adicionalmente, se añaden otros aspectos del proyecto como vías de acceso, recorrido, campamento, subestaciones y zonas de acopio. Una vez acomodadas las mesas en el terreno, se realiza un ajuste de algunas de ellas según delimitación de las

² Vatios pico (Wp) es la unidad de potencia de los paneles fotovoltaicos.

zonas, planteando otro tipo de mesa, la mesa 2V13 conformada por 26 paneles fotovoltaicos (Figura 38), ubicadas en el perímetro de las zonas.

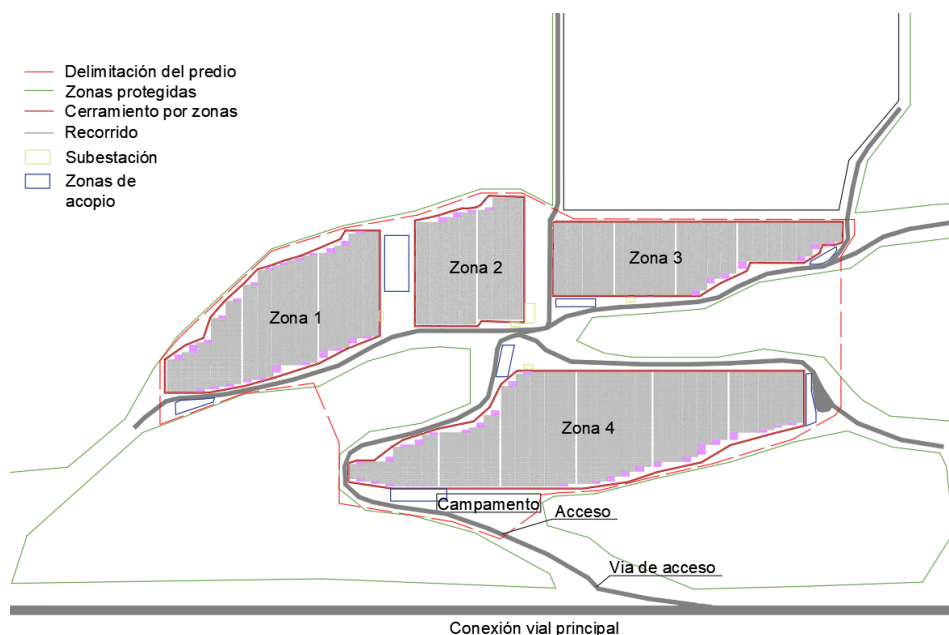


Figura 37. Conformación de proyecto fotovoltaico hipotético a escala de servicio público. Fuente: Elaboración propia

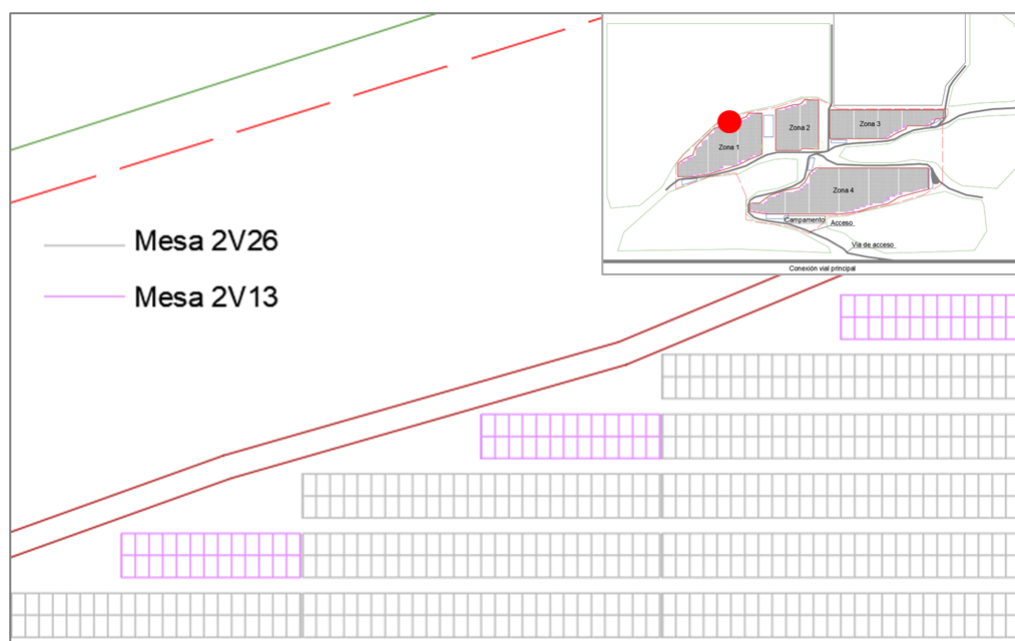


Figura 38. Tipos de mesa en proyecto fotovoltaico hipotético a escala de servicio público. Fuente: Elaboración propia

Es así, como se tiene un proyecto hipotético de planta fotovoltaica a escala de servicio público, como ejemplo práctico para la aplicación de una estructura de trabajo de gestión y control bajo la metodología BIM. Cabe aclarar que como se mencionó en el apartado de los tipos de estructura fotovoltaicas, se planteó para esta

investigación los proyectos fotovoltaicos con estructura fija a suelo biposte por medio de hincas, donde se tendrá en cuenta más adelante en la configuración de la mesa dentro del programa de modelado BIM. De esta manera, a partir de este caso hipotético se puede observar los elementos y pasos que conlleva la creación del modelo en el programa, el ingreso y manejo de datos a lo largo de la ejecución de la obra, así como la extracción de los datos según requisitos o avances de obra, tal y como se explican en los próximos apartados de este capítulo.



Figura 39. Implantación de proyecto fotovoltaico a escala de servicio público hipotético. Fuente: Elaboración propia

Por último, para el ejercicio de registro de avances de ejecución de obra del proyecto hipotético dentro del modelo BIM, a continuación, se propone un cronograma de ejecución del proyecto (Figura 40), dividido según las etapas de montaje de las mesas fotovoltaicas y los avances realizados en cada una de las zonas del proyecto. Además, para el ejercicio de extracción de datos según avances de obra, se establece una fecha hipotética en la que se encuentra ejecutada la obra al momento de extraer la información.. A continuación, se describe el proceso que se llevó a cabo en la creación del modelo de la mesa fotovoltaica dentro del programa de modelado BIM.

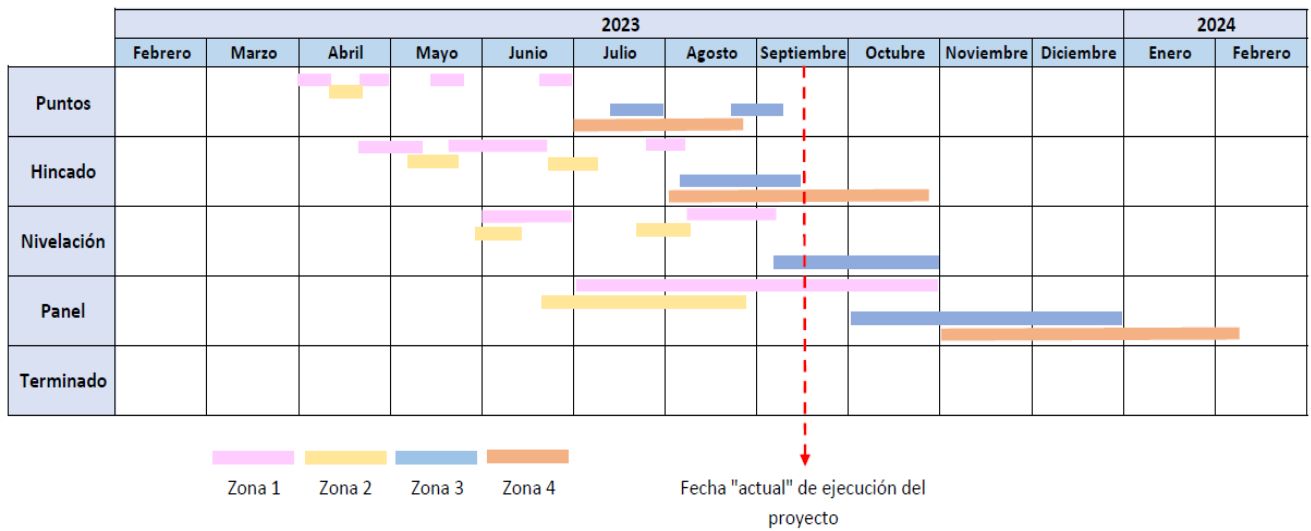


Figura 40. Cronograma de ejecución de proyecto fotovoltaico hipotético. Fuente: Elaboración propia

3.2 Creación del modelo BIM

En los programas de modelado BIM, para la creación del modelo del huerto fotovoltaico a escala de servicio público, a continuación, se describe el proceso para llevarlo a cabo, por medio de tres fases: en primer lugar, la vinculación del diseño al programa por medio de herramientas de programación, seguidamente, la implantación del layout y por último, la creación del modelo de la mesa, en donde se establecen una piezas, parámetros y otros elementos que configuran la mesa dentro del programa BIM.

3.2.1 Implantación del layout

Como se mencionó anteriormente, el diseño del proyecto del huerto fotovoltaico es recibido previamente por parte de los promotores o la empresa contratante para ejecutar la obra, donde comúnmente el diseño es entregado en formato CAD. Por lo tanto, antes de realizar la vinculación del diseño al programa BIM, es recomendable realizar una depuración del plano, es decir, eliminar elementos como textos o capas de líneas que puedan saturar el diseño del proyecto y así disminuir el peso del archivo. Una vez depurado el diseño del proyecto, está listo para ser vinculado al programa BIM, que se debe realizar mediante una implantación del diseño como layout, de la siguiente manera: una vez está el plano depurado en el programa de CAD, desde el programa BIM se añade el plano en la sección de vincular CAD, en contraste con otros comandos como importar CAD, la importancia de añadir el plano por vinculación nos permite que en caso de algún ajuste al diseño de CAD, ya sea la modificación de mesas o su ubicación, el plano pueda actualizarse al mismo tiempo en el programa BIM. De acuerdo con lo anterior, para mejorar el rendimiento y tener mayor precisión a la hora de colocar las mesas fotovoltaica modeladas sobre el layout, se recomienda implantar el layout del proyecto por zonas en las que se divide, además, se debe tener en cuenta, que el punto de origen de los layout de cada zona concuerden entre ellos, para facilitar la colocación de las mesas. De esta manera, se realiza la implantación del layout con el diseño de la planta fotovoltaica.

Cabe aclarar que para los fines del ejercicio de aplicación de la metodología, en el proyecto no se tendrá en cuenta la variable topográfica. Por otro lado, dentro del modelo BIM para evitar que se acumule en el archivo aspectos que puedan sobrecargarlo, más allá del plano incorporado, no se trabaja sobre las vías y zonas de acopio de materiales del proyecto. Por otro lado, además de las mesas fotovoltaicas, que es el punto principal de seguimiento y control de esta investigación, también se tendrá en cuenta las zonas que delimitan la agrupación de las mesas y las incidencias de obra civil.

De acuerdo con lo anterior, además de la implantación del diseño del proyecto, antes de empezar el modelado de la familia de la mesa, es necesario identificar dentro del programa BIM las zonas en las que se divide el proyecto, para realizar el reconocimiento de las zonas dentro del programas se realiza por medio del comando de separador de habitaciones, en donde se delimita cada una de las zonas (Figura 41). Una vez delimitadas las zonas por el programa, se etiqueta cada una de ella con el respectivo nombre de la zona, de esta manera, para realizar los registros de avances, grupos de trabajo, entre otros, se puede ordenar la información de manera

más ordenada y según las zonas en las que se han ejecutados cada etapa de montaje de las mesas fotovoltaicas como se explica más adelante.

