

Generación de Series de Datos para Simulación de Centrales Termosolares Basadas en Datos Medidos

D. E. Mora
R. X. Valenzuela
L. Ramírez
J. Polo



Generación de Series
de Datos para Simulación
de Centrales Termosolares
Basadas en Datos Medidos

D. E. Mora

R. X. Valenzuela

L. Ramírez

J. Polo

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesauro del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://www.060.es>

Depósito Legal: M -26385-2011

ISSN: 1135 - 9420

NIPO: 721-14-007-2

Editorial CIEMAT

CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

S14

SOLAR RADIATION; SOLAR THERMAL POWER PLANTS; SIMULATION;
POWER GENERATION; MEASURING INSTRUMENTS; SPAIN; SYSTEMS ANALYSIS

Generación de Series de Datos para Simulación de Centrales Termosolares Basadas en Datos Medidos

Mora, D. E.; Valenzuela, R. X.; Ramírez, L.; Polo, J.

64 pp. 11 ref. 30 figs. 44 tablas

Resumen:

Trata del estudio de nueva normatividad de impacto para las centrales termosolares que pretendan ser realizadas en un futuro.

En este documento se analiza cada uno de los puntos de la norma "PROCEDIMIENTO DE GENERACIÓN DE AÑO SOLAR REPRESENTATIVO" que se espera sea aprobada en un corto periodo de tiempo. El objetivo principal de esta norma es establecer una serie de datos de irradiación solar denominados Años Solares Representativos (ASR), que son datos horarios durante un año completo que caracterizan el lugar donde se pretende instalar la planta. Para esto se plantea la posibilidad de generar los ASR a través de dos métodos, el primero utilizando estimaciones de radiación solar y el segundo empleando datos medidos de radiación solar en el emplazamiento. El segundo caso es el que se abordará en este documento.

Siguiendo la metodología establecida en la norma para la generación de ASR, a través de datos medidos, se desarrolla cada uno de los puntos que permiten obtener como resultado final una estimación de la energía producida por la central. En primer lugar se calcula un Valor Mensual Representativo (VMR) de irradiación solar que servirá de base para la generación del ASR. A continuación se tomarán las series de datos medidos que deben superar los procesos de calidad y validación. El siguiente paso es realizar una adaptación entre los VMR y las series medidas por medio de un cambio de días, siguiendo las instrucciones de la norma. Como resultado final de este proceso se obtienen los ASR respectivos que para efectos de este estudio serán introducidos en un programa de simulación que permite calcular la energía producida por una central termosolar. De esta manera se analiza y se compara la energía producida por la planta con datos reales y con datos ASR obtenidos.

Data Series Generation for CPS Plants Simulation from Measurement Data

Mora, D. E.; Valenzuela, R. X.; Ramírez, L.; Polo, J.

64 pp. 11 ref. 30 figs. 44 tables

Abstract:

This project studies the impact of new regulations for solar thermal power plants purporting to be made in the future. In this document we analyze each of the points of the standard "PROCEDURE FOR GENERATING A REPRESENTATIVE SOLAR YEAR" is expected to be approved in a short period of time. The main purpose of this standard is to establish a series of solar radiation data called Representative Solar Year (RSY), which are hourly data for a full year that characterize the site where the plant will be installed. For this there is the possibility of generating the RSY by two methods, the first is to use estimates of solar radiation and the second use solar radiation data measured at the site. The second case is the one that will be addressed in the following pages.

According to the methodology set out in the rule for generating RSY, through measured data, develops each of the points which can obtain the final result an estimate of the energy produced by the plant. First we calculate a Monthly Reference Values (MRV) of solar radiation as a basis for generating the RSY. The following is taken measured data sets must overcome quality and validation processes. The next step is to make an accommodation between the MRV and sets measured by a change of days, following the directions of the standard. The end result of this process we obtain the respective RSY that for purposes of this study will be entered into a simulation program that calculates the energy produced by a solar thermal plant. In this way we analyze and compare the energy produced by the plant with real data and RSY data obtained.-

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	3
2.1	Tipos de radiación Solar [1]	3
2.2	INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR: PRINCIPALES TIPOS Y CARACTERÍSTICAS [2] [3].....	3
2.3	FUENTES DE DATOS UTILIZADOS	6
2.3.1	ACCESO A DATOS DE RADIACIÓN SOLAR DE ESPAÑA - ADRASE [4]	6
2.3.2	SOLAR RADIATION DATA – SoDA [5].....	6
2.3.3	NASA SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY (SSE 6.0) [6]	7
2.3.4	PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM – PVGIS [7]..	8
2.3.5	ESTACIONES AGROCLIMATICAS DE MEDIDA	8
3	GENERACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA (ASR) A PARTIR DE DATOS MEDIDOS	12
3.1	CONTROL DE CALIDAD	12
3.2	VALIDACIÓN	13
3.3	ESTUDIO DEL VALOR REPRESENTATIVO A LARGO PLAZO (VARIAS FUENTES)	14
3.3.1	Descripción de la norma	14
3.3.2	Determinación del valor mensual representativo y su desviación estándar	15
3.3.3	Análisis de resultados.	19
3.4	GENERACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA.....	22
3.4.1	Descripción de la norma	22
3.4.2	Descripción de los datos utilizados.....	23
3.4.3	Programa desarrollado para obtener el ASR.....	23
3.4.4	Elaboración de diferentes ASR.....	25
3.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
4	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA	40
4.1	SAM: CONFIGURACIÓN CENTRAL TERMOSOLAR CILINDRO PARABÓLICO TIPO40	
4.2	RESUMEN DE LAS SERIES UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN.....	44
4.3	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	45
A.	NAVARRA. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER).....	45
B.	SORIA. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)	48
C.	SEVILLA. Planta termosolar	50
D.	ALMERÍA. Plataforma Solar de Almería (PSA).....	53
4.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
4.5	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS ENERGÍAS OBTENIDAS (ASR A PARTIR DE DATOS MEDIDOS - ASR A PARTIR DE ESTIMACIONES)	56
4.5.1	NAVARRA.....	57
4.5.2	SORIA	58
4.5.3	SEVILLA.....	58

