

MEMORIA DESCRIPTIVA

Autor : Jose Manuel Jaranay Rosa

Tutora : María del Carmen Morón Romero



1. Objeto	4
2. Alcance	4
3. Antecedentes	4
3.1. Energía eléctrica procedente de renovables en Andalucía	5
3.2. Energía fotovoltaica	8
3.3. Climatología de Sevilla	9
3.4. Instalación fotovoltaica conectada a red.	9
3.4.1 Elementos de la instalación	10
3.4.1.1 Generador fotovoltaico	10
3.4.1.2 Inversor	11
3.4.1.3 Equipos de medida y conexión a red	11
3.4.1.4 Estructura soporte	11
3.4.1.5 Zapata de hormigón	11
3.4.1.6 Protecciones	12
3.4.1.7 Producción óptima	12
3.4.1.8 Esquema instalación	12
4. Normas y referencias	13
4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	13
4.2. Normativa propia de la Comunidad Autónoma de Andalucía	15
4.3. Normas UNE	16
4.4. Bibliografía	16
5. Definiciones	17
5.1. MPT (Max Power Tracker) o MPPT (Maximun Power Point Tracker)	17
5.2. Rendimiento europeo	17
5.3. Diodos de protección	17
6. Requisitos de diseño	17
7. Análisis y soluciones	18
7.1. Distribución en planta y potencia de pico	18
7.2. Inversores y transformador	20

8. Resultados finales	21
8.1. Paneles y estructuras soportes	21
8.2. Inversores y transformador	21
8.3. Protecciones AC y CC y contador bidireccional	23
8.4. Cableado y canalización	24
8.5. Mantenimiento de la instalación	27
9. Planificación	27
9.1. Construcción de zapatas	28
9.2. Instalación de dispositivos y cajas	29
9.3. Montajes de estructuras soportes	29
9.4. Instalación línea AC	29
9.5. Instalación de módulos fotovoltaicos	29
9.6. Instalación línea CC	29
9.7. Instalación puesta de tierra	29
9.8. Pruebas de funcionamiento	30



1. Objeto

El objeto del presente proyecto es el diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red en la Escuela Politécnica Superior (EPS) y determinar su viabilidad económica mediante la adaptación de los sistemas de ayudas pertinentes.

Se persigue el ahorro económico energético del centro y demostrar que la posibilidad de diversificación de la procedencia de la energía eléctrica consumida es una realidad.

La energía producida será consumida inmediatamente para así ahorrar costes y sólo abonar la diferencia entre lo consumido y lo producido. No se persigue la excedencia de producción de energía para su venta, aunque si en algún momento en concreto existiera ésta se vertería directamente a la red.

2. Alcance

El alcance del proyecto es el diseño, criterio de selección de componentes, descripción constructiva, cálculo y estudio de viabilidad económica para la instalación fotovoltaica.

Formará parte del proyecto la instalación completa de los módulos fotovoltaicos, así como elementos comunes a éstos, la correspondiente adecuación de la instalación para poder solicitar las ayudas existentes en el momento de elaboración del proyecto y finalmente la puesta en marcha de la instalación, así como la simulación de la instalación en un programa de uso profesional.

3. Antecedentes

La modernización de nuestra sociedad, el crecimiento demográfico y una serie de factores conlleva al aumento de demanda energética. El consumo global de petróleo aumentó un 1.4% (1.4 millones de barriles) en 2013, aunque en los países de la OECD disminuyó. Si bien es cierto que la producción de barriles de crudo se ha incrementado en los últimos años (BP Statistical review of world energy 2014).

Este incremento en la demanda nos hace plantearnos una diversificación de las fuentes de energía agotables (petróleo, carbón,...) hacia otras renovables.

En Andalucía el consumo de energía primaria procedente del petróleo y gas natural ha disminuido en los últimos años, la procedente del carbón ha sufrido un incremento y la procedentes de fuentes renovables se ha duplicado. (Ver tabla 1).

Memoria descriptiva

Fuente\Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carbón	1.750,6	2.175,6	1.727,6	2.038,9	2.642,0	2.197,2
Gas natural	6.524,90	5.601,00	5.638,0	5.602,5	4.862,5	4.118,20
Petróleo	9.982,50	9.193,50	9.044,30	8.756,0	7.967,0	7.630,5
Renovables	1.606,50	1.813,80	2.384,70	2.661,3	3.296,1	3.356,8

Tabla 1. Unidades: Ktep. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

3.1. Energía eléctrica procedente de renovables en Andalucía

Según el “Informe de Infraestructuras Energéticas de Andalucía” con fecha de actualización a 30 de septiembre de 2014:

“Andalucía, a fecha del presente informe, cuenta con un parque de generación eléctrica muy diversificado. La potencia total, de 15.767 MW, está distribuida en un 38 % en ciclos combinados de gas, 39 % energías renovables, 13 % térmicas de carbón, un 6 % de cogeneración y residuos y un 4 % de centrales de bombeo. En cuanto a las energías renovables desde finales de 2006 (inicio del Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética PASENER), la potencia instalada se ha multiplicado por más de cuatro, siendo lo más significativo el crecimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas de alta temperatura, así como de los parques eólicos. Aparece además de forma incipiente el autoconsumo, ya existente en el sistema en forma de cogeneración, como una nueva opción de generación eléctrica con renovables.”

Datos generales potencia eléctrica renovable (30/09/2014)

	Andalucía	España	% Andalucía
Consumo energía primaria (ktep) ^{*)}	17.566,2	121.117,2	14,5 %
Consumo energía final (ktep) ^{*)}	11.792,1	85.436,6	13,8 %
Consumo eléctrico final (ktep)	2.802,1	19.952,0	14,0 %
Consumo primario gas natural (ktep) ^{*)}	4.118,2	26.077,2	15,8 %
Consumo primario energía renovable (ktep)	3.356,9	17.209,5	19,5 %
Consumo transporte (ktep)	4.224,3	26.490,1 ^{*)}	-
Consumo industria (ktep) ^{*)}	3.584,0	33.394,0 ^{*)}	-
Consumo otros sectores (ktep)	3.983,8	29.087,1 ^{*)}	-
Potencia eléctrica instalada (MW)	15.795,1	108.265,0	14,6 %
Potencia eléctrica no renovable (MW)	9.689,0	57.422,0	16,9 %
Potencia eléctrica renovable (MW)	6.106,1	50.843,0	12,0 %
Energía eléctrica generada (producción bruta) (GWh)	36.304,1	297.477,0 ^{*)}	-
Energía eléctrica renovable generada (producción bruta) (GWh)	14.063,5	86.962,0 ^{*)}	-
% Potencia eléctrica renovable frente a la total	38,7 %	47,0 %	82,3 %

Tabla 2. (*) Incluye usos no energéticos.