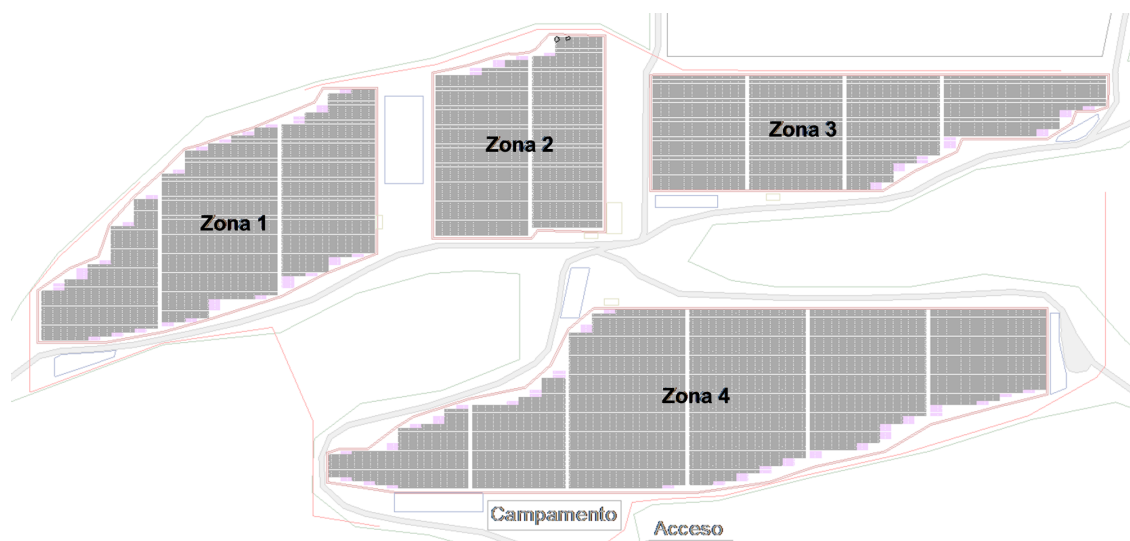


Figura 41. Separación de zonas en proyecto fotovoltaico hipotético dentro del programa BIM. Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Creación de la familia “Mesa”

Para la creación de la mesa en el programa BIM, se crea una familia³ de la mesa. Para ello es necesario una serie de pasos, en donde se modela la mesa de manera esquemática con los elementos principales que la componen y que son indispensables en el control de cada etapa de ejecución de la obra (hincado, estructura y paneles). Además se determinan las variaciones de la familia, según la tipología de mesa que tiene el diseño del proyecto fotovoltaico. Posteriormente, se incorporan al modelo de la mesa los factores de seguimiento a partir de los propuestos en el anterior capítulo. Luego una vez terminada la configuración de la familia “mesa”, se localizan cada una de las mesas según el diseño del proyecto mediante una interfaz de programación gráfica. Finalmente, se describen las limitaciones que se tuvieron al realizar la creación y localización de las mesas en el proyecto dentro del programa BIM.

3.2.3.1 Determinar variaciones

Dentro del programa de modelado BIM es importante desde un principio definir los elementos a modelar y las variaciones que puedan llegar a tener un mismo elemento, esto con el fin de configurar desde un principio dentro de la familia de la mesa las tipologías de las piezas que la conforman según los requisitos del diseño. A partir de la creación del proyecto hipotético, se planteó la estructura fija a suelo biposte por medio de hincas, por lo tanto, el diseño de la mesa del huerto fotovoltaico consta de los siguientes elementos:

³ Se trata de un grupo de componentes utilizados para construir un modelo, por ejemplo, paredes, ventanas, puertas, baños, etc., con un conjunto común de propiedades, o parámetros, y una representación gráfica relacionada.

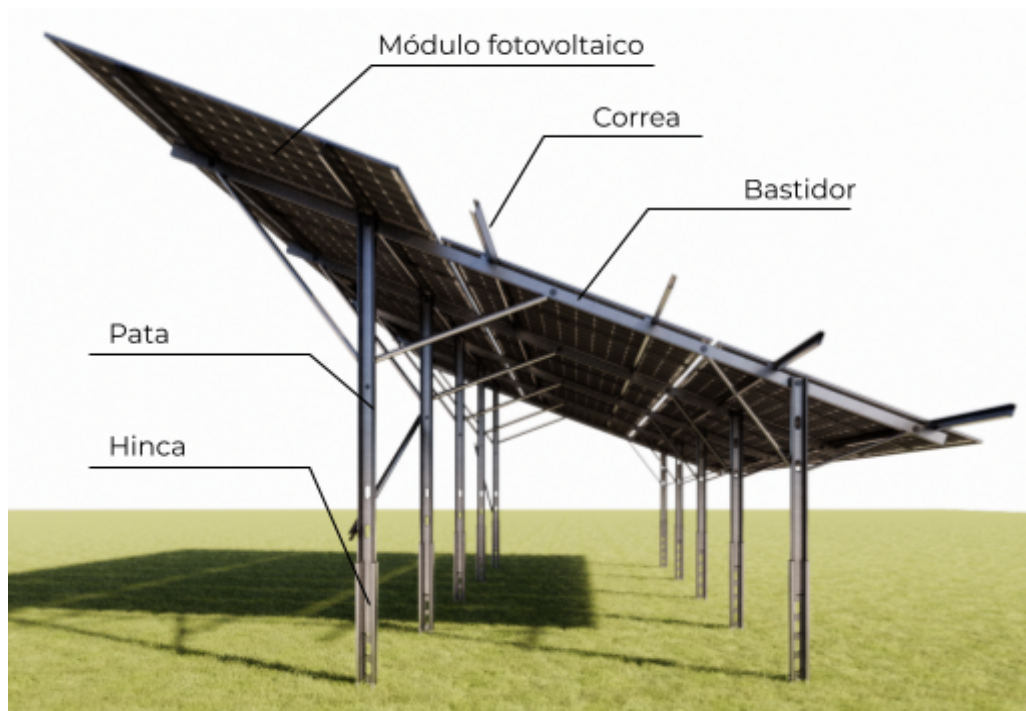


Figura 42. Elementos de una mesa fotovoltaica con estructura fija a suelo biposte por hincas. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, el proyecto hipotético consta de dos tipologías de mesas, la Mesa 2V26 y la Mesa 2V13 (Figura 43). De esta manera, a partir de la familia "Mesa" se crean dos tipos, cada uno con sus determinados parámetros y cantidades de elementos que la conforman:

Mesa 2V26: 18 hincas, 18 patas, 9 bastidores, 4 correas, 52 módulos.

Mesa 2V13: 10 hincas, 10 patas, 5 bastidores, 4 correas, 26 módulos.

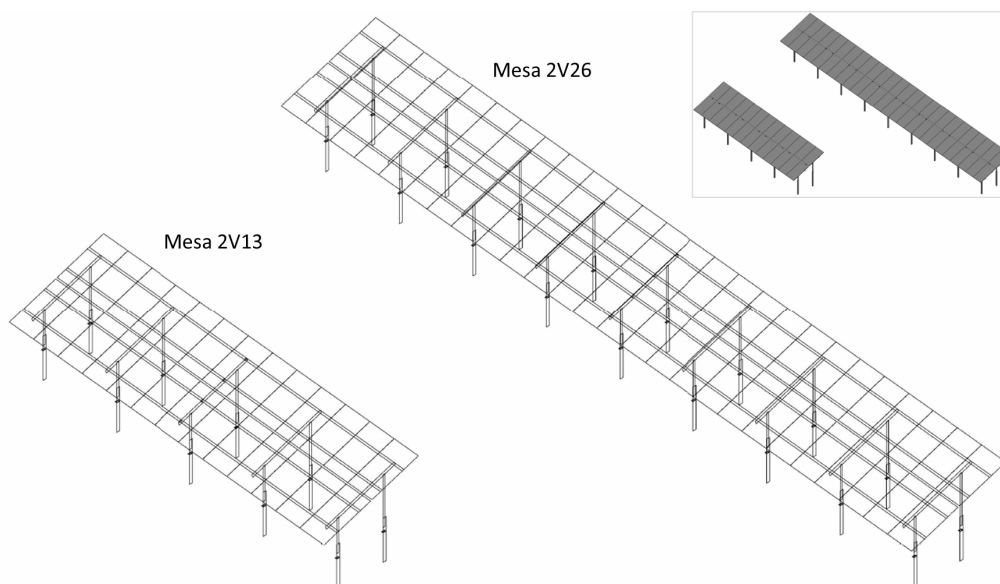


Figura 43. Configuración de tipologías de mesa fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2 Determinación del L.O.D y esquema de jerarquía de piezas

Es indispensable establecer desde un comienzo, las características de los elementos que componen la mesa y el L.O.D (Level of detail) que se requiere para ejecutar el programa de modelado BIM, sin que pueda llegar a sobrecargar el archivo del proyecto, debido principalmente a la gran cantidad de las mesas que contiene este tipo de proyectos a escala de servicio público. De acuerdo con lo anterior, se establece un nivel de detalle de la mesa, es decir, el modelado se centra en las piezas principales que la componen y omite elementos que complementan la instalación de estos elementos como tornillos, cables, entre otros. De esta manera, las piezas que componen el modelo son:

- Etapa de hincado: hinca.
- Etapa de estructura: perfil, correa y bastidor.
- Etapa de paneles: panel.

Es así, como al realizar la modelación de las partes que componen la mesa, se puede manejar y registrar la información con base en los elementos principales, nos aseguramos que la información necesaria pueda ser registrada y a su vez, no sobrecargar el archivo dentro del programa con la modelación de otros elementos, cabe aclarar que estos elementos a pesar de que se encuentran dentro del modelado, se tienen en cuenta dentro de la gestión y control, por medio de otras estrategias. Adicionalmente, estos elementos se tuvieron en cuenta para su modelado para un óptimo registro de las incidencias de obra, ya que cada una de ellas engloba unas posibles incidencias durante su ejecución (esto se describe en el siguiente apartado).

En cuanto a otro aspecto relacionado con el nivel de detalle, dentro de las herramientas del programa de modelado BIM, además de modelar las piezas con formas básicas en 3D, también se puede aumentar el rendimiento del programa mediante una opción que baja el nivel de detalle de las piezas a figuras bidimensionales, como se muestra en la Figura 44. De esta manera, es mucho más eficaz manejar el modelo para el registro de información, que puede llegar a ser considerable la cantidad de información que se registra en cada mesa.

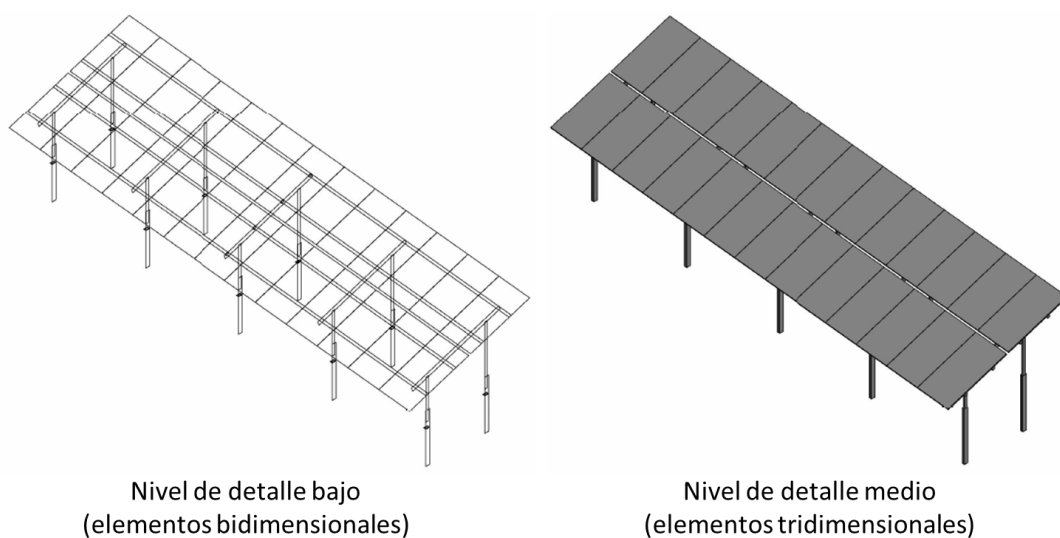


Figura 44. Niveles de detalles de mesas fotovoltaicas. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3 Discriminación de objetos modelados o parametrizados

Como se mencionó anteriormente, se seleccionaron las principales partes que conforman la mesa fotovoltaica, como los elementos del proyecto que fueron modelados y serán parametrizados en el programa BIM, sin embargo, cabe anotar que estos elementos se tienen en cuenta principalmente para el seguimiento de los avances por etapas, manejo de grupos de trabajo y registro de incidencias de calidad. Por lo tanto, como se indicó en el nivel de detalle de la mesa, no se modelan elementos como arriostras, tornillos y otros elementos, que complementan a la estructura fotovoltaica. Esto quiere decir que, por ejemplo, para indicar un tipo de incidencia en una de las mesas durante el proceso de montaje de estructura de bastidores, no es necesario dentro del modelo, detallar los elementos que articulan el bastidor con la estructura para indicar la incidencias, si no que al modelar solo el bastidor e indicar con los parámetros el tipo de incidencia y su cuantificación, ya se puede tener un control sobre el error identificado.

Esto no quiere decir, que estos elementos no son de importancia dentro de la gestión y control de obra, si no que su manejo se puede llevar a cabo de manera más global, en contraste con la ejecución de los elementos principales de la mesa fotovoltaica. Además de lo que se describió anteriormente, en cuanto a la cuantificación por peso, para los tornillos, grapas y arriostras, el uso de estos elementos son seguidos mediante pesos totales que se suman posteriormente a los controles cuantitativos del material usado en la estructura, de esta manera, se resuelve el manejo de estos materiales por medio de su cuantificación.