4.5.4	ALMERÍA	59
4.5.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
4.6	CASO ESPECIAL ALMERÍA: COMPARACIÓN ENERGÍA PRODUCIDA POR DATOS REALES CON ESCENARIOS DE ASR CALCULADOS A TRAVÉS DE DATOS MEDIDOS	60
4.7	CONSIDERACIONES FINALES.....	62
4.8	GLOSARIO	63
4.9	BIBLIOGRAFIA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Piranómetros con banda de sombra.....	5
Figura 2. Seguidor solar.....	6
Figura 3. Navarra - Estaciones meteonavarra [8]	9
Figura 4. Soria - Estaciones inforiego junta de Castilla y León [9].....	10
Figura 5. Sevilla - Estaciones agroclimáticas de Andalucía [10]	10
Figura 6. Almería - Estaciones agroclimáticas de Andalucía [10]	11
Figura 7. VMR y desviación estándar en Navarra.....	16
Figura 8. VMR y desviación estándar en Soria	17
Figura 9. VMR y desviación estándar en Sevilla.....	18
Figura 10. VMR y desviación estándar en Almería.....	19
Figura 11. Comportamiento del VMR.....	20
Figura 12. Comportamiento de la desviación estándar.....	21
Figura 13. Comparación VMR largo plazo	38
Figura 14. Datos disposición campo solar	41
Figura 15. Características del fluido encargado de la transferencia de calor.....	42
Figura 16. Superficie del campo solar	42
Figura 17. Condiciones del múltiplo solar.....	42
Figura 18. Orientación de los colectores	43
Figura 19. Características de la planta.....	43
Figura 20. Ciclo de potencia.....	43
Figura 21. Energía bruta generada en Navarra	47
Figura 22. Energía neta generada en Navarra.....	47
Figura 23. Energía bruta generada en Soria.....	49
Figura 24. Energía neta generada en Soria	50
Figura 25. Energía bruta generada en Sevilla.....	52
Figura 26. Energía neta generada en Sevilla.....	52
Figura 27. Energía bruta generada en Almería.....	54
Figura 28. Energía neta generada en Almería.....	54
Figura 29. Comparación energía generada escenarios de ASR – Promedio datos medidos.....	61
Figura 30. Comparación de los promedios de energía.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los piranómetros	5
Tabla 2. Características de los datos de cada una de las fuentes para Navarra.....	16
Tabla 3. VMR y desviación estándar en Navarra	16
Tabla 4. Características de los datos de cada una de las fuentes para Soria	17
Tabla 5. VMR y desviación estándar en Soria	17
Tabla 6. Características de los datos de cada una de las fuentes para Sevilla	18
Tabla 7. VMR y desviación estándar en Sevilla	18
Tabla 8. Características de los datos de cada una de las fuentes para Almería	19
Tabla 9. VMR y desviación estándar en Almería	19
Tabla 10. Comportamiento del VMR	20
Tabla 11. Comportamiento de la desviación estándar	21
Tabla 12. Datos para la generación del ASR en Navarra	27
Tabla 13. Características del mes con más cambios en Navarra	28
Tabla 14. Datos para la generación del ASR en Soria.....	29
Tabla 15. Características del mes con más cambios en Soria.....	30
Tabla 16. Meses que no superan el proceso de validación A en Soria	31
Tabla 17. Diferencia en los procesos de validación Soria	31
Tabla 18. Datos para la generación del ASR en Sevilla	32
Tabla 19. Características de los meses con más cambios en Sevilla	32
Tabla 20. Datos para la generación del ASR en Almería	33
Tabla 21. Características de los meses con más cambios en Almería	36
Tabla 22. Resumen de meses con mayores cambios de días	36
Tabla 23. Cambio de días método de validación B	37
Tabla 24. Diferencia en los procesos de validación Soria	37
Tabla 25. Cualificación del mes	39
Tabla 26. Energía bruta producida en Navarra	45
Tabla 27. Energía neta producida en Navarra.....	46
Tabla 28. Promedios de energía producida [MWh] Navarra.....	46
Tabla 29. Energía bruta producida en Soria	48
Tabla 30. Energía neta producida en Soria	48
Tabla 31. Promedios de energía producida [MWh] Soria	49
Tabla 32. Energía bruta producida en Sevilla.....	50
Tabla 33. Energía neta producida en Sevilla	51
Tabla 34. Promedios de energía producida [MWh] Sevilla.....	51
Tabla 35. Energía bruta producida en Almería.....	53
Tabla 36. Energía neta producida en Almería	53
Tabla 37. Promedios de energía producida [MWh] Almería.....	54
Tabla 38. Máximo y mínimo de energía en Navarra	55
Tabla 39. Máximo y mínimo de energía en Soria.....	55
Tabla 40. Máximo y mínimo de energía en Almería.....	55
Tabla 41. Perdidas por parásitos.....	56
Tabla 42. Comparación de la energía total generada (ASR_Estimaciones y ASR_Medidas).....	60
Tabla 43. Energía producida en Almería con datos medidos	60
Tabla 44. Energía producida en Almería con escenarios de ASR	61

1 INTRODUCCIÓN

Para establecer la viabilidad de una planta termosolar es importante calcular la energía que será producida en el momento de entrar en funcionamiento. Hasta ahora este cálculo, que depende principalmente de la irradiación presente en el lugar, se realiza generando un *Año Meteorológico Tipo* (AMT) el cual podría no incluir la variabilidad a largo plazo de la irradiación en el lugar, generando así cierta incertidumbre sobre la energía producida durante la vida útil de la planta.

A través del Comité Técnico de Normalización 206 de AENOR (Agencia Española de Normalización) se está llevando a cabo el desarrollo de normas relacionadas con Centrales Termosolares (AEN/CTN 206/SC 1/GT 1 “Central Termosolar”). Así, en el 2010 se constituyó el “Subgrupo Año Solar Representativo”, encargado de la redacción de una norma en la que se recogieran una serie de procedimientos que permitieran la generación de series anuales de radiación solar con las cuales sería posible simular las centrales termosolares. Durante los años que ha durado la redacción de la norma, se ha visto que es muy difícil simplificar una serie de parámetros y/o procedimientos sin tener información veraz de los resultados de la aplicación de los mismos. Lo que supone un punto de parada y una limitación respecto a la propuesta final para elaborar un documento de consenso general entre los participantes.

Buscando representar de manera más fiable el comportamiento de la irradiación solar a largo plazo se ha establecido una norma, pendiente de aprobación, que deja de utilizar el AMT y pasa a utilizar el *Año Solar Representativo* (ASR), que se obtiene siguiendo una metodología específica. Esta metodología es analizada en este documento, detallándose el proceso por el cual se llega a la obtención del ASR; planteándose mejoras, correcciones o ratificándose que, la manera en que se aborda el tema, es la más adecuada basados en los resultados de la energía producida por la planta a través de simulaciones. Por ello, en la última parte del documento se comparan los resultados de la energía producida con datos reales y por los obtenidos con el ASR, generados a través de la metodología establecida en la norma.

Las etapas del estudio se han dividido en:

- Revisión de la metodología que se ha establecido en la norma, incluyendo las diferentes propuestas realizadas por los participantes que intervienen en la elaboración de la misma.
- Comparación de la energía producida por centrales termosolares a través de datos medidos y a través del Año Solar Representativo (ASR) generado mediante los procedimientos establecidos en la norma.
- Comparación de resultados de energía producida teniendo en cuenta series de ASR generadas a través de datos medidos y series ASR generadas a partir de estimaciones.

- Determinar si los resultados obtenidos después de aplicada la norma son coherentes y en realidad reflejan el comportamiento de una central termosolar proyectada en un lugar específico.

La consecución de los objetivos ha sido alcanzada a través del siguiente procedimiento:

1. GENERACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA (ASR) A PARTIR DE DATOS MEDIDOS.
 - A. Campaña de medidas.
 - I. Control de calidad
 - II. Validación
 - III. Resumen y análisis de los resultados.
 - B. Estudio del valor representativo a largo plazo (varias fuentes).
 - I. Determinación del Valor Mensual Representativo (VMR).
 - II. Determinación de la desviación estándar del VMR.
 - III. Resumen y análisis de los resultados.
 - C. Generación de la serie representativa.
 - I. Cualificación de la campaña de medidas.
 - II. Tratamientos para la generación de la serie.
 - III. Elaboración de series resultado.
 - IV. Resumen y análisis de los resultados.
2. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA EN BASE AL ASR OBTENIDO
 - A. Configuración de System Advisor Model (SAM) para simulación de central termosolar tipo.
 - B. Generación de la energía producida por la central.
 - C. Resumen y análisis de los resultados.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Tipos de radiación Solar [1]

La radiación solar se encuentra clasificada en diferentes tipos, las cuales permiten comprender la forma en que la radiación solar es percibida sobre la superficie de la tierra.

Radiación solar directa: Es aquella que proviene directamente del disco solar, por tanto solo puede ser medida siguiendo la trayectoria del sol utilizando sistemas de seguimiento.

Radiación solar difusa: Proviene de las reflexiones de la radiación directa en la atmósfera causada por partículas que ocasionan un cambio en la trayectoria, debe medirse utilizando un sistema de sombreado del sol en cada momento durante su movimiento.