Memoria descriptiva

A continuación se desglosa la situación actual andaluza de las tecnologías renovables para generación de electricidad que supone a 30/09/2014 una potencia eléctrica renovable instalada de 6.108,86 MW.

- Las plantas de generación de biogás están proliferando en Andalucía en los últimos años, fundamentalmente para aprovechamiento del gas de vertedero y producción de biogás por digestión anaerobia de lodos de depuradoras de aguas residuales. Generalmente estas últimas comienzan generando energía para su autoconsumo en la propia depuradora. En total existen en Andalucía 17 instalaciones de producción de biogás con una potencia total de 29,82 MW, de los que 23,63 MW están conectados a red y 6,19 MW utilizan el biogás generado para autoconsumo.

- Andalucía, con 18 instalaciones que suman 257,48 MW, lidera en España el sector de la generación de energía eléctrica con biomasa, gracias al importante potencial que nos aporta el cultivo de olivar y sus industrias asociadas. En los últimos años ha crecido de forma muy importante la energía generada a partir de cultivos energéticos, especialmente eucalipto. En agosto de 2012, ENCE puso en funcionamiento una nueva planta de generación de electricidad con biomasa en San Juan del Puerto, Huelva, con 50 MW de potencia instalada. Esta puesta en funcionamiento supuso la superación de las previsiones PASENER a 2013 para esta tecnología, que se fijaban en la consecución de 256 MW.

- El crecimiento eólico andaluz ha experimentado un importante incremento en los últimos años. En concreto, en el período de principio de 2007 a final de 2012, el de mayor crecimiento, supuso multiplicar por 5 la potencia instalada. A 30/06/2014, esta región cuenta con una potencia total en funcionamiento de 3.323,78 MW (en ésta se incluye la potencia de parques eólicos 3.323,55 MW y la potencia minieólica aislada, que asciende a 0,23 MW).

- La energía hidroeléctrica no presenta un desarrollo tan importante como el resto de energías renovables en esta región. El clima seco de la región hace que la demanda de agua para abastecimiento de la población, regadíos y usos agrarios sea prioritaria frente a su utilización para usos energéticos. La mayor parte del potencial de este sector es debido a la rehabilitación y renovación de instalaciones ya existentes (normalmente muy antiguas) y aprovechamiento de presas aún sin explotar energéticamente. Aun así, Andalucía cuenta con 89 centrales en funcionamiento con un total de 617,39 MW; de éstas, 0,2 MW corresponden a una instalación aislada de la red.

- Andalucía es la comunidad autónoma donde se instaló la primera planta termosolar eléctrica a nivel comercial, consistente en una planta de tipo torre con heliostatos. A 30/06/2014, Andalucía cuenta ya con veintidós centrales termosolares en funcionamiento, tanto de tecnología de torre como de tecnología de colectores cilindro parabólicos, y con dos instalaciones experimentales de discos Stirling para investigación. Esto ha originado que

Memoria descriptiva

Andalucía sea la comunidad autónoma que cuenta con mayor potencia instalada, 997,40 MW actualmente. Esto ha permitido que Andalucía haya superado la previsión PASENER a 2013 fijada para esta tecnología en 800 MW.

- En los últimos años se han estado llevando a cabo instalaciones fotovoltaicas conectadas a red en tejados de edificios, integradas en los núcleos urbanos, tanto en edificios públicos como privados, favoreciendo de esta forma la difusión de esta tecnología limpia de generación eléctrica distribuida. También han proliferado, de manera muy destacada, los denominados huertos fotovoltaicos, es decir, pequeñas centrales fotovoltaicas de 2 MW a 10 MW de potencia. Además, en esta región se utilizan frecuentemente los sistemas fotovoltaicos aislados para la electrificación rural de viviendas, bombes de agua, etc. Andalucía dispone de una notable potencia fotovoltaica conectada a red con 874,89 MW en funcionamiento y 8,10 MW en sistemas aislados.

- Desde la publicación del Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, que regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia y refleja la posibilidad de conexión de una instalación generadora a la red interior de un consumo, cualquier consumidor puede generar electricidad para su propio consumo, utilizando, por ejemplo, pequeñas instalaciones de energía solar fotovoltaica, mini-aerogeneradores eólicos o pequeñas centrales de cogeneración.

En la tabla 3 se muestra el desglose de las fuentes de procedencia de la energía eléctrica renovable (MW).

Tecnología	Andalucía
Biogás Generación Eléctrica (*)	29,82
Biomasa Generación Eléctrica	257,48
Eólica (*)	3.323,78
Fotovoltaica (*)	882,99
Hidroeléctrica (*)	617,39
Termosolar	997,40
Total	6.108,86

(*) Conectada a red + aislada.

Tabla 3. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

Evolución anual potencia eléctrica renovable en Andalucía (MW)

Andalucía	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Biogás Generación Eléctrica (*)	171,88	178,43	19,83	23,50	26,27	26,27	27,69
Biomasa Generación Eléctrica			189,40	210,40	206,98	256,98	257,48
Eólica (*)	1.283,95	1.888,99	2.807,80	3.008,96	3.054,96	3.250,66	3.323,78
Fotovoltaica (*)	64,13	663,28	665,91	732,20	783,39	840,13	882,37
Hidroeléctrica (*)	602,23	602,23	605,03	617,32	617,32	617,28	617,39
Termosolar	11,03	61,03	131,11	330,91	697,80	947,50	997,40
Total	2.133,22	3.393,96	4.419,07	4.923,29	5.386,72	5.938,82	6.106,60

(*) Conectada a red + aislada.

Tabla 4. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

El sector energético andaluz (especialmente el fotovoltaico) ha apostado y desarrollado en Andalucía instalaciones para autoconsumo y ya dispone de 30 instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo. Esto también ha sido posible gracias al empuje que la administración autonómica lleva a cabo para el avance de estas instalaciones, que son tramitadas a través de una herramienta de gestión de pequeñas instalaciones (hasta 100 kW de potencia) a la que pueden acceder directamente las empresas y usuarios de estas instalaciones para legalizarlas vía telemática (herramienta PUES), haciendo el procedimiento administrativo de forma rápida y sencilla.

3.2. Energía fotovoltaica

La radiación solar es la intensidad de luz recibida y se mide en Watios·horas/m²·día (Wh/ m²día). Esta radiación es aprovechada para ser transformada en energía eléctrica mediante la tecnología adecuada.