3.2.3.4 Incorporación de los factores de seguimiento establecidos

Una vez establecida la mesa fotovoltaica con sus dos tipologías, a continuación, se incorporaron los factores de seguimiento definidos en el capítulo 2. Cada uno de estos factores se añaden al modelo BIM de la mesa mediante parámetros de proyecto (Figura 45), el cual, se definen unas características según la información que requiere el factor de seguimiento para su gestión y control, como el nombre del parámetro (A) y el tipo de parámetro (B). Adicionalmente, para que los datos ingresados en cada parámetro puedan ser modificados de manera individual en cada mesa del proyecto, se mantiene el parámetro como ejemplar (C).

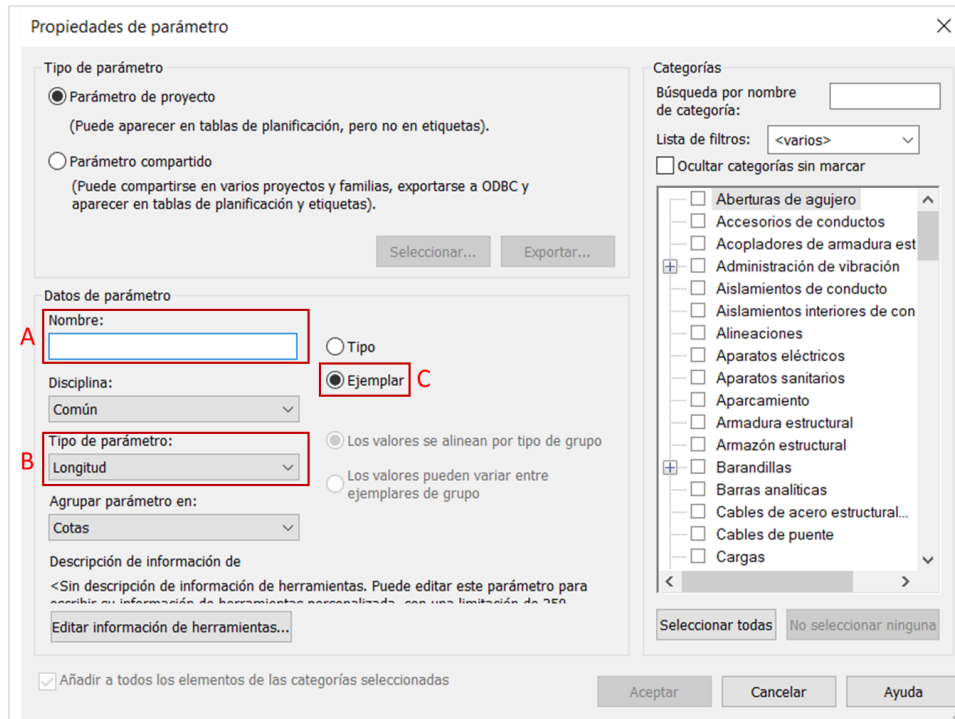


Figura 45. Configuración de parámetros de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, cada uno de los factores de seguimiento que se añaden al modelo de la mesa fotovoltaica, varía la configuración del parámetro según el tipo de información que se requiere, por lo tanto, los factores de seguimientos son los siguientes:

- a. Grupos de trabajo: Los grupos de trabajo o actores que ejecutan la obra, como ya se mencionó anteriormente, se dividen según la etapa de montaje de la mesa fotovoltaica: implantación e hincado, estructura y módulos (paneles). De esta manera, para su seguimiento se crea un parámetro de proyecto, en donde se indica en el nombre del parámetro con el formato de “EMP” para abreviar empresa o “AC” para abreviar actores, y la etapa de montaje a la que corresponde, posteriormente, se indica el tipo de parámetro de “Texto”. Una vez configurado el parámetro, se repite el mismo proceso para una de las etapas de construcción, como se indica en la siguiente tabla:

Nombre de parámetro	Tipo de parámetro
EMP Hincado	Texto
EMP Estructura	Texto
EMP Módulos	Texto

Tabla 1. Configuración de parámetros de grupos de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

b. Incidencias de obra:

En cuanto a las incidencias de obra, mediante el programa de modelado BIM y para la implementación de la metodología de trabajo planteada por el presente trabajo de investigación, este factor de seguimiento se registra mediante comentarios en la sección de propiedades de la familia de la mesa en donde se presenta el error. Por lo tanto, antes de registrar la incidencia en esta sección, se debe conocer de antemano el tipo de información que se necesita.

De acuerdo con lo anterior, para llevar a cabo un adecuado seguimiento y control de las incidencias que se pueden presentar en la ejecución de obras fotovoltaicas a escala de servicio público, antes de incorporar la información al programa BIM, se ha requerido en primer lugar identificar las posibles incidencias que puedan ocurrir y la unidad de medida en la que se puede cuantificar el error. Adicionalmente, para facilitar el ingreso de la información y posteriormente identificar con mayor facilidad la descripción de la incidencia dentro del modelo, se ha optado por describir la incidencia por medio de abreviaciones. De esta manera, se identificó y definió cada una de las incidencia de acuerdo a estos criterios, conformando la siguiente tabla:

Hinca	Tipo de incidencia	Hinca torcida	Hinca revirada	Rechazo
	Abreviatura	HT	HV	HR
	Unidad de medida	Ángulo	Ángulo	Longitud (mm)
Pata	Tipo de incidencia	Distancia entre tornillos elevada		
	Abreviatura	PT		
	Unidad de medida	Longitud (mm)		
Bastidor	Tipo de incidencia	Bastidor dañado		
	Abreviatura	BP		
	Unidad de medida	Si/no		
Correa	Tipo de incidencia	Vuelo de correa		
	Abreviatura	VC		
	Unidad de medida	Longitud (mm)		
Panel	Abreviatura	Potencia incorrecta	Panel invertido	Panel roto
	Tipo de incidencia	PI	PV	PR
	Unidad de medida	Si/no	Si/no	Si/no

Tabla 2. Listado y configuración de incidencias de obra. Fuente: Elaboración propia.

Es así como una vez se ha definido los criterios para describir las incidencias de obra, mediante las iniciales del tipo de incidencia como abreviación y las unidades de medida acorde a la incidencia, se define la manera en cómo se redacta cada una de las incidencias como se puede ver la Figura 46. A partir de esta nomenclatura para describir las incidencias de obra en la sección de comentarios en las propiedades de la mesa fotovoltaica, nos permite registrar e identificar con mayor facilidad los errores,

además, como se observa en el ejemplo, en un mismo comentario se pueden agregar dos o más incidencias de manera ordenada.

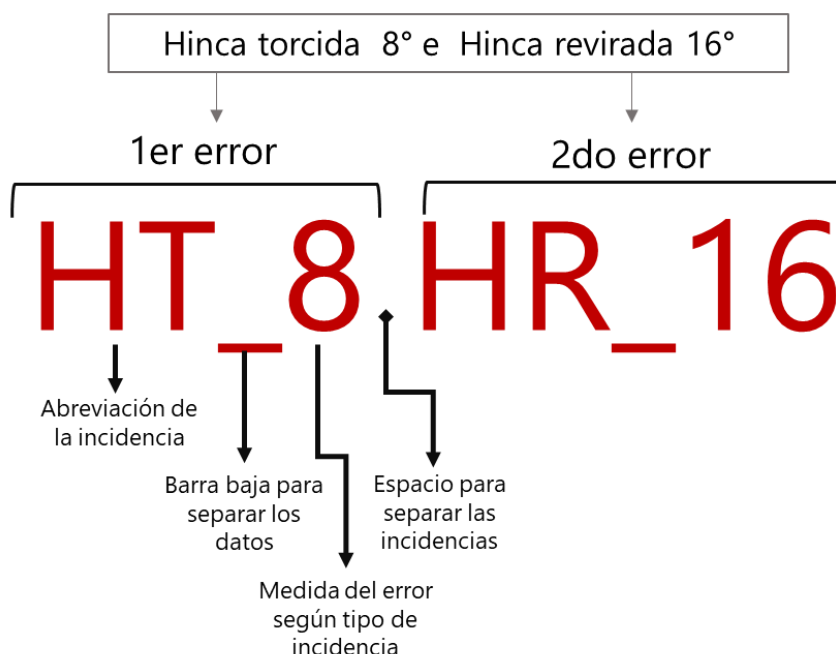


Figura 46. Nomenclatura para descripción de incidencias de obra. Fuente: Elaboración propia.

- c. Avances de obra: En cuanto a los avances de obra, se tiene diferentes factores de seguimientos para determinar el avance por etapas o por mesa terminada. Por lo tanto, se crean varios parámetros (Tabla 3) en donde el nombre indica el avance de obra (AV) y la etapa de ejecución de la mesa fotovoltaica o si la mesa se encuentra ya terminada. En cuanto al tipo de parámetro, con el fin de registrar y posteriormente extraer información de avances por fechas, se determinan como "número" para los avances por etapas, de tal manera que se registre la fecha con el formato de AAAA/MM/DD. Sin embargo, para la mesa terminada, se determina por medio de un parámetro de confirmación (si/no).

Nombre de parámetro	Tipo de parámetro
AV_Puntos	Número
AV_Hincado	Número
AV_Nivelación	Número
AV_Estructura	Número
AV_Módulos	Número
AV_Mesa terminada	Si/no

Tabla 3. Configuración de parámetros de avances de obra. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Localización de la familia en el layout

Para la localización de la familia Mesa en dentro del layout del diseño del proyecto, se realiza mediante el uso de una interfaz de programación gráfica (Dynamo). Para llevar a cabo este proceso, en primer lugar, como se mencionó en la implantación del layout, se debe verificar que los layout de todas las zonas del proyecto compartan el mismo punto de origen, en el caso de que el layout sea el proyecto completo, solo tener en cuenta donde se encuentra el punto de origen. Una vez comprado eso, comienza el desarrollo del script de Dynamo para vincular y localizar las mesas fotovoltaica del proyecto, de la siguiente manera (Figura 47):

- En Dynamo, se crea un nuevo script y en el primer nodo se selecciona en elemento de modelo el/los planos importados del proyecto en CAD (A), a continuación, en la siguiente casilla (B), primero se debe instalar un paquete dentro del Dynamo llamado “Genius Locí”, el cual nos permite seleccionar el bloque de CAD, en este caso, los bloque del archivo de CAD del proyecto corresponde a los dos tipos de mesa fotovoltaica.
- A continuación, a partir del Bloque de CAD, se conecta al nodo de *Family Type.By Family Name* (C), en donde se indica los dos tipos de familia de la mesa fotovoltaica, a su vez, este nodo debe estar conectado al nodo de *Code Block* (D), que indica el nombre de la familia “Mesa” que es la que contiene las dos configuración de la mesa. De esta manera, se establecen de manera general las mesas fotovoltaicas en el modelo.
- Finalmente, se pueden agregar otras condiciones para implantar las mesas al modelo, por ejemplo, en el nodo de *Family Instance.By PointAndLevel* (E), se conecta las dos configuraciones de mesa seleccionadas y vincular por medio de otro nodo de niveles (F), establecer el nivel en el que se localizan las mesas, en este caso, en el nivel 1. En caso de que en la vinculación de las mesas al layout requiera de otras características como rotación, entre otros, se agregan otros nodos dentro del script de Dynamo (G).



Figura 47. Programación para localización de la familia “Mesa” en el layout. Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el script, antes de ejecutarlo se debe seleccionar de nuevo el elemento de modelo (A). Como resultado de este proceso de automatización con Dynamo, las mesas fotovoltaicas modeladas fueron localizadas dentro del programa BIM, según la ubicación y la cantidad indicadas por el layout de CAD del diseño del proyecto fotovoltaico (Figura 48). De esta manera, es como se lleva a cabo la localización de la familia en el layout.