Radiación solar reflejada: Representa la radiación solar que es reflejada por una superficie receptora que se encuentra en el entorno. Debido a su bajo efecto sobre las diferentes tecnologías de estudio no suele ser medida, aceptándose un valor en porcentaje de la radiación global incidente sobre una superficie horizontal.

Radiación solar global: Es la radiación solar total que se recibe por unidad de superficie, representando entonces la suma de las aportaciones de la radiación directa, difusa y reflejada por lo que son llamadas componentes de la radiación solar. El valor obtenido tras su medición representa el total de radiación y por tanto no se puede identificar cual es el valor para la radiación de cada uno de sus componentes.

2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR: PRINCIPALES TIPOS Y CARACTERÍSTICAS [2][3]

Pirheliómetro: Es un instrumento encargado de medir la radiación solar directa, cuya superficie receptora se dispone de tal forma que los rayos solares incidentes lo hagan formando un ángulo de 90°. Dispone de un obturador para medir solamente la radiación procedente del sol y de una región anular del cielo muy próxima al astro.

Tipos de Pirheliómetros

Existen varios tipos de pirheliómetros, dependiendo de la inversión disponible para los instrumentos de medida, de los objetivos de precisión y de otros condicionamientos relacionados, se selecciona la utilización de unos u otros en una campaña de medida.

Pirheliómetros patrones primarios (absolutos): Un pirheliómetro absoluto es un instrumento susceptible de definir la escala de irradiancia total sin recurrir a fuentes o radiadores de referencia. Todos los pirheliómetros absolutos de diseño moderno utilizan receptores de cavidad y, como sensores, medidores diferenciales de flujo calorífico calibrados eléctricamente.

Pirheliómetros patrones secundarios:

- El pirheliómetro de compensación Ångström es un instrumento muy adecuado para la calibración de piranómetros y otros pirheliómetros. Fue diseñado por K. Ångström (1893) como instrumento absoluto y la escala Ångström, de 1905 se construyó basándose en él, aunque en la actualidad se utiliza como patrón secundario y debe calibrarse por comparación con un instrumento patrón.
- El pirheliómetro de disco de plata es un instrumento de referencia que siempre debe calibrarse por comparación con un patrón primario. Presenta buena estabilidad y se utiliza para calibrar piranómetros y pirheliómetros.

Pirheliómetros de primera y segunda clase: Estos pirheliómetros son los que se usan más frecuentemente. Utilizan generalmente termopilas como detectores. Se emplean para un registro continuo de la radiación solar.

Pueden utilizarse para la calibración de los instrumentos de una red. A su vez, es necesario calibrarlos por comparación con patrones primarios o secundarios. La precisión en el transcurso de un año y para todas las condiciones ambientales durante el empleo del instrumento debe ser superior al uno por ciento para un pirheliómetro de primera clase y al dos por ciento para uno de segunda. Otro aspecto importante del instrumento es el tiempo de respuesta.

Piranómetro: Instrumento necesario para medir la radiación solar procedente de un ángulo de 2π estereorradianes en una superficie plana y un intervalo espectral comprendido entre 0,3 y 3,0 μm . El piranómetro se utiliza a veces para medir la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas respecto a la horizontal y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada.

Cuando sólo se efectúa la medida de la componente difusa de la radiación solar, la componente solar directa se debe cubrir por medio de un sistema de pantalla.

Tipos de piranómetros

Normalmente los piranómetros emplean como sensores elementos termoeléctricos, fotoeléctricos, piroeléctricos o bimetálicos. Debido a que los piranómetros están expuestos continuamente a todas las condiciones ambientales, deben ser de diseño robusto. Las propiedades de los piranómetros que hay que tener en cuenta al evaluar la precisión y calidad de la medida de la radiación son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, respuesta cosenoidal, respuesta azimutal, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral. En base a la precisión y calidad global del sistema, pueden definirse tres clases de piranómetros, que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los piranómetros

Característica	Patrón secundario	Primera clase	Segunda clase
Resolución (variación mínima detectable en $W m^{-2}$)	± 1	± 5	± 10
Estabilidad (tanto por ciento de totalidad de escala, variación/año)	± 1	± 2	± 5
Respuesta cosenoidal (tanto por ciento de desviación respecto de la ideal para una altura solar de 10° en un día despejado)	$<\pm 3$	$<\pm 7$	$<\pm 15$
Respuesta azimutal (tanto por ciento de desviación de la media para una altura solar de 10° en un día despejado)	$<\pm 3$	$<\pm 5$	$<\pm 10$
Respuesta de temperatura (tanto por ciento de error máximo debido a variación de la temperatura ambiente dentro del intervalo de operación)	± 1	± 2	± 5
No linealidad (tanto por ciento de totalidad de escala)	$\pm 0,5$	± 2	± 5
Sensibilidad espectral (tanto por ciento de desviación de la absorbancia media $0,3$ a $3 \mu m$)	± 2	± 5	± 10
Tiempo de respuesta (respuesta del 99%)	$<25s$	$<1 \text{ min}$	$<4 \text{ min}$

Dispositivos de sombreamiento

En cuanto a la radiación difusa, para su medida se precisa de la utilización de dispositivos de sombreado. Si bien los dispositivos más comúnmente utilizados son las bandas de sombra, éstas tienen el inconveniente de que necesitan de un ajuste manual periódico así como una corrección teórica de la variable registrada, ya que sombrean una importante porción de cielo además del disco solar.



Figura 1. Piranómetros con banda de sombra

Cada vez es más común la utilización de seguidores solares que incluyen un sistema de sombreamiento puntual en la localización del sol. Estos sistemas son sustancialmente más complejos y costosos que los convencionales, pero solucionan los problemas de cableado y de corrección de la banda de sombra. Además, permiten la instalación de varios dispositivos para la medida de la radiación directa y de la radiación difusa, así como la

posibilidad de montar en el mismo dispositivo el piranómetro para la medida de la radiación global.



Figura 2. Seguidor solar

2.3 FUENTES DE DATOS UTILIZADOS

Todas las fuentes de datos utilizadas en este trabajo son de uso gratuito. El acceso a los datos puede realizarse ingresando la latitud y longitud del lugar o en algunos casos seleccionando sobre un mapa el lugar deseado. Algunas de ellas permiten elegir el tipo de archivo en el que suministran la información, además de la frecuencia de los datos.

2.3.1 ACCESO A DATOS DE RADIACIÓN SOLAR DE ESPAÑA - ADRASE [4]

Desarrollado por el Grupo de Radiación Solar del CIEMAT, es una aplicación que realiza una estimación del valor de la radiación solar a partir del tratamiento de imágenes de satélite. Permite la consulta y descarga de datos de radiación solar media mensual representativa de un largo periodo, con una resolución aproximada de 5x5 Km. Además brinda la estimación del rango de valores más probables de la "media mensual de los valores diarios" de un mes y año específico (entre el percentil 25 y el 75).

2.3.2 SOLAR RADIATION DATA – SoDA [5]

Es un agente de servicio web relacionado con la radiación solar que ha sido propuesto por varios proveedores en Europa y en el extranjero. Este servicio es proporcionado desde dos lugares situados en Mines Paris Tech, Sophia Antipolis France y en Transvalor S.A. Mougins France, para mayor confiabilidad en el servicio. El servicio en si, no es un servicio de almacenamiento de datos como tal, y sí un sistema inteligente que construye vínculos a otras fuentes que se encuentran en diferentes países por lo que para responder

a una solicitud hecha por un usuario el sistema involucra varias fuentes para ofrecer resultados adecuados.

El Servicio SoDa responde a las necesidades de la industria y la investigación para obtener información sobre recursos solares (energía solar y radiación solar). Ofrece entonces una prestación, como puede ser una base de datos, un algoritmo o una aplicación proporcionando una información que puede ser utilizada directamente por los usuarios; estos servicios pueden ser gratuitos o de pago.