Las ventajas principales de esta fuente de energía son la menor dependencia de los combustibles fósiles, que es renovable y ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de que se han eliminado las primas a la producción de energía eléctrica mediante instalaciones fotovoltaicas, aún se dispone de una serie de subvenciones autonómicas que promueven el uso de este tipo de energía.

Además, la evolución de precios de la electricidad a nivel europeo para consumidores domésticos e industriales publicadas por “Eurostat” muestra que España es uno de los países con el precio del kWh más elevado de Europa. Ésto unido a que la industria solar en EE UU está creciendo a un ritmo sin precedentes, haciendo las instalaciones fotovoltaicas cada vez más asequibles y accesibles que nunca hace aún más interesante el uso de la energía fotovoltaica.

3.3. Climatología de Sevilla

La provincia española de Sevilla dispone de muchas horas de sol al año, 3400 horas anuales en 2012 (INE. Boletín Mensual de Estadística. Octubre 2014) horas anuales, y por tanto, es una región más que idónea para instalar módulos solares y aprovechar esta fuente de energía.

Irradiancia Global media [1983-2005] ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$) figura 1.

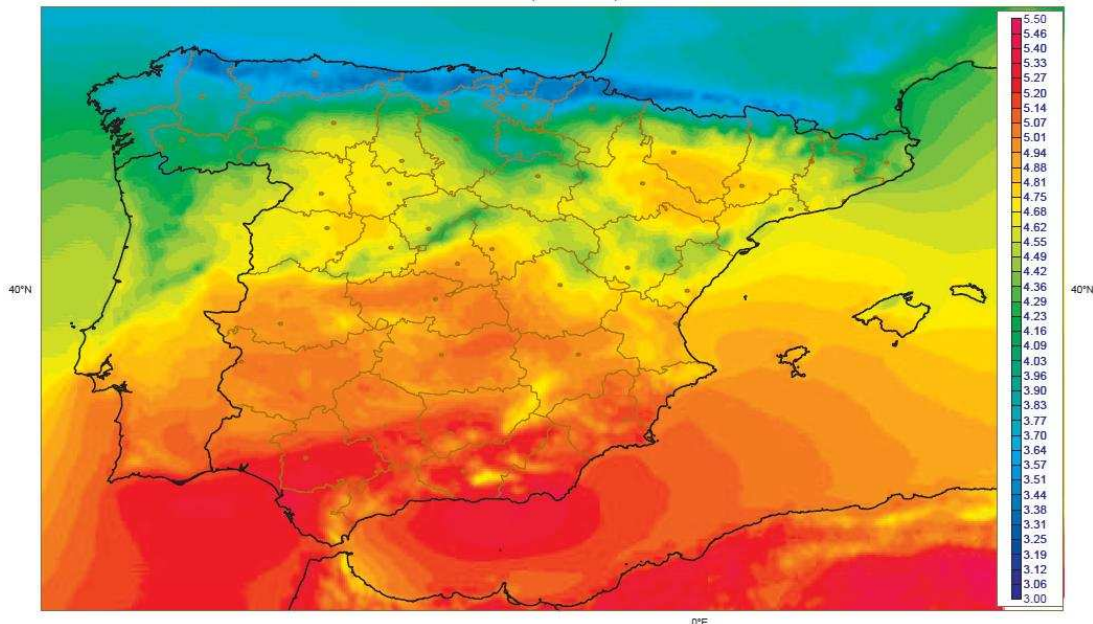


Figura 1. Fuente: Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT

3.4. Instalación fotovoltaica conectada a red.

Una instalación fotovoltaica conectada a red se caracteriza, principalmente, porque la energía generada no tiene que responder a una demanda concreta.

El objetivo principal es generar la mayor cantidad posible de energía, adaptada al espacio físico disponible y al coste de la inversión que se quiere realizar.

Esta energía generada se utilizará para el consumo propio directamente. En caso de que hubiera excedente de energía se podría verter a la red. En nuestro caso aun en el caso más favorable (agosto, mes de menor consumo eléctrico) no habrá excedente de energía, sólo en días concretos

3.4.1 Elementos de la instalación

3.4.1.1 Generador fotovoltaico

Está formado por los módulos fotovoltaicos, agrupados según:

- En serie: formando una cadena, rama o “string”.
- En cadenas (o ramas o “string”) en paralelo: formando el generador o bien una matriz o “array”, como un número determinado de “strings” en paralelo.

Para agrupar el cableado procedente de los módulos se utiliza la Caja de Conexiones del Generador (CCG) o string control. Consiste en la interconexión de todos los cables que vienen de cada una de las ramas para formar una única línea de corriente continua perteneciente a un grupo de ramas en paralelo. Esa línea sería el circuito principal de corriente continua que se conecta con el inversor. En nuestro caso no se dispone de ramas en paralelo, si de ramas en serie que irán directamente a cada una de las entradas del inversor correspondiente.

String control – dispositivo para hacer la interconexión que detecta si alguna de las ramas queda desconectada por algún accidente, enviando un aviso a un centro de control.

Los módulos fotovoltaicos son los elementos principales de la instalación. Se trata de un panel que contiene varias células fotovoltaicas en serie o paralelo para conseguir los valores de intensidad y tensión requeridos y generan electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas. El número de células varía según el módulo.

El módulo es el contenedor que encapsula estas células para protegerlas de posibles impactos físicos, dotarlas de cierta rigidez estructural protegiendo el conexionado y protegerlas de agentes químicos como la lluvia y el polvo. El módulo también aporta aislamiento eléctrico y debe garantizar que las células no sufran una grave degradación en su funcionamiento durante al menos 20 años.

La corriente eléctrica que genera el módulo fotovoltaico es proporcional a la radiación solar que incide sobre el panel e inversamente proporcional a la temperatura del módulo.

El silicio es el material más utilizado para las placas, con una eficiencia alrededor del 15%. Se puede encontrar en el mercado módulos de silicio monocristalino y policristalino.

Los módulos de silicio monocristalino son teóricamente más eficientes, al menos en condiciones ambientales adecuadas, es decir a 25° C y radiación



Memoria descriptiva

directa, sin embargo estas condiciones rara vez o por poco tiempo se dan. Además al ser más oscuros absorben más calor y su eficiencia desciende algo más en comparación con los policristalinos.

El cristal policristalino es más barato en su fabricación y en condiciones más desfavorables puede llegar a ser más eficiente que el monocristalino.