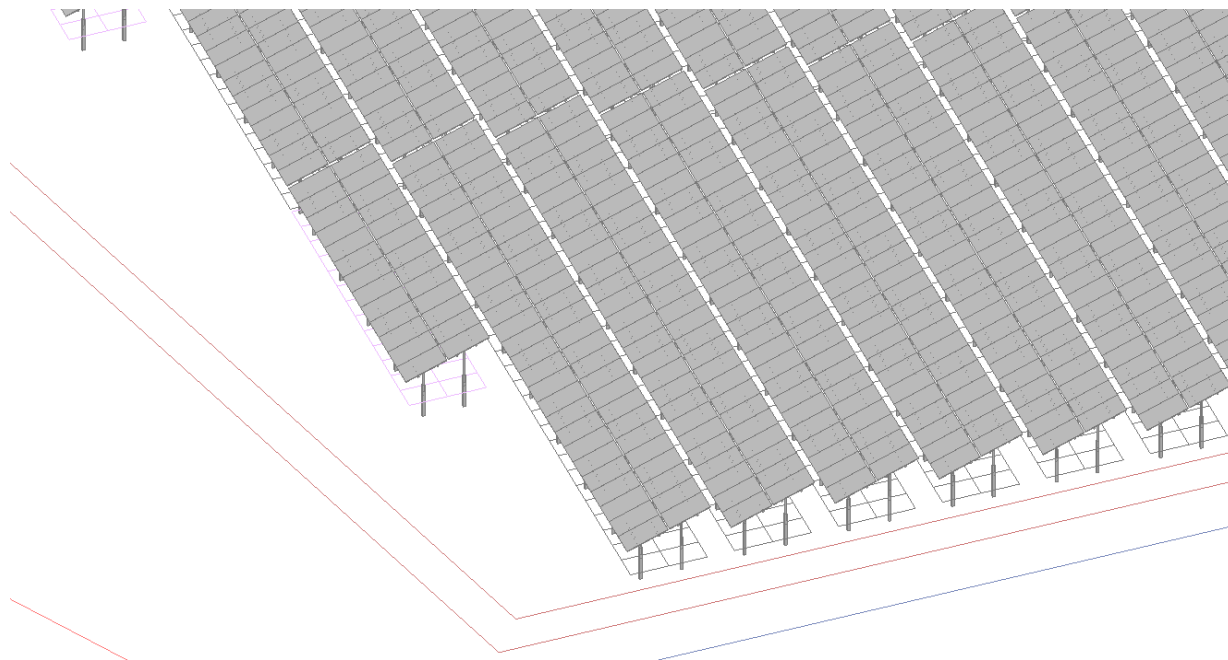


Figura 48. Localización de mesas fotovoltaicas sobre el layout. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1 Edición de datos

Se puede dar el caso en el que existen cambios en el diseño del huerto fotovoltaico, debido a situaciones que se pueden llegar a presentar en la ejecución, por lo tanto, se requiere alterar el diseño del proyecto. Para realizar los ajustes correspondientes al nuevo diseño del proyecto, en donde se modifica la cantidad o ubicación de las mesas fotovoltaicas, existen dos formas de modificar la información en el programa BIM:

- **Modificación del layout:** Cuando estas modificaciones se realizan desde el diseño en CAD, Dynamo reconoce los elementos que han sido importados por el script, por consiguiente, cuando hay una modificación en las coordenadas del bloque de CAD, al estar dentro del script vinculado el bloque de CAD de cada configuración de la mesa, las coordenadas dentro del programa BIM también cambian según las modificaciones, por lo tanto, si se eliminan algunas mesas o se altera su ubicación desde el diseño en CAD, el Dynamo permite realizar estos ajustes al ejecutarlo en el programa BIM.
- **Modificación manual:** Otra manera de ajustar el proyecto dentro del programa BIM es mediante la modificación manual de los tipos de familia de las mesas fotovoltaicas, es decir, reubicarlas manualmente en caso de que se requiera o eliminar las que ya no están dentro del diseño actual.

3.2.5 Limitaciones de modelado y parametrización

Una vez desarrollado los puntos anteriores, y en concordancia a lo propuesto en el capítulo anterior, se identificaron una serie de limitaciones al realizar el modelado y parametrización de las mesas fotovoltaicas según lo requerimientos planteados en la metodología. Sin embargo, estas limitaciones no llegan a afectar el propósito principal de este TFM, al plantear una metodología de gestión y control para obras fotovoltaicas que mejore las características de la metodología tradicional. De esta manera, se identificaron las siguientes limitaciones:

- En lo que respecta a la cuantificación del peso de la estructura de la mesa, debido a características del programa de modelado BIM, se presentaron dificultades que limitaron desarrollar la cuantificación de este factor de seguimiento.
- Para el registro de avances de las mesas, usualmente se utilizan dos maneras de registrar el avance, por mesa completada o, por ejemplo, por hincas individualmente. Dentro del programa BIM, la cuantificación por mesa completa en cada etapa se puede llevar a cabo, sin embargo, para la contabilización de elementos individuales, ya sean hincas, bastidores o paneles, que se realizan por día de manera individual, el programa BIM presenta una limitación frente a este sistema. En el caso de los proyectos fotovoltaicos cuyo diseño dispone de una sola tipología de mesa fotovoltaica, la metodología por mesa completa no representa un problema, caso contrario de los proyectos con dos o más tipologías de mesas, cuyo número de elementos puede variar en cada una, por lo tanto, se sugiere para futuros trabajos una revisión más exhaustiva sobre este sistema dentro del programa BIM, o con apoyo de otros programas de manejo de información.
- El uso de otros programas que apoyen la parametrización de los datos faltantes, debido a que el propósito principal de este trabajo es proponer una mejor metodología de seguimiento y control mediante una herramienta BIM, por lo tanto, se trabajó exclusivamente con los elementos que nos ofrece este programa para registrar la información tanto del proyecto en general, como de los factores de seguimiento de las mesas fotovoltaicas.

3.3 Ingreso de los datos

3.3.1 Levantamiento de los datos

A medida que va avanzando la ejecución de la obra, es necesario recoger variedad de datos sobre tanto del trabajo realizado, como de los inconvenientes que se pueden presentar en la obra. De esta manera, para el levantamiento de los datos comúnmente hay dos maneras en que se puede realizar, la primera, de manera tradicional, y la segunda, por medio de drones.

3.3.1.1 Levantamiento tradicional

El levantamiento tradicional consiste, en la disposición de personal, específicamente un técnico de obra, que recorre la obra observando y analizando cada mesa, con el fin de registrar los datos que se requieren para su seguimiento y control, por ejemplo, avances de obra, incidencias, entre otros. Estos datos pueden ser registrados por diferentes medios, ya sea en hojas de papel o algún elemento electrónico portable, mediante el uso de programas como hojas de cálculo o de redacción de documentos. En algunos casos, dependiendo del tipo de información que se esté recolectando, se puede dar la situación, en que el técnico vaya acompañado de algunos obreros, para realizar mediciones (por ejemplo, medir el voladizo de las correas cuando estas sobresalen del pórtico), con el fin de cuantificar las incidencias u observaciones, en caso de que se presenten.

3.3.1.2 Drones

En contraste con el anterior punto, por medio del uso de drones se pueden dar dos casos: recolección con drones de forma manual y recolección automatizada. El primero, una persona encargada de manejar el dron, realiza un levantamiento y sobrevuela la zona de la obra, recolectando imágenes escaladas. Posteriormente esas imágenes son procesadas en la oficina en el ordenador, en donde la información se registra automáticamente en programas de hojas de cálculo. Es así como se puede dar una relación de datos híbrido, por medio de una persona que maneja y procesa la información, y el dron. Por otro lado, existe la recolección por medio de drones completamente automatizado en donde, a medida que el dron manejado por el personal sobrevuela la zona requerida, mediante el uso de softwares especializados que son programados con las coordenadas topográficas del proyecto, procesa las imágenes tomadas por medio del dron, analizando y comparando con la información suministrada del proyecto, de manera que puede reconocer automáticamente datos sobre los avances de obra, algunas incidencias (por ejemplo, identifica hincas no instaladas), entre otros datos, e informarlos para su registro.

3.3.2 Ingreso de datos de seguimiento y control de ejecución

A partir de los parámetros anteriormente añadidos en cada una de las mesas del proyecto fotovoltaico, se ingresan los datos obtenidos en los levantamientos o seguimientos. A continuación, se expone la manera en que se ingresaron cada uno de los datos:

- a. Ingreso de datos de grupos de trabajo: Para cada una de las mesas se ingresa los nombres de la empresa contratada según la etapa de montaje de la mesa fotovoltaica.

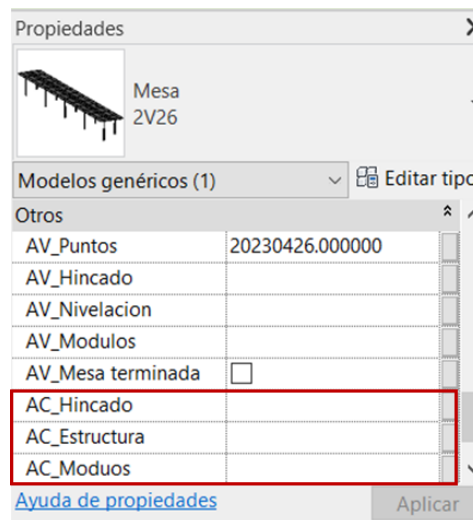


Figura 49. Ingreso de datos de grupos de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

- b. Ingreso de datos de incidencias de obra: Una vez el técnico encargado del levantamiento de las zonas, identifica algunas incidencias en algunas de las mesas, como se indicó anteriormente, para su registro en cada mesa se definió una nomenclatura acorde a algunas de las incidencias más comunes que se pueden presentar en la ejecución de obras fotovoltaicas a escala de servicio público. Por lo tanto, a partir de esta nomenclatura se registran las incidencias de cada mesa, en las propiedades en la sección de comentarios, en donde se pueden registrar cada una de las incidencias ya sean una o varias de ellas, como se indica en la Figura 50, se registraron tres incidencias: hinca torcida 9° (HT_9), distancia entre tornillos elevada 16cm (PT_16) y vuelo de correa 12cm (VC_10), de esta manera se ingresan los datos de incidencia de obra.

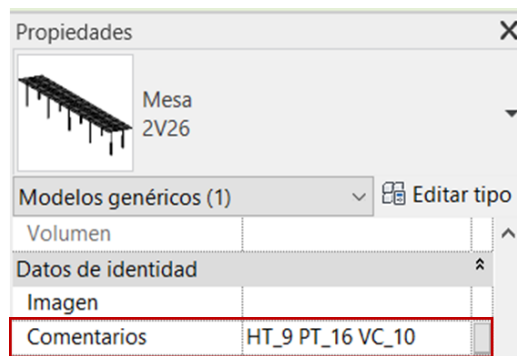


Figura 50. Ingreso de datos de incidencias de obra. Fuente: Elaboración propia.

- c. Ingreso de datos de avances de obra: Como se mencionó anteriormente, para los avances de obra, la información se registra a partir de la fecha de realización de cada etapa de la mesa. De esta manera, si por ejemplo, la etapa puntos de implantación fue finalizada en su totalidad el día 26 de abril de 2023, se redacta dentro del parámetro como un número, partiendo del año, seguido el mes y por último el

día, es decir, 20230426 (Figura 51). Es así como se registra cada dato de avance de obra, el cual se va registrando las fechas conforme a los avances y terminación de cada etapa de la mesa. Por último, en cuanto al parámetro de AV_Mesa terminada al ser un parámetro de check o verificado, en donde se registra que una vez terminada en su totalidad la mesa fotovoltaica, se marca ese parámetro como verificación y registro de mesa ejecutada.

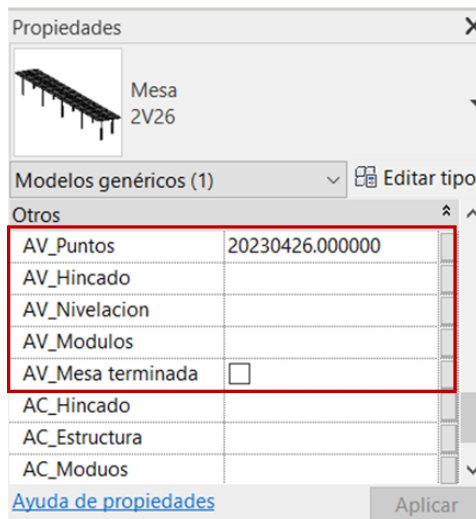


Figura 51. Ingreso de datos de incidencias de obra. Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Ingreso de datos de Incidencias de obra civil

A diferencia de los anteriores datos que son suministrados directamente en la familia de la mesa fotovoltaica, en el caso las incidencias de obra civil, al ser ejecutadas por otra empresa a la del montaje de la estructura de la mesa fotovoltaica, no se tiene un registro detallado de las actividades de obra civil, sin embargo, durante la ejecución de la mesa fotovoltaica las incidencias de obra civil pueden llegar a afectar el rendimiento de esta etapa de ejecución. Por consiguiente, para tener en cuenta este tipo de incidencias dentro de la gestión y control de la metodología planteada por este trabajo, se registran los datos mediante nubes de revisión dentro del programa BIM (Figura 52).