Los tipos de datos que se pueden encontrar son:

- Sobre plano horizontal (irradiación global)
- Sobre plano inclinado (irradiación global , directa y difusa)
- Sobre plano normal a los rayos solares (irradiación global , directa y difusa)

Las bases de datos de HelioClim surface solar radiation (SSR) están basados en estimaciones de las imágenes de la segunda generación de Meteosat. Este método de estimación basado en satélite se denomina HELIOSAT-2 y fue propuesto y desarrollado por MINES ParisTech / ARMINES. Las bases de datos de HelioClim son comercializadas por Transvalor S.A.

Los datos utilizados para este trabajo fueron:

HelioClim1 - HC1: Conjunto de datos sin restricciones desde 1985 hasta 2005 (Resolución espacial 20 km).

HelioClim3 - HC3: Todos los servicios pero solo del año 2005.

NASA-SSE: Conjunto de datos sin restricción entre julio de 1983 a junio de 2005 (Resolución espacial 1 grado).

NASA-SSE + HC1: Conjunto de datos sin restricción (mejor resolución entre HC1 y NASA-SSE).

2.3.3 NASA SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY (SSE 6.0) [6]

SSE es suministrado por el proyecto de la NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER), se trata de un servicio web que proporciona datos meteorológicos utilizando sistemas de satélite para aportar estimaciones de datos a largo plazo de los flujos de energía solar en regiones donde las mediciones sobre la superficie son muy escasas o inexistentes. La versión 6.0 de SSE se basa en una cobertura de datos solares y meteorológicos de 22 años durante el 1 julio de 1983 hasta el 30 de junio del 2005, además los datos de radiación solar se derivan de un algoritmo que proporciona una

mejora en la estimación solar frente a versiones anteriores del SSE. La resolución espacial utilizada por la NASA para el proyecto SSE es de 1° x 1°.

2.3.4 PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM – PVGIS

[7]

Es un sistema de información geográfica que proporciona un inventario de los recursos de energía solar en Europa, África y Europa sudoccidental, su finalidad es contribuir a la implementación de las energías renovables en la unión europea, a través de la aplicación web se pueden consultar datos sobre la radiación solar y otras variables climáticas.

Los mapas representan la suma anual de la irradiación global sobre superficie horizontal y sobre superficie inclinada, los datos representan el promedio durante el periodo comprendido entre 1998 – 2011, sin embargo al Norte de 58 ° los datos representan la media de un periodo de 10 años comprendidos entre 1981 – 1990. Todos los valores de datos se dan en kWh/m², la resolución espacial para el territorio Europeo es de 1 km x 1 km, mientras que para África y Asia sudoccidental es de 2 km x 2 km. Esta base de datos de radiación solar fue desarrollada utilizando herramientas integradas en el GIS GRASS (Sistema de información geográfica gratuita utilizada para la gestión de datos geospaciales) y las técnicas de interpolación espacial s.surf.rst y s.vol.rst.

2.3.5 ESTACIONES AGROCLIMATICAS DE MEDIDA

Actualmente existen numerosas redes de estaciones por todo el territorio español, promovidas por las comunidades autónomas, organismos públicos o por iniciativa privada, para el control de diferentes fenómenos, como alerta de plagas, de información agroclimática, prevención de incendios, etc.

Instaladas por el ministerio de agricultura, pesca y alimentación con fondos provenientes de la Unión Europea, es una red de estaciones automáticas o manuales que permiten disponer de datos meteorológicos. Una estación agroclimática es un conjunto de dispositivos que pueden realizar diversas medidas como temperatura, humedad del aire, dirección, velocidad del viento y radiación solar, entre otras.

Se definen dos tipos de estaciones agroclimáticas:

Estaciones Automáticas: Compuestas por sensores, son aquellas en las que los instrumentos efectúan y transmiten o registran automáticamente las observaciones, realizando directamente la conversión correspondiente.

Estaciones Manuales: son aquellas que están formadas por instrumentos y no sensores como las automáticas. La diferencia radica en que los instrumentos son dispositivos analógicos y los sensores son dispositivos electrónicos o digitales que traducen una señal analógica en una señal digital fácilmente procesable.

NOTA: En las siguientes graficas aparecen las estaciones agroclimáticas y el lugar donde se realizó el estudio. Para el caso de Navarra solo se encontró información de dos estaciones, mientras que para los demás lugares se encontraron cuatro estaciones de medida. El marcador que aparece en rojo representa la estación agroclimática elegida para encontrar el VMR, escogida según su cercanía al lugar y la cantidad de datos de radiación disponibles. Los marcadores en amarillo representan las demás estaciones meteorológicas y el lugar elegido para el estudio. Navarra-CENER, Soria-CEDER, Sevilla-PROMOTOR y Almería-PSA.

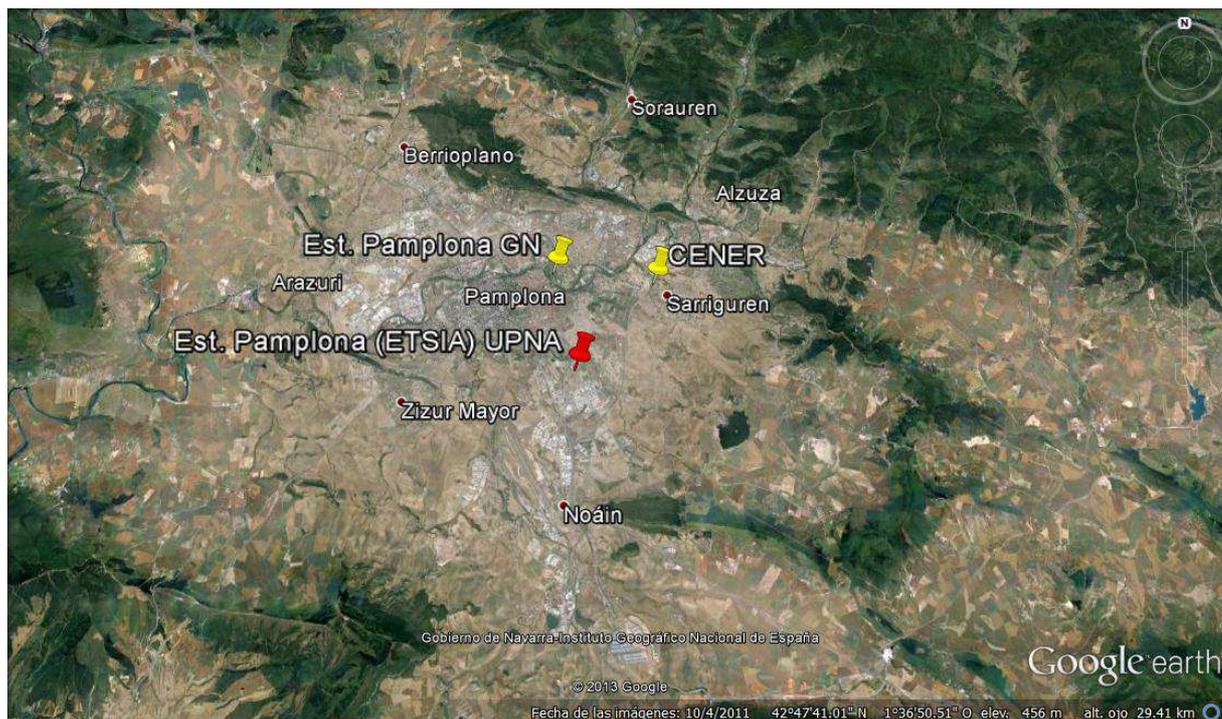


Figura 3. Navarra - Estaciones meteonavarra [8]



Figura 4. Soria - Estaciones inforiego junta de Castila y León [9]



Figura 5. Sevilla - Estaciones agroclimáticas de Andalucía [10]



Figura 6. Almería - Estaciones agroclimáticas de Andalucía [10]

3 GENERACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA (ASR) A PARTIR DE DATOS MEDIDOS

Se entenderá por serie representativa ASR aquellos datos horarios de irradiación durante un año completo que caracterizan el lugar donde se planea realizar el proyecto termosolar y que es obtenida aplicando la metodología de la norma “Procedimiento de generación de año solar representativo”.