La corriente de salida en el módulo fotovoltaico es en corriente continua (CC) por ello necesitamos un dispositivo que la convierta a corriente alterna (CA) mediante un conversor (inversor).

3.4.1.2 Inversor

Es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna para adaptar el sistema a las características requeridas de salida (frecuencia y tensión).

La colocación de los inversores ha de ser lo más próxima posible a los módulos fotovoltaicos para minimizar las pérdidas en el cableado y ahorrar en longitudes de cable de gran sección, como son las líneas principales de corriente continua.

Algunos inversores disponen de un transformador que proporciona una separación galvánica entre la instalación fotovoltaica y la red para proteger esta última en caso de defectos en la electricidad producida.

3.4.1.3 Equipos de medida y conexión a red

Es necesaria la colocación de un interruptor automático que corte el suministro en caso de que se pierda el sincronismo con la tensión o frecuencia de la red y también de un interruptor general de maniobra ubicado de forma que la empresa distribuidora pueda acceder a él.

3.4.1.4 Estructura soporte

La estructura soporta los módulos para que éstos soporten la acción del viento en todas las direcciones y de la nieve. También se encarga de orientar el módulo con la inclinación y orientación deseada para optimizar el aprovechamiento de la luz solar.

3.4.1.5 Zapata de hormigón

En este caso la estructura soporte va anclada a la zapata de hormigón que dependiendo de la fuerza del viento que deba soportar será de mayor o menor volumen. Se ajusta al viento de la zona para optimizar pesos y costes.

3.4.1.6 Protecciones

La instalación fotovoltaica debe tener un mínimo de seguridad respecto a posibles fallos eléctricos, como sobretensiones, cortocircuitos, etc. y por ello se instalan protecciones. En primer lugar fusibles para proteger la instalación de sobreintensidades y en segundo lugar, magnetotérmicos que protegen de sobreintensidades y sobretensiones. Ambos sirven para proteger el cableado y los dispositivos de la instalación. Los interruptores diferenciales y la línea de tierra sirven para proteger a las personas en caso de que se produzca alguna derivación.

3.4.1.7 Producción óptima

Es imprescindible determinar la orientación e inclinación óptima del módulo para minimizar las pérdidas. Para ello es necesario conocer latitud y longitud, localidad, altitud, pendiente media del emplazamiento y temperatura media anual. También es necesario conocer las pérdidas por sombras producidas en los módulos debidas a obstáculos que puedan provocarlas.

3.4.1.8 Esquema instalación

La instalación fotovoltaica conectada a red se basa en un consumo instantáneo de la electricidad producida y un aporte de ésta a la red eléctrica únicamente en caso de producir en exceso.

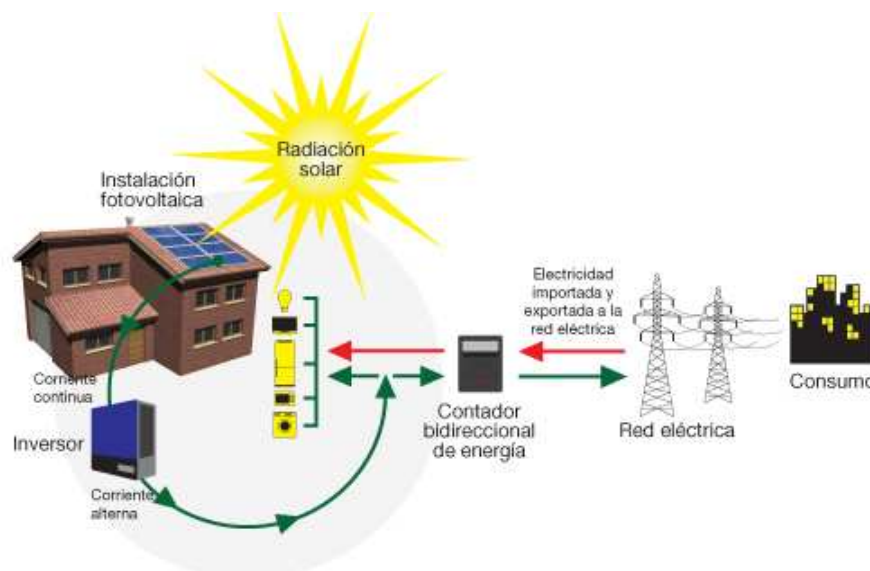


Figura 2. (Fuente sud.es)

4. Normas y referencias

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- Ley 54/1997, del sector eléctrico establece la liberación del mercado eléctrico e impulsa el desarrollo de las energías renovables.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para Baja Tensión.
- Real Decreto 1435/2002, de 27 de diciembre, por el que se regulan las condiciones básicas de los contratos de adquisición de energía y de acceso a las redes en baja tensión.
- Real Decreto 1454/2005, de 2 de diciembre, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
 - Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Ley 17/2007, de 4 de julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.



Memoria descriptiva

- Real Decreto 1003/2010, de 5 de agosto, por el que se regula la liquidación de la prima equivalente a las instalaciones de producción de energía eléctrica de tecnología fotovoltaica en régimen especial.
- Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.
- Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.
- Real Decreto-Ley 13/2012 Modifica la Ley 54/1997 del sector eléctrico, por el que establece que no se considerarán productores de energía eléctrica si producen energía para sí mismo y consumen energía en la misma ubicación.
- Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero. Anula las primas para la energía fotovoltaicas.
- Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.



Memoria descriptiva

- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red Julio 2011 del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

4.2. Normativa propia de la Comunidad Autónoma de Andalucía

- Resolución de 1 de diciembre de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas por la que se aprueba el modelo de memoria técnica de diseño de instalaciones eléctricas de baja tensión.

- Instrucción de 21 de enero de 2004, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

- Instrucción de 12 de mayo de 2006, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, complementaria de la Instrucción de 21 enero de 2004. Sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

- Orden de 26 de marzo de 2007, por la que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas.

- LEY 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía.

- Decreto 50/2008, de 19 de febrero, por el que se regulan los procedimientos administrativos referidos a las instalaciones de energía solar fotovoltaica emplazadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

- ORDEN de 4 de febrero de 2009, por la que se establecen las bases reguladoras de un programa de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía y se efectúa su convocatoria para los años 2009-2014.

ORDEN de 7 de diciembre de 2010, por la que se modifica la de 4 de febrero de 2009.

- Decreto 9/2011, de 18 de enero, modificación del Decreto 50/2008, de 19 de febrero, por el que se regulan los procedimientos administrativos referidos a las instalaciones de energía solar fotovoltaica emplazadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía.