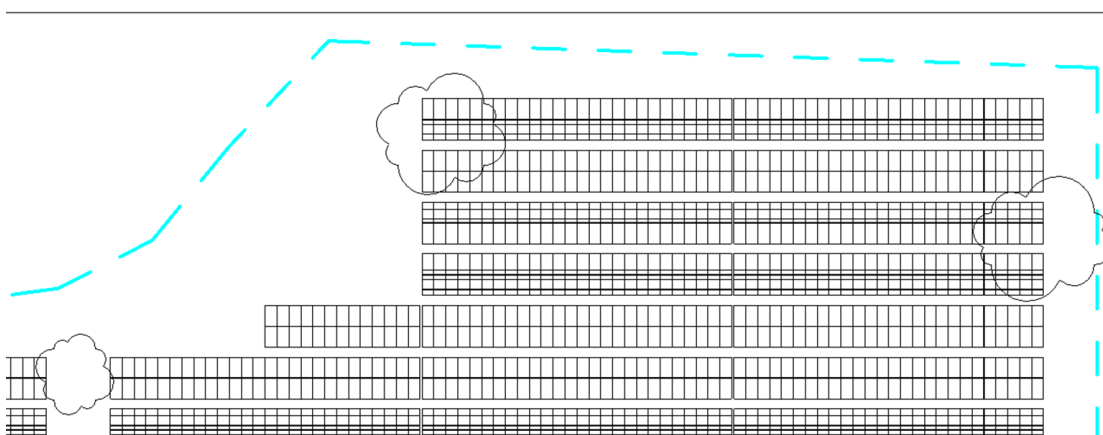


Figura 52. Registro de incidencias de obra civil por nubes de revisión. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, mediante estas nubes de revisión, se pueden describir y registrar las fechas tanto de emisión como de resolución de cada una de las incidencias de obra civil, así como la empresa que emite la observación (Figura 53). Cada una de estas nubes de revisión son etiquetas con su respectivo número según la fecha en que se registra cada incidencia, como se puede ver en la Figura 54.

Versiones/Revisiones de plano							
Secuencia	Número de	Numeración	Fecha	Descripción	Emitida	Emitida a	Emitida por
1	1	Numérica	27/04/2023	Terreno mal compactado	<input type="checkbox"/>	30/05/2023	Empresa de hincado
2	2	Numérica	30/04/2023	Vía en mal estado	<input type="checkbox"/>	02/05/2023	Empresa de estructura
3	3	Numérica	01/05/2023	Presencia de piedras gran	<input type="checkbox"/>	03/05/2023	Empresa de hincado

Figura 53. Registro de datos de incidencias de obra civil. Fuente: Elaboración propia

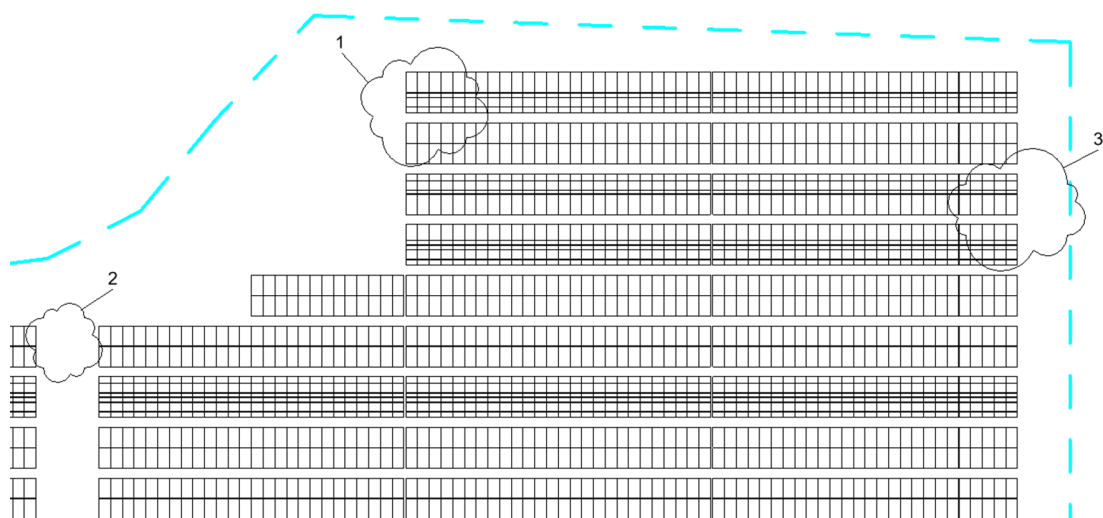


Figura 54. Etiquetado de incidencias de obra civil. Fuente: Elaboración propia

Una vez registrado todos los datos, estos quedan automáticamente vinculados a la tabla de observaciones que se puede configurar en la edición de la plantilla del plano dentro del programa BIM. De esta manera, se pueden editar el título de la tabla y las casillas que se requiera ajustar acorde a la información registrada (Figura 55).

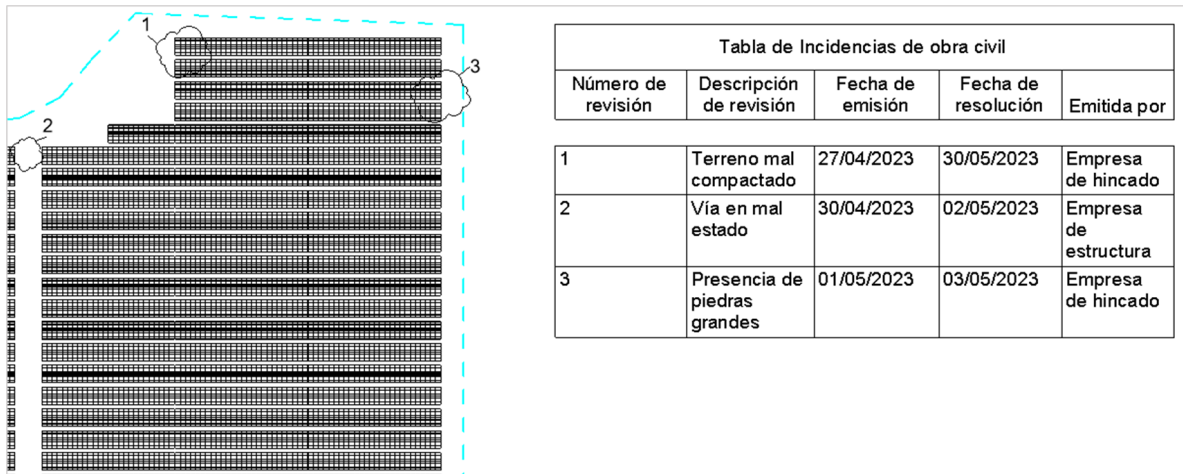


Figura 55. Plano y tabla de incidencias de obra civil. Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Vinculación de información del modelo mediante el uso de herramientas tradicionales.

Para acompañar los datos ingresados en el programa BIM en la creación de tablas y gráficas que se adjunten en las planimetría finales, se realiza el siguiente ejercicio para vincular la información ingresada en el programa con la herramienta de las hojas de cálculo, como una forma gradual del manejo de herramientas tradicionales hacia nuevos métodos, como lo es en este caso el uso de programas BIM. De acuerdo con lo anterior, el proceso sería el siguiente:

Se realizan unas tablas en las hojas de cálculo con los datos que se requieren, estas tablas que van al programa BIM son diferentes a las que se realizan en los planos dentro del programa, debido a que las tablas de los planos están diseñadas para que se vean bien desde el programa BIM, sin embargo, las tablas con datos desde las hojas de cálculo deben ser distintas y adaptadas para excel. Por consiguiente, primero se debe exportar las tablas del programa BIM a las hojas de cálculo, esto se realiza mediante la exportación de tablas de planificación del programa BIM a un documento de texto, posteriormente, se realiza una importación de datos de documentos de texto, en caso de modificaciones de información, estos datos pueden ser editados desde el programa BIM, la información se modifica automáticamente en el documento de texto, para que se vean reflejados en la tabla realizada en las hojas de cálculo. Es así, cómo se vincula los datos ingresados del BIM a una herramienta tradicional que permita el manejo de tablas como lo son las hojas de cálculo, de esta manera, se tienen dos grupos de tablas, uno para el programa BIM en los planos, y otro hecho propiamente en la hoja de cálculo.

A partir de estas tablas en las hojas de cálculo, se crean una gráfica asociada a esa tabla, de esta manera, se pueden crear tablas para avances de obra, avances totales, etc. Finalmente, esas gráficas se importan de regreso al programa BIM, ya sea de manera manual o automatizado utilizando Dynamo, mediante un nuevo script que asocia la gráfica y la inserta sobre el plano. Es así, cómo se vincula el uso de herramientas tradicionales de la gestión y control con el uso de la herramienta propuesta bajo la metodología BIM.

Parte 4

Discusión de resultados

4.1 Extracción de datos

Durante el proceso de ejecución de la obra, se requiere no solo el ingreso de datos, sino también, su extracción mediante una serie de entregables o outputs, en donde se selecciona la información requerida para su revisión. De esta manera, la información sobre avances de obra, incidencias y grupos de trabajo, se puede extraer y revisar ya sea entre los que se encuentran ejecutando la obra, como también para informar de los avances al promotor. De acuerdo con lo anterior, la información de los outputs se dividen en los siguiente:

- a. Planimetría estándar:** En esta sección de entregables los que contiene la información general del proyecto, para este caso, se presenta una planimetría general del proyecto y una planimetría por cada zona, es decir, para el proyecto hipotético de ejercicio de aplicación, corresponde a cuatro zonas.

- b. Planimetría general del proyecto:** En esta sección de planimetría del proyecto, contiene toda la información principal del proyecto y el avance general de la obra, es decir, de todas las etapas en ejecución, para ser entregados dentro del informe semanal de la obra. De acuerdo con lo anterior, como el plano cuenta con una gran cantidad de información del proyecto, se entrega en un formato A2 y la información que contiene es la siguiente (Anexo 1):
 - 1 plano de todo el proyecto con filtro de mesas por etapas y layout de diseño de ubicación de las mesas en plano de CAD. Etapas: puntos, hincado, nivelación y módulos. El filtro se realiza con el fin de identificar qué mesas de todo el proyecto, se encuentran en cada etapa de ejecución al momento del corte de avance de obra.
 - 3 gráficas (una por cada etapa de obra, con excepción de la etapa de puntos de implantación) con el avance diario y acumulado de todo el proyecto.
 - 1 gráfica para 2 empresas subcontratadas, en donde se indique su producción diaria, según su tarea principal. Nomenclatura de cada empresa: Empresa: SubC1 = módulos y SubC2 = Estructura.

- c. Planimetría por zonas:** (Formato A3) Como su nombre lo indica, en estos planos se muestra la información del proyecto por cada zona que la conforma. Al ser una zona más específica del proyecto fotovoltaico, el plano contiene detalles de producción diaria, que pueden ser usados tanto internamente en la ejecución, como para seguimiento adicional por parte del EPCista. De esta manera los planos por zonas contienen la siguiente información (Anexo 2):

- 1 plano de avance de zona con filtros de colores sobre las mesas fotovoltaicas, para indicar los avances de ejecución por etapas: puntos, hincado, nivelación y módulos. Con el fin de observar qué mesas se encuentran en cada etapa en el mismo plano.
- 4 gráficas, una por cada etapa de la obra, donde se indica el avance diario y el acumulado de la zona.

d. Planimetría según casos de uso: Estos entregables cuentan con información pertinente a un factor de seguimiento específico, en donde se especifica según la zona, los aspectos a destacar en el plano. El fin de estos planos es extraer la información ingresada tanto de las mesas, como de otros datos ingresados en el proyecto, que requieren de una revisión y control en caso de incidencias, y por otro lado, según ejecución por actores, con el fin de generar los pagos correspondientes. De acuerdo con lo anterior, los posibles entregables para estos casos son los siguientes: un plano de incidencias de mesa por zona (Anexo 3), un plano de incidencias de obra civil por zona y un plano en el caso de pagos de subcontratas. A continuación, se explica los contenidos de cada uno de los planos anteriormente mencionados, a partir de una serie de situaciones hipotéticas sobre la ejecución del proyecto planteado al comienzo de este capítulo, como se explica a continuación:

- El EPCista solicita a la empresa encargada de realizar la estructura lo siguiente: un reporte de incidencias de la zona 2, el cual debe mostrar dos sets de tolerancias distintas en las mesas fotovoltaicas, con el fin de valorar el costo de solucionar la totalidad de incidencias identificadas, frente a la posibilidad de asumir el riesgo de garantía, y por lo tanto, enfocar las reparaciones únicamente en las incidencias más graves. De acuerdo con la situación, el **plano de incidencias de mesa** (Anexo 3) de la zona indicada debe contener la siguiente información:
 - 1 tabla manual que especifique los dos sets de tolerancias.
 - 1 plano con filtro de todas las incidencias de las mesa en el hincado (componentes diferenciados por color).
 - 1 tabla donde se muestran todas las incidencias identificadas.
 - 1 plano con filtro de las incidencias de mesa más graves en el hincado (componentes diferenciados por color)
 - 1 tabla donde se muestran las incidencias que sobrepasen las tolerancias ampliadas (cuantificación del error).
- En este caso, el EPCista requiere de un plano de incidencias de obra civil de la zona 2 (Z2), en donde se indique los sectores con presencia de rocas, y que por lo tanto, no se pudo realizar el proceso de hincado. Adicionalmente, el plano debe indicar las fechas en las que se realizó el reporte, así como las fechas en las que se soluciona estas incidencias. De acuerdo con la situación planteada, el **plano de incidencias de obra civil** en la zona correspondiente debe contener lo siguiente:

- 1 plano de la Z2 con todas las incidencias y etiquetas que muestren su respectivo código de incidencia.
 - 1 tabla que indique a partir del código de incidencia, los datos de fecha de inicio de incidencia, fecha de arreglo, responsable y demás datos asociados.
- Aclaración de pago de subcontrata: Durante la certificación, un subcontrata ha realizado un reclamo indicando que ha realizado un número diferente de nivelación de mesas en determinadas fechas de ejecución. Por lo tanto, para comprobar dicha información, se requiere de un plano en donde se indique con un esquema de colores, las mesas niveladas por esa empresa entre el rango de fechas que se va a certificar, adicionalmente, se necesita de una tabla que describa las incidencias de montaje identificadas en las mesas ejecutadas por la empresa que realiza el reclamo. De acuerdo con lo anterior, el plano para certificación de subcontratas cuenta con lo siguiente:
 - 1 plano con filtro de esquema de colores de mesas hechas por la empresa SubC2 (subcontrata 2) entre un determinado rango de fechas.
 - 1 tabla que cuantifique las mesas ejecutadas por día por esa subcontrata durante esas fechas.
 - 1 plano con zoom especificando esas mesas con un filtro que indique las incidencias de estructura.
 - 1 tabla que muestre el tipo de incidencias de estructura de esas mesas, según la nomenclatura establecida anteriormente.

De acuerdo con todo lo anterior, estos entregables con sus respectivas características se llevaron a cabo con el fin de obtener un resultado en cuanto al manejo de la información registrada, y como se pueden extraer para generar unos entregables con toda la información requerida y que se pueda entender, tanto cuantitativamente, mediante las tablas de cantidades, como visualmente, mediante los filtro de colores con sus respectivas convenciones para un mayor entendimiento de la información que se muestra. De esta manera, a través de la metodología BIM, su aplicación mediante la creación del modelo, colocación de parámetros, registros de información y extracción de las mismas, para conformar una planimetría acorde a requerimientos generales y específicos, según el caso de solicitud, se logra responder a todos los requerimientos del seguimiento y control de obras fotovoltaicas a escala de servicio público.

4.2 Comparación de los resultados con el seguimiento tradicional

Una vez desarrollada la metodología de seguimiento y control de proyectos fotovoltaicos a escala de servicio público propuesto en este TFM, con el fin de mejorar o responder a las dificultades que se pueden llegar a presentar en el seguimiento y control bajo mediante el uso de herramientas tradicionales que se utiliza actualmente en este tipo de obras. De acuerdo con lo anterior, a continuación se describen cada una de los aspectos que se deben tener en cuenta en la gestión y control de proyectos, así como las dificultades que se pueden llegar a presentar, y de qué manera cada metodología atiende a esos requerimientos.

En cuanto al registro y manejo de información de la ejecución de las mesas fotovoltaicas en la obra, como se pudo observar en algunas herramientas de la metodología tradicional, más específicamente, en las hojas de cálculo, la información de la mesa es representada por una casilla. Esto implica que en esa casilla se deben ingresar gran cantidad de variables, como avances de ejecución, incidencias de obra, entre otros, sin embargo, el uso de esta herramienta se centra principalmente en el ingreso de datos en números binarios de etapas de ejecución, debido a la limitación del ingreso de varios datos diferentes condensados en la casilla que indica la mesa, que aunque se pueda realizar, es complejo y poco práctico llevarlo a cabo, debido a que se requiere aplicar varias fórmulas, entre otros aspectos, lo que puede llegar a requerir en el proyecto a personal especializado en el tema, esto evita que el manejo general del programa para sea sencillo todos los actores. En contraste con la metodología propuesta por este TFM, el programa de modelado BIM mediante la familia de la mesa, se puede ingresar gran cantidad de información en las propiedades del modelo, lo que genera una gran ventaja el manejo integral de la información mediante una herramienta, como se muestra a continuación:

Metodología tradicional		Metodología propuesta
Hojas de cálculo	Programa de CAD	Programa BIM
Al indicar la mesa como una casilla, no se tiene en cuenta la localización de la mesa fotovoltaica.	Ubicación de mesas según diseño del proyecto.	Posición de la mesa geolocalizada, es decir, los puntos colocados del topógrafo, ya que como la mesa no es representada por una casilla, el modelo de la mesa y su respectiva ubicación dentro del plano del proyecto, permite identificar la localización exacta de la mesa con la visualización de todas sus partes.
Cuantifica algunos elementos de la mesa (hincas, paneles), sin embargo, la estructura se concibe como un solo elemento.	No se realiza cuantificación de elementos de la mesa.	Cuantifica cada uno de los elementos principales de la mesa fotovoltaica: hincas, patas, bastidores, correas y paneles.
No se maneja información específica en las casillas sobre grupos de trabajo.	No se maneja información específica en las casillas sobre grupos de trabajo.	Grupos de trabajo, es decir, cada mesa tiene un registro de la empresa subcontratada que se encarga de ejecutar cada etapa de la mesa fotovoltaica.
No se maneja información de fechas en cada mesa.	No se maneja información de fechas en cada mesa.	Etapas de ejecución indicando la fecha de ejecución en cada mesa fotovoltaica.
No se tiene registro de incidencias, tipo o cuantificación.	No se tiene registro de incidencias, tipo o cuantificación.	Incidencias de la mesa fotovoltaica, indicando el tipo de incidencia y la cuantificación del error.

Tabla 4. Tabla de comparación entre metodologías de seguimiento y control. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, en la metodología tradicional mediante el uso de esas dos herramientas, se puede observar una falta de manejo de algunos datos relevantes para el seguimiento y control de obra, por lo tanto, se requiere de otras herramientas para registrar la información, como se pudo observar en los informes de obra o los formatos de control de incidencias mediante herramientas de creación de documentos de texto. En cuanto a la metodología propuesta, al utilizar solo una herramienta como el programa de modelado BIM, en lugar de las casillas para ingresar la información, al modelar la mesa como una "familia" dentro del programa, se puede ingresar gran cantidad de información sobre la ejecución de las mesas fotovoltaicas, y a su vez, el programa permite tener mayor facilidad de administrar y gestionar todos los parámetros.

Adicionalmente, como se explicó durante el proceso de aplicación, otra ventaja que tiene la metodología BIM es la facilidad de manejar toda la información en un mismo archivo, así como la facilidad del manejo de la herramienta para cualquier usuario, caso contrario en las hojas de cálculo para organizar y registrar gran cantidad de información mediante fórmulas complejas. De igual manera se da en el caso de la extracción de datos, en donde el programa BIM permite, mediante filtros y tablas de planificación, discriminar la información que solicite el EPCista u otros actores.

En cuanto al registro de incidencias de obra civil, las herramientas tradicionales como informes de obra, solo registran la incidencia, pero no permiten ubicar, así como registrar las incidencias de obra civil, fechas de reporte y de resolución de manera integral. Estas dificultades son resueltas mediante el uso de nubes de revisión del plano del proyecto en el programa BIM, además de tablas que acompañan la incidencias con los otros datos mencionados.

De acuerdo con lo anterior, se pudo observar una gran mejora en el seguimiento y control de obras fotovoltaicas a gran escala, en cuanto a que la metodología propuesta, además de responder a los requerimientos de la metodología tradicional, también se enfoca en integrar y solucionar las dificultades que estas presentan. De esta manera, se cumple el objetivo principal de este TFM, al plantear una metodología que mejore las condiciones de gestión y control, específicamente en la ejecución de obras fotovoltaicas a gran escala.

4.3 Limitaciones

A partir del desarrollo general de este trabajo, se identificaron algunas limitaciones, tanto en la aplicación de la metodología propuesta, como una limitaciones definidas previamente con el fin de dar un alcance acorde al tiempo de desarrollo del TFM. Por lo tanto, entre las limitaciones identificadas y definidas en este TFM se encuentran las siguientes:

- El uso de otras herramientas como *Naviswork*, entre otras, para apoyo del manejo de la información en seguimiento y control de obras fotovoltaicas, fue una limitante fue propuesta durante el desarrollo del proyecto, ya que el propósito de este trabajo es el de mejorar una metodología actual de gestión y control, mediante la utilización de una única herramienta, y que esta herramienta a su vez, se pueda articular con algunas de las utilizadas en la metodología tradicional, como las hojas de cálculo, esto permite al momento de su implementación en la ejecución de una obra fotovoltaica la transición del manejo de herramientas y componente de cada metodología sea de manera gradual y cómoda para los actores.
- Factores que quedaron pendientes resolver y que quedan abiertos para futuras investigaciones, como la cuantificación del peso, la cuantificación de elementos individuales de cada mesa fotovoltaica. Estos factores, aunque no fueron relevantes para el desarrollo del trabajo, son elementos que a futuro pueden complementar y fortalecer el carácter integral que busca tener esta metodología, al integrar más datos en una misma herramienta.

Parte 5

Conclusiones

En el ámbito de la construcción, se ha visto un aumento en el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, principalmente a escala de servicio público, por lo tanto, los procesos que se llevan a cabo para ejecutar este tipo de obras requieren de una revisión, con el fin de identificar problemas y proponer soluciones frente a las dificultades encontradas. De esta manera, el presente TFM, identifica dentro de este sector, una dificultad en la gestión y control de obras fotovoltaicas a escala de servicio público, debido a la gran cantidad de información que maneja este tipo de proyectos y al uso de gran variedad de herramientas de seguimientos, el presente trabajo propuso establecer una nueva metodología de seguimiento y control de obras fotovoltaicas, a partir del uso de programas BIM. A partir del planteamiento y aplicación de esta metodología, se concluye lo siguiente:

- Se identifican una serie de dificultades en la gestión y control de obras fotovoltaicas, principalmente al uso de gran cantidad de herramientas que suplen cada necesidad en cuanto al ingreso de determinados datos, cuantitativos y cualitativos de ejecución de obra. Entre las herramientas identificadas se encuentran las hojas de cálculo que permite un registro de información en algunos aspectos cuantitativos, como la ejecución por etapas, por otro lado, los programas de CAD permite tener información referente al diseño y ubicación de las mesas fotovoltaicas. En cuanto al resto de la información, se maneja mediante informes de obra e informes de incidencias. De acuerdo con lo anterior, se determina la necesidad de tener una herramienta que integre las características de cada herramienta e incluso que pueda incorporar nuevos datos relevantes del seguimiento y control, para lo cual se propone la metodología BIM.
- Por medio de las dificultades identificadas en cada herramienta de control y gestión, se propone una metodología con base en los aspectos a mejorar, de manera que se describen unos factores de seguimientos y los parámetros para tener en cuenta en cada aspecto en la aplicación de la metodología. Esto permitió delimitar el alcance de la metodología y que además permitió proponer la vinculación de la metodología BIM con algunas herramientas de la metodología tradicional como las hojas de cálculo.
- En cuanto al ejercicio de aplicación de la metodología propuesta, a partir de un ejercicio hipotético, se realiza el modelado, parametrización e ingreso de datos de seguimiento y control de obra, cuyo resultado es un entregable de planimetrías con información completa, según cada factor de seguimiento. De esta manera, se obtuvo un ingreso y extracción de datos sobre avances de obra por etapas, manejo de grupos de trabajo para certificaciones, incidencias de obra con su respectiva cuantificación del error e incidencias de obra civil a partir de la metodología BIM, por consiguiente, se cumple el objetivo principal de este TFM de ofrecer una metodología de gestión que pueda articular las características de la metodología tradicional e integrarlo a un modelo cuyos elementos se encuentran geolocalizados, permite tener mayor facilidad en el manejo de la información, de manera que cualquier usuario pueda manejar la herramienta sin ningún inconveniente.
- A pesar de que el desarrollo de la metodología propuesta logró integrar una gran cantidad de datos, se identificaron algunas limitaciones en la parametrización y registro de algunos de ellos, por lo tanto, estos factores quedan pendientes para ser explorados por otras herramientas que puedan apoyar a la metodología propuesta, de esta manera, se puede plantear ampliar los factores seguimiento bajo esta metodología para futuras investigaciones.
- A partir de este trabajo, se pueden plantear, por ejemplo, variedad de metodologías en cuanto al manejo del programa para registrar la información, como puede ser el caso de metodologías de trabajo

colaborativo con otros técnicos de la misma obra, mediante la creación de subproyectos que se dividen por las zonas del proyecto, desde manera en cada subproyecto se puede trabajar simultáneamente varias zonas a la vez en caso que se tengan varios técnico, lo cual es muy probable para la escala de este tipo de proyecto fotovoltaicos. Los archivos se pueden vincular de tal manera que al realizar modificaciones, se actualizan automáticamente, por lo tanto, no existirían problemas en caso de que se trabaje en los subproyectos de manera simultánea. De esta manera, se demuestra la versatilidad que tiene la herramienta para plantear más facilidades en la metodología de seguimiento.