3.1 CONTROL DE CALIDAD

Los datos registrados en las estaciones de medida fueron sometidos a los procedimientos de control de calidad descritos en el Anexo V de la norma. Estos procedimientos se describen a continuación.

- *Procedimiento 1:* Busca detectar grandes errores ocurridos en el proceso de medición.
El dato se etiqueta con un cero si no supera este procedimiento y representa un valor que no es físicamente posible.
- *Procedimiento 2:* Un poco más restrictivo que el procedimiento anterior busca identificar valores extraños que pueden ocurrir durante cortos periodos de tiempo pero que no son probables para los intervalos considerados en la norma.
El dato se etiqueta con el número 1 si no supera este procedimiento, representando un valor extremadamente raro.
- *Procedimiento 3:* Intenta detectar errores menores en cuanto a la magnitud y se basa en la relación matemática que debe existir entre los valores de las tres variables de radiación existentes (Global, Directa y Difusa).
El dato se etiqueta con el número 2 si no supera este procedimiento, y representa que las tres componentes no son coherentes o que no se puede comprobar.
- En caso de ser superados los tres procedimientos el dato se etiqueta con el número 3, representando un valor coherente de las tres variables registradas.

El proceso se realiza paso a paso, es decir, si el dato no supera el procedimiento 1 no podrá ser evaluado en el procedimiento 2 y si el dato no supera el procedimiento 2 no podrá ser evaluado en el procedimiento 3. Por tanto, si el dato se etiqueta con el valor de tres, quiere decir que supero los tres procedimientos uno tras otro.

Aquellos datos que no superan el proceso de control de calidad se consideran datos anómalos y por tanto no pueden formar parte del ASR.

3.2 VALIDACIÓN

A continuación, los datos medidos que hayan superado los controles de calidad se someten a un proceso de validación.

Se considera un año completo válido aquel compuesto por 12 meses distintos válidos (de enero a diciembre), no necesariamente consecutivos, es decir, no necesariamente del mismo año.

Para la determinación de la validez de los días y meses que constituyen el año válido deberá aplicarse uno de los dos procedimientos que se describen a continuación. Estos procedimientos de validación de días y meses no pueden aplicarse parcialmente, deben ser aplicados en su totalidad.

A. Procedimiento 1

Días válidos: Se consideran válidos aquellos días en que, de existir anomalías en la medida de la irradiación directa normal o global horizontal (valores que no hayan superado los procedimientos del control de calidad), no superen el periodo global de una (1) hora. Por ejemplo, en el caso de valores horarios, se permite una sola anomalía por día y en caso de 10 minutas seis anomalías por día. Esta anomalía debe ser corregida coherentemente (como por ejemplo a través de una interpolación lineal) antes de proceder a la validación mensual.

Meses válidos: Se consideraran meses válidos aquellos meses en que, de existir días no válidos, éstos no superen el número de dos (2) días. Para obtener el valor mensual correspondiente a un mes con días anómalos, el valor de la irradiación diaria de dichos días se obtiene de la media mensual de los días válidos.

B. Procedimiento 2

Días válidos: Se consideraran válidos aquellos días en que todos los valores horarios de la irradiación directa normal superan los procedimientos del controles de calidad. Se consideran también días válidos aquellos que presenten anomalías durante periodos con una altura solar inferior a 5°. Estas anomalías pueden ser corregidas coherentemente (como por ejemplo a través de una interpolación lineal) antes de proceder a la validación mensual.

Meses válidos: Se consideraran meses válidos aquellos meses en que, de existir días no válidos, éstos no superen el número de cuatro (4) días. Para obtener el valor mensual correspondiente a un mes con días anómalos, el valor de la irradiación diaria de dichos días se obtiene de la media mensual de los días válidos.

3.3 ESTUDIO DEL VALOR REPRESENTATIVO A LARGO PLAZO (VARIAS FUENTES)

Se entiende por fuente, cada uno de los servicios web, aplicaciones o bases de datos que proporcionen datos medidos o estimaciones de valores, ya sea de irradiación global horizontal (GHI) o de irradiación directa normal (DNI).

El Valor Mensual Representativo (VMR), indica el comportamiento en un lugar de la irradiación solar a largo plazo durante los 12 meses que componen un año, para su cálculo se debe elegir la variable que dirija el proceso, esta variable puede ser GHI o DNI.

La variable utilizada en el desarrollo de este proyecto fue la irradiación global horizontal (GHI), por lo tanto se tomaron valores de GHI de las diferentes fuentes para encontrar los valores VMR en los cuatro lugares seleccionados.

3.3.1 Descripción de la norma

El apartado 5.2.1 explica cómo obtener un valor medio representativo para cada uno de los meses del año de la radiación solar a partir de varias fuentes, y la obtención de la desviación estándar asociada a cada uno de estos valores (σ).

Las fuentes utilizadas pueden contener los siguientes tipos de datos: medidos directos, medidos indirectos, derivado, sintético, satélite, modelo meteorológico; además, solo de forma excepcional para este cálculo y por tanto no pudiendo ser utilizado para la obtención del ASR pueden utilizarse fuentes que contengan otro tipo de dato.

Las series de datos deben proporcionar información para determinar un valor medio de irradiación durante cada mes, puede tratarse de valores horarios o diarios, de un año concreto o de estimaciones a largo plazo y de ser posible se recomienda someterlos a los procesos de control de calidad y validación. Respecto al límite para la cantidad de fuentes de datos, establece un mínimo de 4 y un máximo sin especificar, lo que supone una mayor información sobre la radiación del lugar con el mayor número de fuentes posibles, en cualquier caso se debe obtenerse un periodo de datos de 10 años.

Una vez encontrados los datos a utilizar se debe distinguir entre aquellos datos que vienen de mediciones y aquellos datos que vienen de estimaciones, con lo cual se pasa a asignar un peso (P_i) según las características que poseen, como son:

Distancia (D_i): Aquella que existe entre el lugar donde se obtuvieron los datos y el lugar donde se evalúa el proyecto (Toma valores de 10 a 100; si la distancia es mayor a 100 km la fuente no puede ser utilizada. Para el caso de estimaciones corresponde a la resolución del satélite).

Tiempo (T_i): Según la cantidad de años que representan los datos (Toma valores de 1 a 10, valores mayores de 10 años se truncan a 10).

Naturaleza de los datos (C_i): Tipo de datos (Toma valores de 1 a 3):

- 1: Si se trata de datos medidos
- 2: Si se trata de datos estimados
- 3: Si se trata de datos representativos

$$P_i = \frac{T_i}{C_i \cdot D_i}$$

Ecuación 1. *Peso dado a las fuentes según las características de los datos*

Una vez asignados los pesos de cada fuente, deben normalizarse a una suma igual a 1, sugiriendo un valor de 0.6 para datos procedentes de mediciones y 0.4 para datos procedentes de estimaciones.