4.3. Normas UNE

- Norma UNE-EN 62466: Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema. El resto de normas técnicas se encuentran en el Pliego de Condiciones.

4.4. Bibliografía

Méndez Muñiz, Javier María y Cuervo García, Rafael. Energía Solar Fotovoltaica. 3ª Edición. Madrid. Fundación Confemetal, 2009. ISBN-13: 978-84-96743-45-8.

Narciso Moreno, Alfonso y García Díaz, Lorena. Instalaciones de Energía Fotovoltaica (adaptado al Código Técnico de la Edificación). 1ª Edición, Madrid, Ibergaceta Publicaciones,S.L., 2010 , 196 p, ISBN :978-84-9281-226-4.

Agencia Andaluza de la Energía, Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo. Datos energéticos de Andalucía 2012. www.agenciaandaluzadelaenergia.es

Agencia Andaluza de la Energía, Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo. Informe de infraestructuras energéticas Andalucía. Actualización: 30 de septiembre de 2014. www.agenciaandaluzadelaenergia.es

Unión Española Fotovoltaica (UNEF). La energía fotovoltaica conquista el mercado, informe anual 2014. unef.es

<http://www.juntadeandalucia.es/eboja.html>

<http://boe.es/>

<http://noticias.juridicas.com/>

5. Definiciones

5.1. MPT (Max Power Tracker) o MPPT (Maximun Power Point Tracker): Es un sistema electrónico que determina en tiempo real el punto de máxima eficiencia energética. Con este dato, el inversor puede regularse, adaptándose para que la salida sea lo más eficiente posible.

5.2. Rendimiento europeo: identifica el rendimiento real del inversor: El rendimiento europeo (η EU) se calcula con la siguiente fórmula (valor de índice= porcentaje de la potencia nominal de salida):

$$\eta_{EU} = 0,03 \eta_{5\%} + 0,06 \eta_{10\%} + 0,13 \eta_{20\%} + 0,1 \eta_{30\%} + 0,48 \eta_{50\%} + 0,2 \eta_{100\%}.$$

El rendimiento europeo, al incluir variables como el cambio de irradiación solar, las limitaciones de diseño y otras condiciones ambientales, puede considerarse un indicador fiable del rendimiento real del inversor en condiciones de funcionamiento reales. A diferencia de otros métodos, no asume condiciones fijas de funcionamiento en cualquier situación. Por ello, se considera el mejor método para valorar el rendimiento del inversor.

5.3. Diodos de protección: Los diodos son sistemas electrónicos que permiten el flujo de corriente en una única dirección y en los sistemas fotovoltaicos se presentan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass.

6. Requisitos de diseño

La superficie donde se realiza la instalación fotovoltaica es en la azotea de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla (EPS).

La Escuela tiene un consumo eléctrico muy superior a la potencia fotovoltaica que se puede instalar en la azotea por ello interesa usar un modelo de placas solares que produzcan gran cantidad de vatios (ver tabla 5).

Consumo de la EPS periodo septiembre 2013 agosto 2014	
Mes	kWh
Septiembre	63309
Octubre	64742
Noviembre	54489
Diciembre	46587
Enero	52109
Febrero	48838
Marzo	52590
Abril	49362
Mayo	53044
Junio	57561
Julio	47054
Agosto	27124

Tabla 5. Fuente: Oficina de Mantenimiento Universidad de Sevilla

7. Análisis y soluciones

Todos los elementos que se han tenido en cuenta cumplen las normativas de seguridad, requisitos técnicos y certificados de conformidad y CE exigidos para la realización de este proyecto.

7.1. Distribución en planta y potencia de pico

Una correcta distribución en planta de los módulos fotovoltaicos conlleva a una mayor potencia de pico en la misma superficie, por ello hay que analizar las posibilidades que ofrecen las diferentes marcas de módulos y estructuras soportes.

Para la elección del modelo de módulo fotovoltaico se ha examinado un gran número de éstos, monocristalinos y policristalinos de diferentes marcas como Trinasolar, Atersa, Yingli, Panasonic, Suntech, Kyocera y otras. Existe una relación entre el tamaño, la potencia y precio del módulo: cuanto más grande es el módulo, mejor relación de potencia y precio por metro cuadrado tendrá. Por ello interesarán los modelos de mayor potencia de cada marca si fuera el objetivo una menor inversión inicial. En cambio, no se han encontrado importantes diferencias entre módulos policristalinos y monocristalinos; esto es debido a que el rendimiento es realmente parecido, siendo mínimamente superior en los monocristalinos, por el contrario, la eficiencia de los mismos es inferior cuando se calientan, así que se prioriza el precio para la elección entre monocristalino y policristalino.

La estructura soporte debe sujetar los módulos a treinta grados de inclinación, tal y como se analiza y explica en la Memoria de Cálculo. Además los módulos son de gran tamaño, que como se explica anteriormente, son más económicos. Primero se debe decidir si es necesario soportes de dos ejes, un eje o fijos. La diferencia entre estos tres tipos es el rendimiento que se consigue, cuanto más ejes tenga, mejor podrá hacer el seguimiento al sol, no obstante mayor es el precio inicial y el de mantenimiento.

Los soportes con uno o dos ejes (figura 3) tienen un coste muy superior comparado con los fijos, por ello se colocan gran cantidad de módulos en un solo soporte a una altura considerable por la necesidad de girar, necesitando mayor espacio entre soportes a la vez que un terreno adecuado que pueda soportar el peso, además supondría un impacto visual exterior.

Los soportes fijos tienen un coste muy inferior en comparación con los que contienen ejes, a causa de que no necesitan motor ni software de seguimiento del sol, así como tampoco engranajes complejos ni mantenimiento y su montaje es rápido y económico. Dentro de los posibles soportes fijos hay una gran gama, entre las cuales es interesante poder repartir el peso por la superficie de la azotea y que sean de fácil montaje.



Figura 3. Meca Solar MS-2E Tracker. Soporte con 2 ejes.