Referencias

- The 4 Types of Solar Projects*. (n.d.). SolarLandLease.com. Retrieved February 20, 2023, from <https://www.solarlandlease.com/different-types-solar-projects>
- Bloomberg NEF & International Solar Alliance ISA. (2021, Octubre 19). *Scaling Up Solar in ISA Member Countries*. 1, 75.
- Energy production and imports - Statistics Explained*. (2022). European Commission. Retrieved February 21, 2023, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports#Production_of_primary_energy_decreased_between_2010_and_2020
- Fox, S. (2010). *Balance of Solar PV Systems (BOS)*. Greentech Renewables. Retrieved October 22, 2022, from <https://www.greentechrenewables.com/article/balance-solar-pv-systems-bos>
- García Sierra, J. M. (2012, February 20). *Estructura típica de los proyectos renovables en Energías renovables y eficiencia energética - wiki EOI*. Estructura típica de los proyectos renovables en Energías renovables y eficiencia energética. Retrieved August 31, 2022, from https://www.eoi.es/wiki/index.php/Estructura_t%C3%ADpica_de_los_proyectos_renovables_en_Energ%C3%ADas_renovables_y_eficiencia_energ%C3%A9tica
- Heo, J. H., Hyounseok Moon, Soowon Chang, SangUk Han, & Dong-Eun Lee. (2021). *Case Study of Solar Photovoltaic Power-Plant Site Selection for Infrastructure Planning Using a BIM-GIS-Based Approach*. MDPI. Retrieved March 15, 2023, from <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/18/8785>
- Institute, P. M. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management (ENGLISH)* (P. M. Institute, Ed.). Project Management Institute.

- Lacambra, D. (2020, July 22). *UL Renovables - Riesgos durante la construcción de una planta fotovoltaica - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias*. Energías Renovables. Retrieved March 15, 2023, from <https://www.energias-renovables.com/ul-renovables/riesgos-durante-la-construccion-de-una-planta-20200720>
- Laoyan, S. (2022, October 12). *Cómo crear una lista de cotejo para la construcción • Asana*. Asana. Retrieved February 20, 2023, from <https://asana.com/es/resources/punch-list>
- Llonch, T. (2020, September 1). *Tipos de Estructuras para Paneles Fotovoltaicos por Toni Llonch – Atecyr*. ATECYR. Retrieved February 20, 2023, from <https://www.atecyr.org/blog/2020/09/01/tipos-de-estructuras-para-paneles-fotovoltaicos-por-toni-llonch/>
- Martín Chivelet, N., & Fernández Solla, I. (2007). *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones*. Ed. Reverté.
- Mulligan, S. (2019, May 4). *Defining solar markets for dummies: Residential, Commercial, and Utility Solar*. pvbuzz.com. Retrieved February 20, 2023, from <https://pvbuzz.com/solar-markets-for-dummies/>
- Our World in Data. (2017). *Global primary energy consumption by source*. Our World in Data. Retrieved February 20, 2023, from <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-consumption-source>
- Pérez Botía, F. (2019, December 4). *La importancia del seguimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas | Artículos y entrevistas*. Energética21. Retrieved February 20, 2023, from <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/la-importancia-del-seguimiento-de-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas>
- Photovoltaic system: Finally a BIM technology applied to solar PV modelling*. (2019, September 3). BibLus. Retrieved March 15, 2023, from

<https://biblus.accasoftware.com/en/photovoltaic-system-finally-a-bim-technology-applied-to-solar-pv-modelling/>

PricewaterhouseCoopers. (2017). *Utility scale solar PV projects* [This document aim to provide a strong base for delivering a solar PV facility from initiation to operation, for developers of all experience levels].

PROCORE. (n.d.). *Punch list de construcción | ¿Qué es una punch list de construcción?* Procore. Retrieved February 20, 2023, from <https://www.procore.com/es/articulo/punch-list-de-construccion>

SESLab & Tecnológico de Costa Rica. (n.d.). *1.1 Características de los proyectos*. SESLab. Retrieved February 20, 2023, from http://seslab.org/fotovoltaico/11_caractersticas_de_los_proyectos.html

Smil, V. (2017). *Global primary energy consumption by source*. Our World in Data. Retrieved August 30, 2022, from <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution>

Anexos

Etapas de Obra civil	
Puntos	
Hincado	
Nivelación	
Módulos	



AVANCE GENERAL DE HINCADO	
AV_Hincado	Count
20230424	18
20230425	15
20230426	18
20230427	17
20230428	18
20230501	17
20230502	16
20230503	15
20230504	19
20230505	18
20230508	17
20230509	16
20230510	18
20230511	17
20230512	17
20230515	17
20230516	18
20230517	17
20230518	17
20230519	16
20230522	16
20230523	17
20230524	19
20230525	20
20230526	18
20230529	19
20230530	20
20230531	17
20230601	17
20230602	16
20230605	20
20230606	16
20230607	13

AVANCE GENERAL DE HINCADO	
AV_Hincado	Count
20230608	13
20230609	3
20230612	6
20230613	13
20230614	14
20230615	14
20230616	12
20230619	13
20230620	15
20230621	21
20230626	18
20230627	17
20230628	17
20230629	17
20230630	17
20230703	17
20230704	6
20230731	17
20230801	17
20230802	16
20230803	18
20230804	16
20230807	34
20230808	34
20230809	33
20230810	38
20230811	48
20230814	50
20230815	45
20230816	34
20230817	34
20230818	33
20230821	34

AVANCE GENERAL DE HINCADO	
AV_Hincado	Count
20230822	33
20230823	17
20230824	17
20230825	17
20230828	18
20230829	34
20230830	34
20230831	32
20230901	34
20230904	34
20230905	34
20230906	33
20230907	34
20230908	16
20230911	16
20230912	17
20230913	17
20230914	17
20230915	18

Grand total: 1775

AVANCE GENERAL DE NIVELACION	
AV_Nivelacion	Count
20230601	14
20230602	15
20230603	27
20230605	29
20230606	29
20230607	30
20230608	28
20230609	30
20230612	29
20230613	30
20230614	31
20230615	28
20230616	30
20230619	15
20230620	13
20230621	2
20230622	9
20230623	10
20230626	11
20230627	13
20230628	13
20230629	14
20230704	14
20230705	7
20230706	13
20230707	14
20230710	13
20230711	12
20230712	15
20230713	11
20230714	19
20230717	29

AVANCE GENERAL DE NIVELACION	
AV_Nivelacion	Count
20230718	26
20230719	30
20230720	28
20230721	30
20230724	30
20230725	30
20230726	22
20230809	9
20230814	6
20230815	15
20230816	13
20230817	12
20230904	15
20230905	15
20230906	15
20230907	15
20230908	16
20230911	30
20230912	30
20230913	29
20230914	31
20230915	29

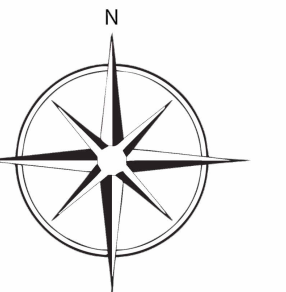
Grand total: 1073

AVANCE GENERAL DE MODULOS	
AV_Modulos	Count
20230619	7
20230620	8
20230621	8
20230622	8
20230623	6
20230626	8
20230627	8
20230628	8
20230629	7
20230630	4
20230703	14
20230704	14
20230705	15
20230706	16
20230707	8
20230710	16
20230711	15
20230712	15
20230713	15
20230714	9
20230717	16
20230718	17
20230719	15
20230720	15
20230721	8
20230724	14
20230725	14
20230726	13
20230727	13
20230728	8
20230731	15
20230801	14
20230802	13

AVANCE GENERAL DE MODULOS	
AV_Modulos	Count
20230803	14
20230804	8
20230807	16
20230808	16
20230809	16
20230810	15
20230811	9
20230814	17
20230815	12
20230816	14
20230817	15
20230818	8
20230821	16
20230822	14
20230823	15
20230824	8
20230825	4
20230828	9
20230829	8
20230830	13
20230831	12
20230901	9
20230904	12
20230905	11
20230906	12
20230907	12
20230908	9
20230911	12
20230912	12
20230913	12
20230914	13
20230915	8

Grand total: 765

Información principal	
Localización	
Área del proyecto	
Potencia de CC	
Relación CCA	
Tipo de panel	
Inclinación	
Intervio	
Módulo de inclinación	



Promotor:

Título del proyecto
PR Prototipo 50,1Mw

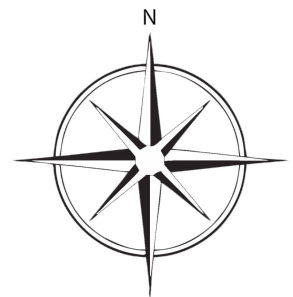
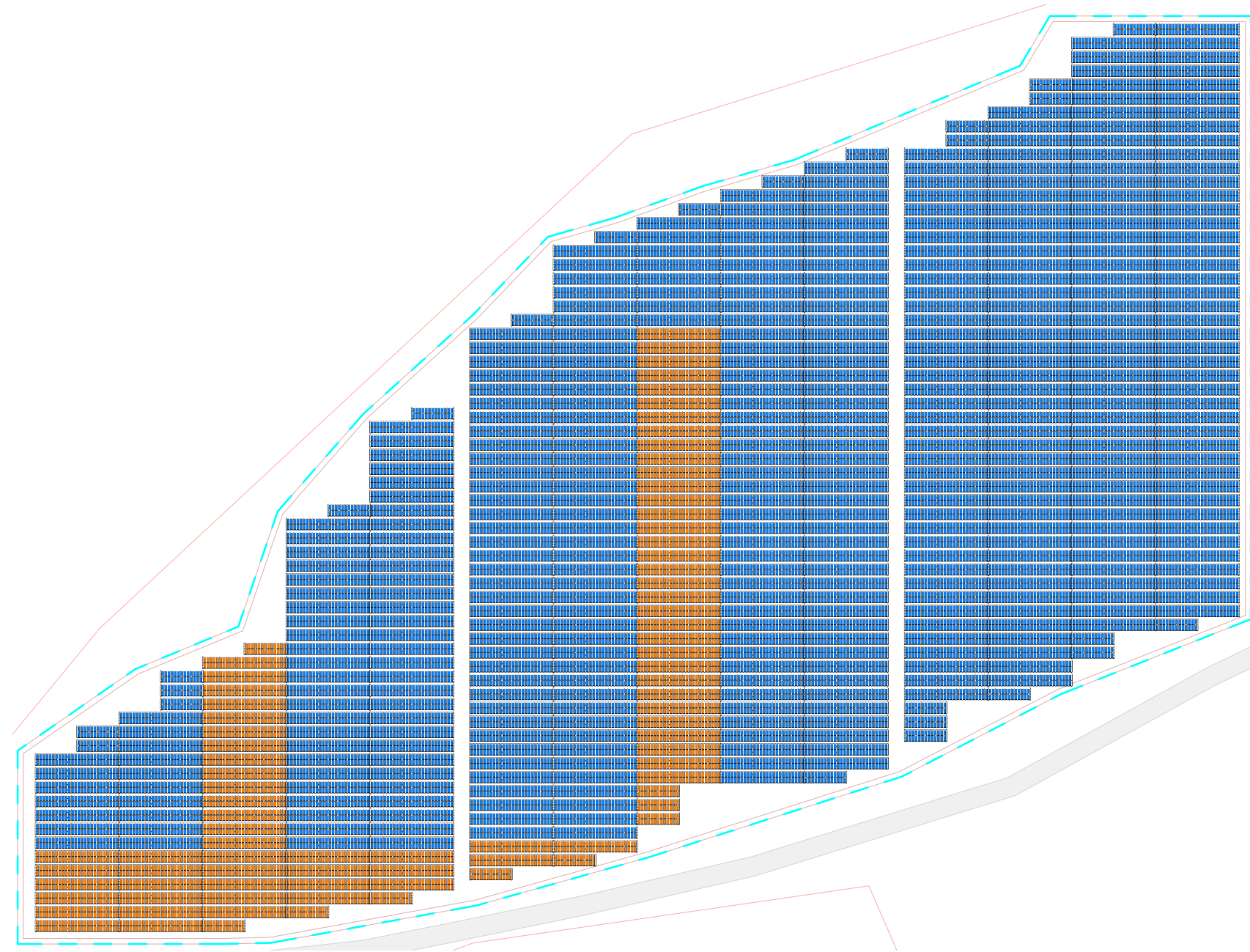
Notas:

Rev.	Modificaciones	Autor	Fecha	Aprobado por	Fecha

Designado: _____ Aprobado por: _____ Fecha: 03/07/23

Escala:	Formato:	Página:	Versión:
As indicated	A3	PL	

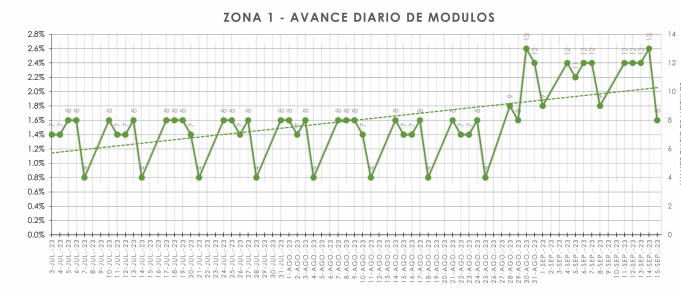
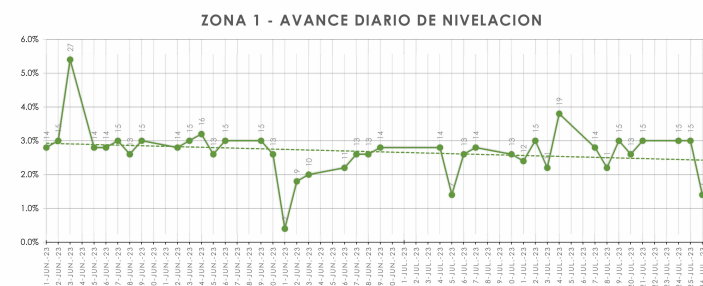
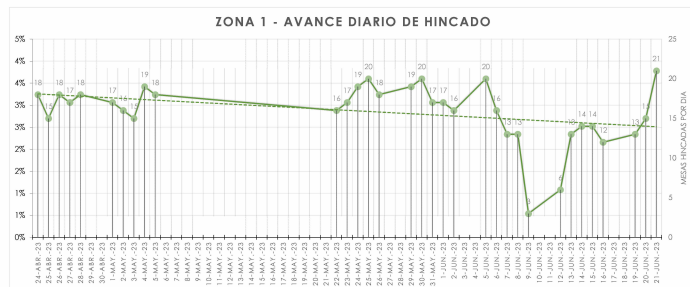
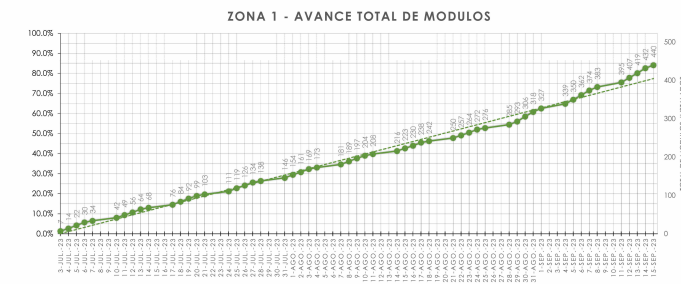
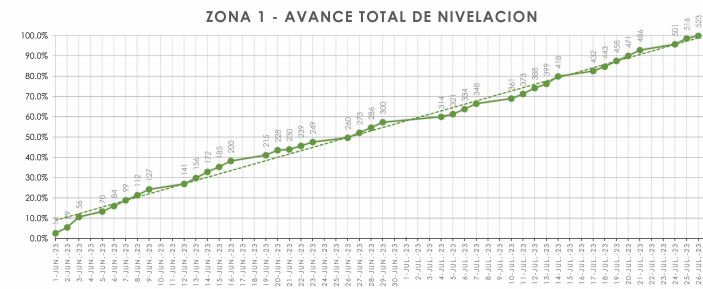
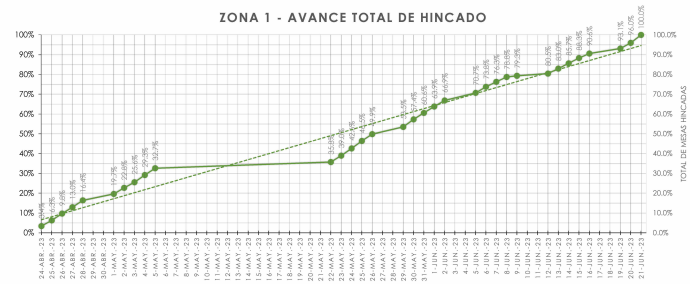
Etapas de Obra civil	
Puntos	
Hincado	
Nivelación	
Módulos	



Promotor:




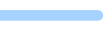






Título del proyecto
PR Prototipo 50,1Mw

Notas:



Rev.	Modificaciones:	Autor:	Fecha:	Aprobado por:	Fecha:

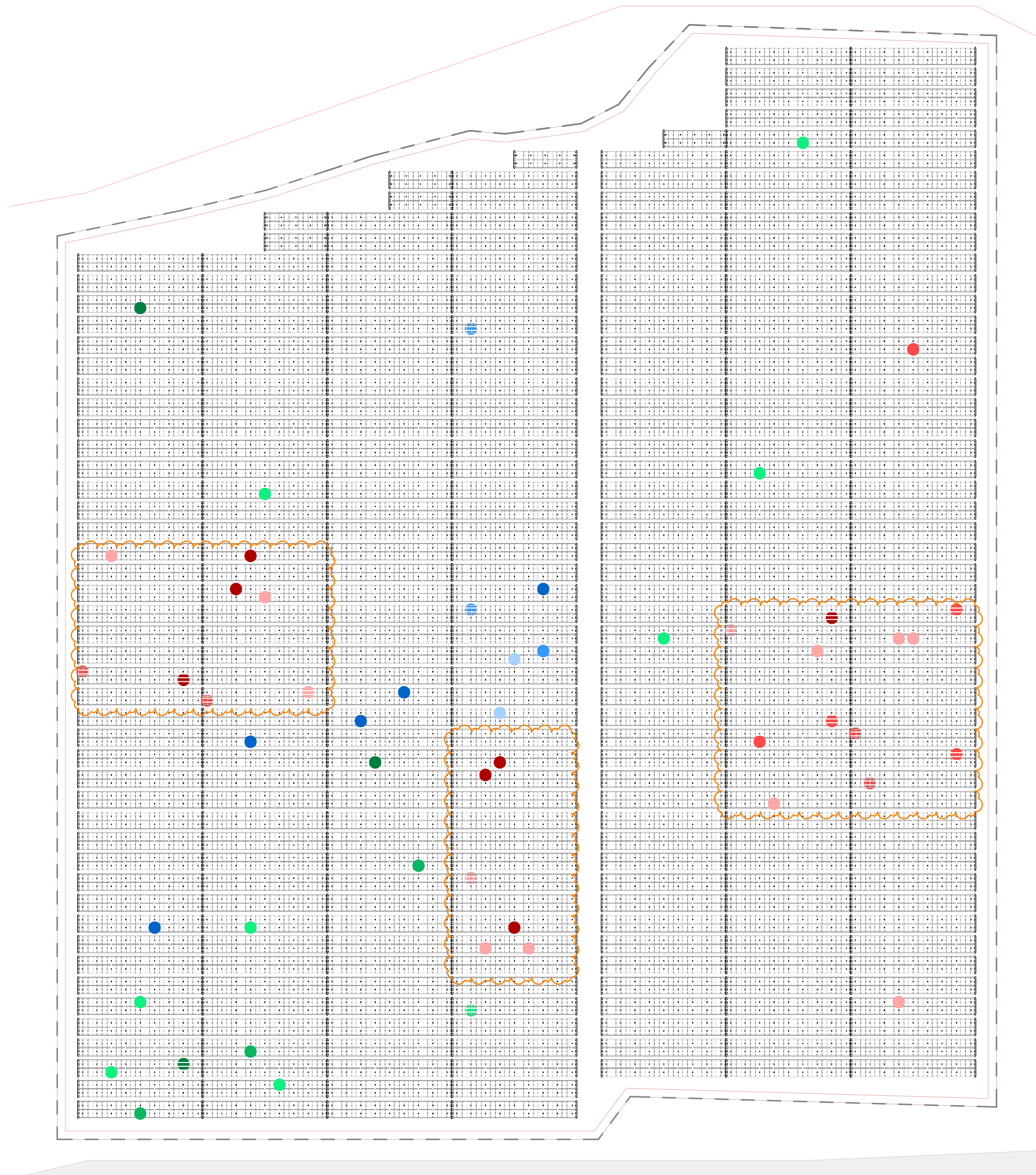
Designado:	Aprobado por:	Fecha:	
	Approver	03/07/23	
Escala:	Formato:	Página:	Versión:
As indicated	A3	PL_Z1	

Incidencias de Hincado			
Código	Rechazo de Hinca		
HR	Gravedad Baja	>5cm	
	Gravedad Media	>10cm	
	Gravedad Alta	>25cm	
Hinca Torcida			
HT	Gravedad Baja	>3°	
	Gravedad Media	>5°	
	Gravedad Alta	>13°	
Hinca Revirada			
HV	Gravedad Baja	>8°	
	Gravedad Media	>10°	
	Gravedad Alta	>13°	
Zona de Rechazos			

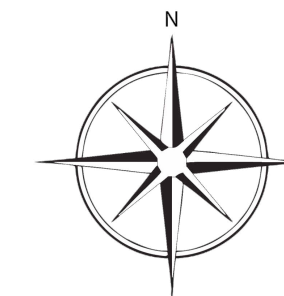
HR_Gravedad Baja	
Zona 2	HR_60
Zona 2	HR_60
Zona 2	HR_90
Zona 2	HR_90
Zona 2	HR_90
Zona 2	HR_100
Zona 2	HR_100
Zona 2	HR_100
Zona 2: 8	
HR_Gravedad Media	
Zona 2	HR_110
Zona 2	HR_120
Zona 2	HR_150
Zona 2	HR_150
Zona 2	HR_180
Zona 2	HR_180
Zona 2	HR_200
Zona 2	HR_200
Zona 2	HR_200
Zona 2	HR_250
Zona 2	HR_250
Zona 2	HR_300
Zona 2	HR_310
Zona 2	HR_350
Zona 2	HR_400
Zona 2	HR_400
Zona 2: 16	
HR_Gravedad Alta	
Zona 2	HR_310
Zona 2	HR_400
Zona 2	HR_300
Zona 2	HR_400
Zona 2	HR_350
Zona 2: 5	

HV_Gravedad Baja	
Zona 2	HV_8 HT_3
Zona 2	HV_8 HT_5
Zona 2	HV_9
Zona 2	HV_9
Zona 2	HV_9 HT_4
Zona 2	HV_10
Zona 2	HV_10
Zona 2: 7	
HV_Gravedad Media	
Zona 2	HV_12
Zona 2	HV_13
Zona 2	HV_15
Zona 2: 3	
HV_Gravedad Alta	
Zona 2	HV_18
Zona 2	HV_19
Zona 2	HV_20
Zona 2: 3	

HT_Gravedad Baja	
Zona 2	HT_5
Zona 2	HT_5
Zona 2: 2	
HT_Gravedad Media	
Zona 2	HT_8
Zona 2	HT_8
Zona 2	HT_10
Zona 2	HT_13
Zona 2: 4	
HT_Gravedad Alta	
Zona 2	HT_15
Zona 2	HT_15
Zona 2	HT_15
Zona 2	HT_18
Zona 2: 4	



Información principal	
Localización	
Área del proyecto	
Potencia de CC	
Potencia de CA	
Relación CC/CA	
Tipo de panel	
Inclinación	
Interrow	
Módulo de inclinación	



Promotor:

Título del proyecto

PR Prototipo 50,1Mw

Notas:

Rev.	Modificaciones:	Autor:	Fecha:	Aprobado por:	Fecha:

Designado:	Aprobado por:	Fecha:	
	Approver	03/07/23	
Escala:	Formato:	Página:	Versión:
1 : 1000	A3	PI_Z2	

**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030**

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	X			
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

***Utilice tantas páginas como sea necesario.