Con los datos de radiación de cada fuente, más los pesos asignados se obtiene el VMR y la desviación estándar del sitio, según las siguientes ecuaciones:

Ecuación para el VMR:

$$VMR_j = \sum_i P_{in} * VM_{ji}$$

Ecuación 2. *Valor Mensual Representativo (VMR)*

Dónde:

j = cada mes (1-12)

i = cada una de las bases de datos

P_{in} = Peso normalizado de cada una de las fuentes

VM_{ji} = Valor medio de cada uno de los meses (i) de las diferentes fuentes (j)

Ecuación para la desviación estándar:

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_i P_{in} (VM_{ji} - VMR_j)^2}$$

Ecuación 3. *Desviación estándar asociada al VMR*

3.3.2 Determinación del valor mensual representativo y su desviación estándar

Para encontrar el VMR de cada mes en los cuatro emplazamientos, es necesario encontrar datos de irradiación solar para cada uno de estos lugares; Para esto, fue necesario investigar en las bases de datos valores, mencionas en el apartado 1.4, de irradiación global horizontal (GHI).

Siguiendo los parámetros establecidos en la norma se obtiene el Valor Mensual Representativo (VMR) con su respectiva desviación estándar para los cuatro lugares seleccionados (NAVARRA, SORIA, SEVILLA, ALMERÍA).

NAVARRA. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

Tabla 2. Características de los datos de cada una de las fuentes para Navarra

FUENTE	TIPO	Frecuencia de datos	Número de años	T	C	D
ADRASE	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	10
SODA HC1	Estimaciones	Mensual	1 o 10	10	3	20
SODA HC3	Estimaciones	Mensual	1	1	3	20
NASA	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	100
PVGIS	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	1
ESTACIONES AGROCLIMATICAS	Medidas	Diaria	Medidas	6	1	4

Tabla 3. VMR y desviación estándar en Navarra

	VMR (kWh/m ²)	Desv.
Enero	47.34	3.62
Febrero	69.62	6.03
Marzo	116.61	13.49
Abril	141.59	17.22
Mayo	180.66	13.47
Junio	199.10	12.20
Julio	213.73	7.95
Agosto	184.69	6.03
Septiembre	136.50	6.60
Octubre	91.52	7.08
Noviembre	52.85	3.56
Diciembre	44.36	4.56
Anual	1478.58	101.82

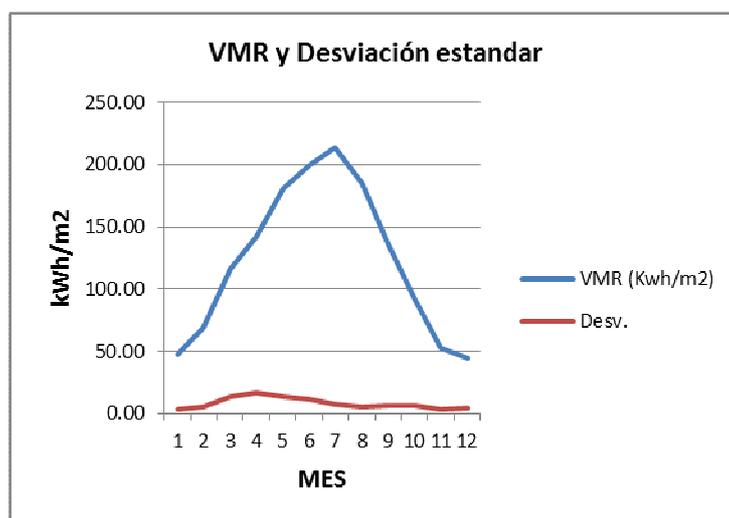


Figura 7. VMR y desviación estándar en Navarra

El valor Anual de irradiación para Navarra es de 1478.58 kWh/m². Los mayores valores de desviación estándar se encuentran en los meses de marzo, abril, mayo y junio; Por el contrario los meses con menor variabilidad en la irradiación corresponden a noviembre, diciembre y enero

SORIA. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)

Tabla 4. Características de los datos de cada una de las fuentes para Soria

FUENTE	TIPO	Frecuencia de datos	Número de años	T	C	D
ADRASE	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	10
SODA HC1	Estimaciones	Mensual	1 o 10	10	3	20
SODA HC3	Estimaciones	Mensual	1	1	3	20
NASA	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	100
PVGIS	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	1
ESTACIONES AGROCLIMATICAS	Medidas	Diaria	Medidas	10	1	10

Tabla 5. VMR y desviación estándar en Soria

	VMR (kWh/m ²)	Desv.
Enero	56.64	5.21
Febrero	81.42	8.11
Marzo	128.57	12.44
Abril	154.61	10.39
Mayo	191.63	13.59
Junio	214.91	8.42
Julio	233.31	8.45
Agosto	201.43	6.90
Septiembre	150.46	7.53
Octubre	102.18	8.38
Noviembre	62.74	8.07
Diciembre	51.49	2.85
Anual	1629.39	100.34

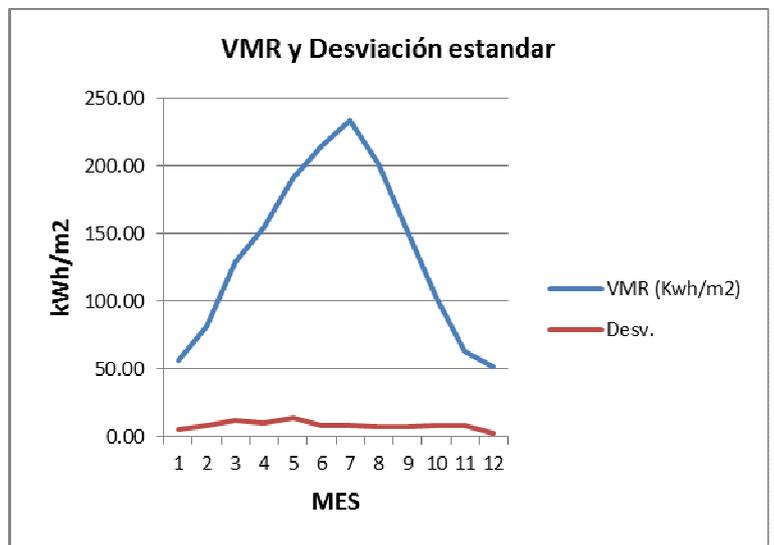


Figura 8. VMR y desviación estándar en Soria

El valor anual de irradiación para Soria es de 1629,39 kWh/m². Los meses con mayor variabilidad de irradiación son marzo, abril y mayo; Por el contrario los meses con menor variabilidad corresponden a diciembre y enero; El resto del año el valor de la desviación estándar oscila cerca a los 8 kWh/m².

SEVILLA. Planta termosolar

Tabla 6. Características de los datos de cada una de las fuentes para Sevilla

FUENTE	TIPO	Frecuencia de datos	Número de años	T	C	D
ADRASE	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	10
SODA HC1	Estimaciones	Mensual	1 o 10	10	3	20
SODA HC3	Estimaciones	Mensual	1	1	3	20
NASA	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	100
PVGIS	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	1
ESTACIONES AGROCLIMATICAS	Medidas	Diaria	Medidas	10	1	10

Tabla 7. VMR y desviación estándar en Sevilla

	VMR (kWh/m ²)	Desv.
Enero	78.53	9.77
Febrero	97.41	11.12
Marzo	146.81	10.14
Abril	178.05	12.97
Mayo	214.97	13.94
Junio	238.58	10.56
Julio	250.91	7.52
Agosto	222.14	7.76
Septiembre	165.72	10.42
Octubre	119.74	10.29
Noviembre	83.04	9.14
Diciembre	69.21	5.46
Anual	1865.11	119.10