Analizando distintas combinaciones de módulos y soportes se llega a las siguientes soluciones:

- Soportes de doble eje con módulos monocristalinos pequeños. Dicha combinación tiene un coste superior a las otras, con el fin de conseguir mayor eficiencia. La elección del cristal monocristalino se debe al mejor rendimiento cuando está orientado al sol y en este caso es más conveniente al disponer de una estructura soporte de doble eje que sigue al sol.
- Soportes fijos con módulos policristalinos pequeños. Es una opción más económica y de un mantenimiento menor que la anterior. Al ser módulos pequeños, puede distribuirse mayor cantidad por la superficie, repartiendo el peso de la instalación de manera más homogénea; también es la opción con mayor potencia pico instalada. Se eligen módulos policristalinos por ser más económicos y por ofrecer mejor rendimiento en condiciones de nubosidad, en el alba y ocaso.
- Soportes fijos con módulos monocristalinos grandes, de gran potencia. De esta manera se consigue una inversión menor que en las anteriores, con una potencia pico un poco menor que instalando módulos fotovoltaicos pequeños y un mantenimiento similar. Se han elegido módulos monocristalinos por los mismos motivos que en la opción anterior.

Memoria descriptiva

Analizando nuestra instalación en la aplicación PVGIS obtenemos que con un sistema de un eje se consigue un rendimiento 28% superior y con uno de dos ejes de un 41,71%, ambos respecto a una estructura fija. En la Memoria de Cálculo se justifica detalladamente la elección de la estructura soporte fija.



Figura 4. Soporte fijo tipo Garra Antivandálicos, catálogo Hispania Solar.

7.2. Inversores y transformador

Existe un gran mercado de inversores y para la potencia que se instalará es necesario un transformador trifásico. Las marcas que se estudian han sido varias, entre las que destacan SolarMax, Effekta, Piko, Aros, Fronius y Riello. Existe la posibilidad de un solo inversor potente con transformador incorporado; otra posibilidad sería tener varios inversores sin transformador conectados después a uno, de esta manera se cumple la separación galvánica que exige el Real Decreto 1699/2011.

La opción elegida es:

- Varios inversores (3 unidades) conectados a un transformador. Se ha elegido el inversor que más se adecua a la potencia nominal de nuestro generador (54000 W).



Figura 5. Inversor Effekta KS Series

8. Resultados finales

8.1. Paneles y estructuras soportes

La solución que se adopta es instalar los módulos fotovoltaicos de gran tamaño y potencia con estructuras fijas. Se toma esta decisión por ser la alternativa más económica en relación €/Wp, además de necesitar un mantenimiento mínimo. Aunque el peso de la instalación no está tan distribuido como en el caso de placas solares de menor tamaño, no aumenta significativamente el peso por metro cuadrado en la azotea.

Entre las posibles gamas se elige el modelo A300M GSE de Atersa, por ser muy económico, incluir diodos de protección dentro de la caja de conexiones y disponer de un sistema de montaje cómodo y fácil y se elige a su vez las estructuras soportes de esta misma empresa, las cuales son el modelo tipo V (ver figura 6).



Figura 6. Soporte tipo V Atersa

La estructura soporte deberá soportar 350 Kg, siendo diseñada para soportar las inclemencias meteorológicas. Los materiales empleados serán de acero galvanizado en caliente (normas UNE 37-501 y UNE 37-508), cumpliendo con los espesores mínimos exigibles según la norma UNE EN ISO 1461. Satisfaciendo la Norma MV-106, la tornillería utilizada será de acero inoxidable o galvanizado.

Algunas de las características del módulo A300M GSE se muestran en la tabla 6, para más datos ver anexos:

Características módulo Atersa A300M GSE	
Potencia (0/+5W)	300W
Eficiencia	15,41%
Dimensiones (mm \pm 2 mm)	1955x995x50
Peso	27,3 kg
Tipo de célula	Monocristalina 156x156 mm

Tabla 6. Algunas características del módulo fotovoltaico A300M GSE.

Los diodos de bypass protegen de manera individual a cada panel fotovoltaico de posibles daños ocasionados por sombras parciales, se utilizan en módulos conectados en serie.

Las celdas sombreadas, al no generar corriente, funcionan como resistencias; gracias al diodo bypass se evita que consuman energía y además reduce el riesgo de que se sobrecalienten y puedan llegar a quemarse.

Los diodos de bloqueo evitan el sentido de corriente inverso en módulos conectados en serie cuando no están generando corriente, de esta manera no consumen energía.

También sirve para evitar la corriente inversa que se produciría si una serie de módulos tuviera menos tensión que otra conectada en paralelo.

La distribución en planta se dispone de tal manera que se instalan 180 módulos solares produciendo un total de 54 kW de potencia pico. Para más información véase Plano de Distribución en planta.

Se colocan dos zapatas de hormigón por estructura, de manera que en una misma zapata estén anclados dos de los apoyos de las estructuras soportes y se toma la decisión de que estos sean los apoyos laterales, es decir, la zapata está en dirección norte-sur, uniendo los apoyos que están al norte con los del sur. Esto se muestra en la figura 7.



Figura 7. Soporte fijo con zapata

Los módulos se colocan en dirección sur con una inclinación de 30° respecto al plano horizontal para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, tal y como se explica en la Memoria de Cálculo. Las placas se distribuyen en 9 ramas compuestas por 20 módulos en serie, cada rama conectada a una entrada del inversor, se tiene en cuenta la distancia entre cada fila y la sombra que pueda proyectar el pretil. Como se puede observar en el Plano de Distribución en planta, se deja una distancia mayor entre la fila cuarta y quinta, para dejar espacio libre delante de la puerta de acceso a la azotea.

8.2. Inversores y transformador

La alternativa de un transformador y distintos inversores es la solución adoptada para la instalación fotovoltaica.

Al constar de varios inversores independientes, existen menores probabilidades de que un fallo en uno de ellos perjudique al total de la instalación de la misma manera que lo haría el conjunto inversor con transformador. El reemplazo o reparación de un solo componente sería más simple y asequible que la otra opción; esto es, la eficacia de la instalación no se vería comprometida, únicamente perdiendo parte del rendimiento.

La instalación consta de 3 inversores trifásicos de Effekta modelo KS Series 17000 y un transformador Polylux TTZ-63. Estos componentes han sido seleccionados por ser más económicos y por disponer de una protección IP65, pudiendo estar todos los dispositivos a la intemperie sin necesidad de instalar un armario estanco.

El modelo de inversor KS Series 17000 puede dar hasta una potencia de salida de 17000W.

Dispone de tres tracker MPP, permitiendo 2 ramas por tracker, que mejoran la eficiencia hallando el punto de máxima potencia. Por las características del inversor cada uno transformará la potencia de 60 módulos, es decir 18000 W de potencia máxima. La potencia de pico es mayor porque realmente nunca se



Memoria descriptiva

llega a producir esta potencia, debido a distintas pérdidas, tal y como se calcula y explica en la Memoria de Cálculo, con lo cual es razonable instalar inversores que den menor potencia.

Los inversores de Effekta elegidos tienen varios sistemas de protección incorporados. Disponen de protecciones ante sobretensiones en la entrada de corriente continua. Para garantizar que la corriente de salida cumple los requisitos de calidad de la red, llevan incorporados un vigilante de frecuencia y tensión que provocaría la desconexión del inversor si la calidad no fuese la adecuada. También se desconectaría si no hubiese corriente desde la red, para no provocar lo que se denomina “efecto isla”; esto sucede cuando se sigue generando electricidad una vez se ha cortado la corriente desde la red eléctrica.

La distribución de las placas solares por cada inversor será exactamente igual. Se dispondrá de 20 módulos por cada tracker, de manera que se distribuyen en 9 ramas de 20 módulos en serie, cada rama conectada a un tracker.

El transformador de aislamiento de Polylux modelo TTZ-63 es un transformador trifásico de 63000 W. La localización de los inversores y el transformador es junto al pretil frente a la puerta de acceso a la azotea, donde existe más cantidad de sombra. Los inversores se ubicarán lo más cercano a cada tres ramas que les corresponden y el transformador cercano al inversor central para reducir la longitud total del cableado en CC.

8.3. Protecciones AC y CC y contador bidireccional

Se instalarán protecciones tanto en las líneas de corriente continua como en las de corriente alterna. Para las líneas de corriente continua se instalará un fusible de 10A en un portafusible de la marca Moeller, que será capaz de proteger ante sobreintensidades los dos polos de cada ramal de 20 módulos solares. Además se instalará un seccionador cableado en caja de la misma empresa, el modelo SOL-20. De esta manera se podrá cortar la corriente en un conexionado de un inversor si se necesitara realizar operaciones de mantenimiento o servicio. Los portafusibles se instalarán en cajas envolventes IDE tipo 67TC09 con 9 módulos raíl DIN, como cada portafusible ocupa dos raíles DIN, se instalarán los 3 portafusibles que dan a un mismo inversor en cada caja. Las cajas IDE y los seccionadores en cajas se colocarán sujetos al pretil, en la misma zona que los inversores y el transformador.

En la corriente AC, entre el transformador trifásico y el punto de conexión con la red del centro, se colocará una caja IDE tipo 67TC09 con 9 módulos raíl DIN en el centro de transformación, en la que se montará un interruptor diferencial que cortará la corriente si hay una fuga superior a 300 mA y un interruptor magnetotérmico de 4 polos de Schneider curva B, los dos preparados para soportar intensidades de hasta 100A. Además debe haber un interruptor al que sólo debe tener acceso el personal de Endesa, de manera que pueda aislar toda la instalación fotovoltaica. Se instalará, en la caja donde no podrá acceder

Memoria descriptiva

el personal de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla, otro interruptor magnetotérmico pero con curva C. Esto se debe a que un magnetotérmico con curva B interrumpe el circuito más rápido que un magnetotérmico con curva C, de manera que si se produjese la interrupción no hiciese falta avisar a Endesa para que enviara a su personal a conectar de nuevo el interruptor.

La incorporación de un interruptor diferencial no protege completamente a las personas de la corriente eléctrica, aún podría haber fugas de hasta 300 mA. Por este motivo es necesario instalar una línea de tierra que estará conectada a todos los elementos de la instalación, es decir, se conectan los módulos, las estructuras soportes, los inversores y el transformador mediante un cable de cobre a unas picas también de cobre clavadas a la tierra del jardín de la Escuela Politécnica de Sevilla.

La empresa distribuidora modificará la configuración del contador de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla a bidireccional.

8.4. Cableado y canalización

El resumen se observa en la tabla 7, las secciones de los conductores se calculan en la Memoria de Cálculo.

Resumen cableado de la instalación		
Tipo de cable	Sección	Tramo
Cable x2 cc de cobre	4 mm ²	Módulos solares - Seccionador SOL
Cables x2 de cobre	4 mm ²	Línea de tierra
Cable x2 cc de cobre	4 mm ²	Seccionador SOL - Inversor
Cable x3 trifásico de cobre	6 mm ²	Inversor - Transformador
Cable x4 trifásico de cobre	50 mm ²	Transformador - Embarrado del centro de transformación

Tabla 7. Resumen del cableado de la instalación fotovoltaica

Al cable de corriente continua para las instalaciones fotovoltaica se le suele llamar cable solar. Se instalará el modelo Topsolar PV ZZ-F, como se ve en la Figura 8. Tiene características para soportar a la intemperie mayor tiempo, garantizando al menos 30 años y al ir junto a las placas solares este cable debe aguantar temperaturas más altas.



Figura 8. Cable Topsolar PV ZZ-F

Los cables para la corriente alterna son trifásicos sin neutro. Se instalarán los modelos Xtrem H07RN-F de 3 y 4 polos.

Los cables deben ir protegidos en tubos de PVC conforme el Reglamento de Baja Tensión y serán del diámetro adecuado para cada tipo de conductor. En la tabla 8 se muestra el tipo de canalización, el diámetro del tubo y el tramo que debe ir.

Canaletas de los conductores				
Tipo de canaleta			Diámetro exterior	Tramo
Tubo rígido	PVC	blindado	16 mm	Módulos-Inversor y línea de tierra
Tubo rígido	PVC	blindado	20 mm	Inversor- Transformador
Tubo flexible	blinda	flex de PVC no propagador de llamas	50 mm	Transformador- Embarrado del centro de transformación

Tabla 8. Canaletas de los conductores.

Los tubos rígidos blindados de PVC protegerán los cables de la instalación fotovoltaica hasta el transformador y están especialmente diseñados para la protección de los cables en superficie.

El tubo BLINDAFLEX, tiene la característica principal, aparte de que se puede colocar a la intemperie, de que está protegido contra los rayos ultravioleta, por lo cual es normalmente usado en los parques solares.



Figura 9. Tubo Blindaflex

8.5. Mantenimiento de la instalación

El mantenimiento de la instalación será mínimo y se limitará a comprobar visualmente los componentes de ésta y la limpieza de los módulos fotovoltaicos en caso de encontrarse muy sucios. Los módulos se pueden lavar con agua mezclada con un detergente no abrasivo, sin usar en ningún caso mangueras de agua a presión.

La observación de la potencia generada es de por sí una buena forma de observar si hay algún fallo en la instalación, pues en este caso la producción eléctrica decaería de forma significativa.

9. Planificación

Para la planificación del objeto del presente proyecto, que se explica a continuación, se seguirán criterios con el propósito de optimizar el plazo de ejecución, garantizar la seguridad de los trabajadores y de la propia instalación.