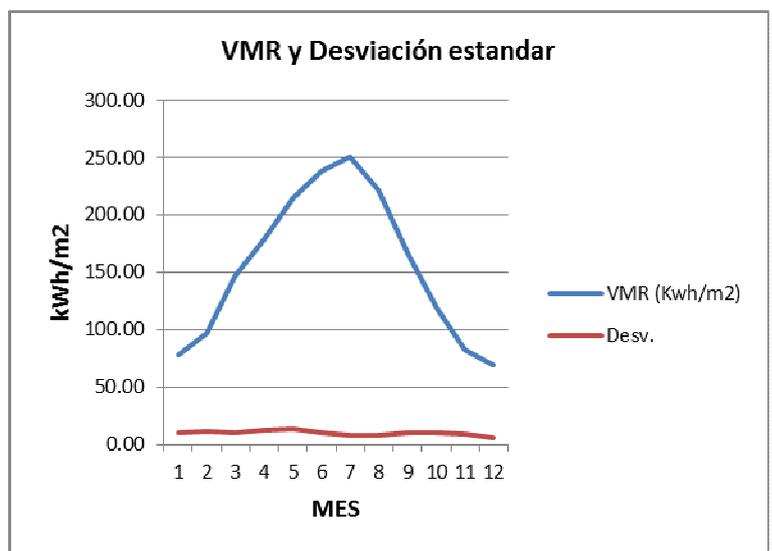


Figura 9. VMR y desviación estándar en Sevilla

Para Sevilla el valor anual de irradiación es de 1865.11 kWh/m². Se observa una mayor variabilidad de irradiación durante los meses de abril y mayo; Por el contrario los meses con menor variabilidad corresponden a diciembre, julio y agosto; El valor de la desviación estándar para los demás meses oscila los 10 kWh/m². En general se distingue una mayor variabilidad de la irradiación en comparación con los demás lugares seleccionados.

Tabla 8. Características de los datos de cada una de las fuentes para Almería

FUENTE	TIPO	Frecuencia de datos	Número de años	T	C	D
ADRASE	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	10
SODA HC1	Estimaciones	Mensual	1 o 10	10	3	20
SODA HC3	Estimaciones	Mensual	1	1	3	20
NASA	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	100
PVGIS	Estimaciones	Mensual	Año representativo	10	3	1
ESTACIONES AGROCLIMATICAS	Medidas	Diaria	Medidas	10	1	5

Tabla 9. VMR y desviación estándar en Almería

	VMR (kWh/m ²)	Desv.
Enero	85.52	7.97
Febrero	102.20	8.71
Marzo	149.53	11.56
Abril	179.52	14.62
Mayo	211.92	14.41
Junio	231.10	7.52
Julio	239.53	9.49
Agosto	210.04	15.04
Septiembre	159.47	7.85
Octubre	122.01	7.06
Noviembre	86.27	6.65
Diciembre	77.92	6.23
Anual	1855.02	117.13

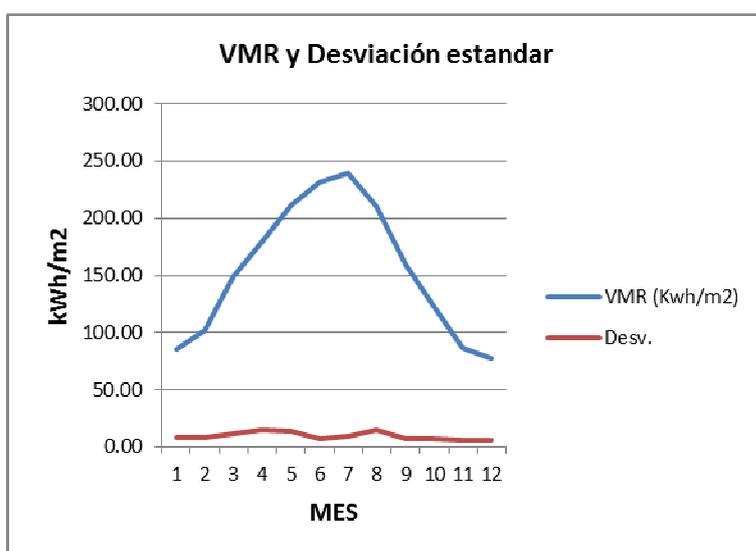


Figura 10. VMR y desviación estándar en Almería

Almería posee una irradiación anual igual a 1855.02 kWh/m². La variabilidad de su irradiación durante los meses de marzo, abril, mayo y agosto es de aproximadamente de 15 kWh/m², mientras que en los meses de octubre, noviembre y diciembre la variabilidad es mucho menor alcanzando valores aproximados de 7 kWh/m².

Similar al caso de Sevilla, Almería posee valores muy altos de irradiación anual en comparación a los demás lugares seleccionados, pero también mayor variabilidad acumulada a lo largo del año.

3.3.3 Análisis de resultados.

1. Durante el proceso de control de calidad (Apartado 2.1) se encontraron algunos problemas durante las horas del orto y el ocaso debido a las ecuaciones que los predicen. Se observó que los valores en estos momentos eran posibles y que simplemente por un ajuste en los valores de la ecuación se mostraban como valores extremadamente raros y por tanto

debían descartarse días con datos completos y adecuados. Esto impide poder utilizar el mes al que pertenecen en la conformación del ASR debido a la falta de algunos días. Por lo anterior se decidió que aquellos días que tuvieran esta característica (pequeños problemas en las horas del orto y del ocaso) superaran el control de calidad y, por tanto el mes en su totalidad, quedara habilitado para ser utilizado.

2. Comparación del Valor Mensual Representativo:

Tabla 10. Comportamiento del VMR

VMR				
MES	NAVARRA	SORIA	SEVILLA	ALMERIA
Enero	47.34	56.64	78.53	85.52
Febrero	69.62	81.42	97.41	102.2
Marzo	116.61	128.57	146.81	149.53
Abril	141.59	154.61	178.05	179.52
Mayo	180.66	191.63	214.97	211.92
Junio	199.1	214.91	238.58	231.1
Julio	213.73	233.31	250.91	239.53
Agosto	184.69	201.43	222.14	210.04
Septiembre	136.5	150.46	165.72	159.47
Octubre	91.52	102.18	119.74	122.01
Noviembre	52.85	62.74	83.04	86.27
Diciembre	44.36	51.49	69.21	77.92
TOTAL	1478.58	1629.39	1865.11	1855.02

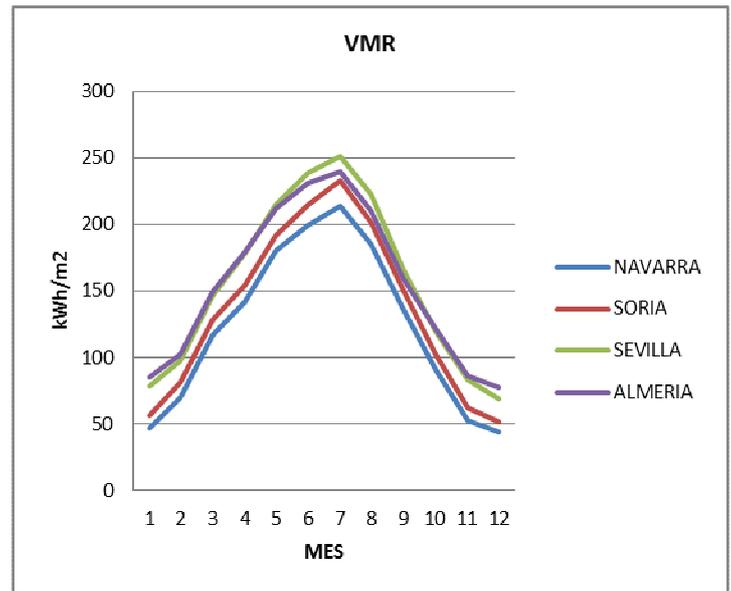


Figura 11. Comportamiento del VMR

Puede observarse que en los cuatro lugares seleccionados (Tabla 10), se obtiene el mayor valor de irradiación durante el mes de julio, alcanzando un valor máximo de 250.91 kWh/m² en Sevilla (resaltado en rojo en la Tabla). Por el contrario, el menor valor de irradiación coincide en los cuatro lugares durante el mes de diciembre, alcanzando un valor mínimo de 44.36 kWh/m² en Navarra (resaltado en rojo en la Tabla). Estos resultados son coherentes teniendo en cuenta la latitud de los lugares elegidos, Navarra 42°48'59.00"N, Soria 41°36'9.00"N, Sevilla 37°33'29.00"N y Almería 37° 5'37.00"N, y la época del año en el que los datos son obtenidos.