Se debe tener en cuenta que dependiendo del personal contratado, las inclemencias del tiempo y otros factores, los tiempos de ejecución variarán, por esto se procede a una estimación suponiendo 5 trabajadores cualificados para cada actividad.

En el siguiente Diagrama de Gantt se muestran las actividades a realizar representadas por letras, cuándo empiezan y cuándo deben acabar, después se explica detalladamente cómo se debe realizar cada tarea.

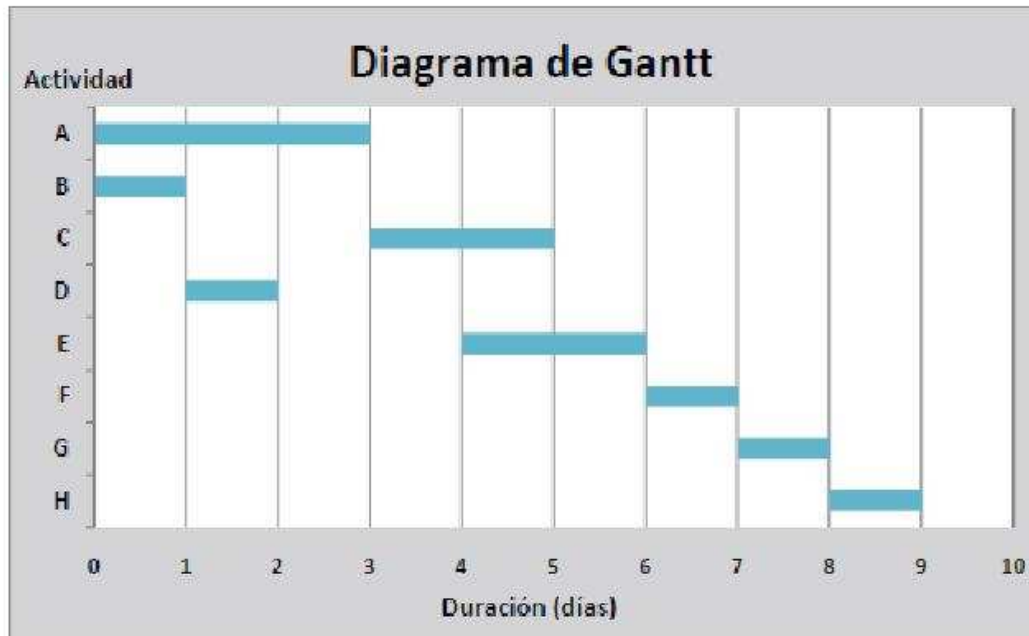


Figura10. Diagrama de Gantt

Cada letra representa la actividad que se muestra en tabla 9, su día de inicio y los días estimados de duración. La jornada diaria de trabajo será de 8 horas:

		Precedencia	Inicio	Duración
A	Construcción de las zapatas	-	0	3
B	Instalación dispositivos y cajas	-	0	1
C	Montaje de estructuras soporte	A	3	2
D	Instalación de línea eléctrica AC	B	1	1
E	Instalación de módulos fotovoltaicos	D,C	4	2
F	Instalación de línea eléctrica CC	E	6	1
G	Instalación puesta a tierra	F	7	1
H	Pruebas de funcionamiento	G	8	1

Tabla 9 . Datos de duración de actividades

9.1. Construcción de zapatas

La actividad consiste en la fabricación de las zapatas donde irán ancladas las estructuras soportes. Se construirán 180 zapatas de 2 metros de longitud, 40 centímetros de ancho y 20 centímetros de alto y armadas con varillas de 10 milímetros de diámetro.

Para la construcción de la zapata se tendrá especial atención a la posición exacta en la azotea. Se deberán adoptar soluciones para evitar el estancamiento de agua en las zapatas, así como tener en cuenta las juntas de dilatación.

Se construirá una zapata para el transformador de 20 centímetros de alto, y 100 x 100 centímetros de anchura y longitud.

9.2. Instalación de dispositivos y cajas

Se instalarán los 3 inversores de Effekta , 3 cajas IDE con 3 portafusibles cada una, los 9 seccionadores en caja Sol en la azotea; como muestra el Plano de Distribución en planta se instalarán el cuadro con los interruptores magnetotérmicos de curva B y el diferencial de Schneider en la sala de acometidas, y el segundo interruptor magnetotérmico de curva C se dejará preparado para cuando llegase el personal de Endesa para que lo instale en la caja correspondiente.

Se colocarán anclado en el pretil, los siguientes dispositivos en el orden indicado a continuación de izquierda a derecha, si el instalador está frente al pretil: caja de protección con 6 portafusibles, 3 seccionadores en caja Sol, un inversor Effekta y repetir este orden dos veces más.

9.3. Montajes de estructuras soportes

Las estructuras soportes se montan sobre las zapatas y se quedarán preparadas para el montaje de los módulos fotovoltaicos.

Se anclarán los 4 apoyos de cada estructura tipo V a las zapatas de manera que queden exactamente a 30 grados respecto a la horizontal.

También se colocará el transformador en la zapata habilitada para éste.

9.4. Instalación línea AC

Se colocará la línea de corriente alterna desde los inversores al transformador, y desde éste a la sala de acometidas, donde se conectará a las protecciones, quedando aún por conectarlo al interruptor magnetotérmico de Endesa y la modificación del contador a bidireccional. Todavía la línea seguiría sin corriente.

9.5. Instalación de módulos fotovoltaicos

Se procede a instalar los paneles solares a las estructuras soportes aún sin conectarse entre ellos. Durante la instalación de los paneles solares se cubrirán con un material opaco para reducir riesgos de electrocución.

9.6. Instalación línea CC

Se colocará la línea de corriente continua, primero conectando los paneles en series de 20 a cada fusible, después se conectará a un seccionador en caja tipo Sol, y la salida de este al conexionado del tracker de un inversor.



9.7. Instalación puesta de tierra

Se proceden a clavar las picas de cobre en el jardín de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla (EPS) a una distancia suficiente para que la resistencia de la línea no supere 80Ω y a conectar todos los dispositivos a la línea de tierra. Se tienen en cuenta las picas ya existentes.

9.8. Pruebas de funcionamiento

Una vez ya esté conectada la línea de AC al interruptor magnetotérmico de Endesa, y después a la red de la EPS, se procede a configurar los inversores. Después se quitará el material que cubre los módulos solares para que estos comiencen a generar electricidad y se harán las pruebas pertinentes para comprobar que la instalación funciona adecuadamente.