3. Comparación de la desviación estándar:

Tabla 11. Comportamiento de la desviación estándar

Desviación estándar				
MES	NAVARRA	SORIA	SEVILLA	ALMERÍA
Enero	3.62	5.21	9.77	7.97
Febrero	6.03	8.11	11.12	8.71
Marzo	13.49	12.44	10.14	11.56
Abril	17.22	10.39	12.97	14.62
Mayo	13.47	13.59	13.94	14.41
Junio	12.2	8.42	10.56	7.52
Julio	7.95	8.45	7.52	9.49
Agosto	6.03	6.90	7.76	15.04
Septiembre	6.6	7.53	10.42	7.85
Octubre	7.08	8.38	10.29	7.06
Noviembre	3.56	8.07	9.14	6.65
Diciembre	4.56	2.85	5.46	6.23
ANUAL	101.82	100.34	119.10	117.13

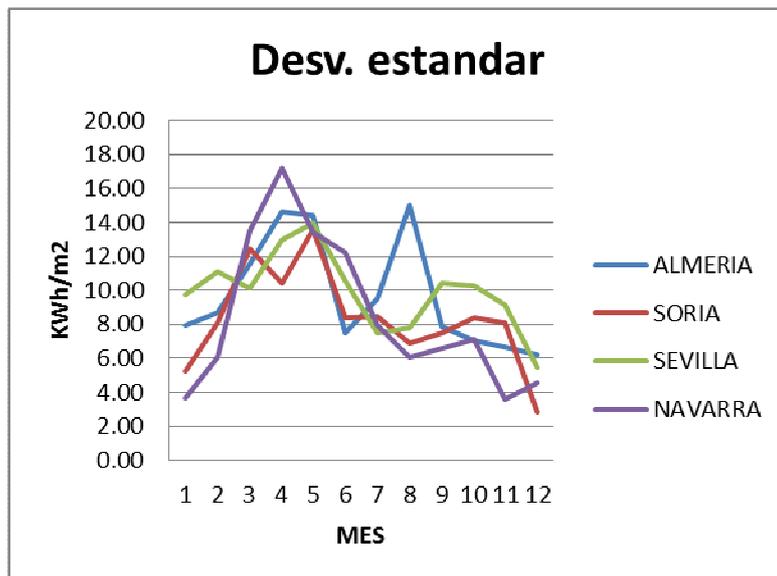


Figura 12. Comportamiento de la desviación estándar

En la Tabla 11 los valores en rojo representan los máximos y mínimos de la desviación estándar para cada lugar. Se puede apreciar que los meses de marzo, abril y mayo poseen mayor variación, mientras que meses como noviembre, diciembre y enero poseen menor variación. De media los valores de la desviación estándar varían entre $4.54 \frac{KWh}{m^2}$ y $14.94 \frac{KWh}{m^2}$, este rango de valores permite tomar como referencia la variabilidad que se pueden encontrar en España en lugares situados con latitudes similares a las utilizadas en este estudio.

Al comparar la acumulación anual, se observa que lugares donde se encuentra una mayor irradiación como Sevilla y Almería también poseen mayores valores de desviación estándar, caso contrario a sitios de menor irradiación como Navarra y Soria.

3.4 GENERACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA

3.4.1 Descripción de la norma

La norma plantea la generación del ASR a partir de dos procedimientos, el primero basado en la campaña de medidas y el segundo basado en estimaciones.

Para el caso del procedimiento basado en la campaña de medidas se sigue el apartado 5.3.1 el cual establece como primera medida la cualificación de la campaña de medidas, cuya tarea es demostrar que los 12 meses que componen el año y que han sido previamente validados tienen valores semejantes a los encontrados en el procedimiento 5.3.1, es decir a los valores mensuales representativos (VMR). Para lograrlo se analiza la diferencia que existe entre el valor medio del mes y el VMR según la componente de radiación que se trabaje Directa normal o Global horizontal, de la siguiente manera:

$$|VMR_j - VM_{jk}| < 2\sigma_j$$

Ecuación 4. Cualificación del mes perteneciente a la campaña de medidas

Dónde:

k es cada uno de los años

j es cada uno de los meses

VM_{jk} es el valor mensual del mes

VMR_j es el valor mensual representativo del comportamiento a largo plazo del mes.

σ_j Desviación estándar del VMR asociada al mes

En caso de que la anterior ecuación se cumpla, el mes se considera cualificado y podrá continuar en el proceso de obtención del ASR, de lo contrario el mes no puede ser utilizado y por tanto se descarta.

Una vez que los datos mensuales han superado la etapa de cualificación se compara de nuevo el valor medio del mes con el valor mensual representativo a largo plazo (VMR) según lo establece la siguiente ecuación:

$$|VMR_j - VM_{jk}| < 3 \text{ kWh/m}^2$$

Ecuación 5. Límite para el cambio de días

Si al evaluar un mes en concreto, se cumple la condición este pasa a formar parte del ASR, de lo contrario se deben sustituir días completos de dicho mes hasta lograr una diferencia menor a 3 kWh/m^2 con el menor número de cambios posibles, sustituyendo en primer lugar aquellos días que no son válidos, y estableciendo como máximo una cantidad de 15 días cambiados.

3.4.2 Descripción de los datos utilizados

Se utilizaron dos tipos de datos:

1. Los valores mensuales representativos a largo plazo (VMR) de cada uno de los emplazamientos.
2. Las series de datos medidos una vez superados los procesos de calidad y validación requeridos por la norma.

VMR de los emplazamientos

Para cada lugar y mes del año se tiene un VMR y un valor de su desviación estándar, como se explicó en el punto 4 del apartado resultados del presente documento.

Datos medidos

Se trata de series de datos con frecuencia diaria a los cuales se les aplicó el proceso de validación, por lo cual se puede tratar de meses que han tenido cambios en algunos días (dependiendo del proceso de validación aplicado), o de meses que no han sufrido ningún tipo de cambio. Por lo anterior existen años que no poseen valores de datos en algunos de sus meses y años con información en todos sus meses.

3.4.3 Programa desarrollado para obtener el ASR

Utilizando MATLAB para la programación y Excel para realizar la lectura de datos de salida se desarrolló un programa encargado de realizar el cambio de días en cada uno de los meses según lo establecido en la norma, el programa se describe a continuación.

Archivos

Datos: Es un archivo Excel el cual contiene los datos de irradiación diaria de un lugar para un año completo.

Identifica: Es un archivo de Matlab que establece cuál de los siguientes archivos debe utilizarse si “Cambia_dias_baja” o “Cambia_dias_sube”, según las características del mes a tratar.

Cambia_dias_baja: Es un archivo de Matlab encargado de llamar la función Baja_mes y establecer las condiciones iniciales a tener en cuenta.

Cambia_dias_sube: Es un archivo de Matlab encargado de llamar la función Sube_mes y establecer las condiciones iniciales a tener en cuenta.

Baja_mes: Es un archivo de Matlab el cual contiene el algoritmo *encargado de cambiar días del mes con radiación alta por días del mes con una radiación baja* respetando las condiciones establecidas en la norma, dando como resultado un valor de radiación del mes menor al inicial.

Sube_mes: Es un archivo de Matlab el cual contiene el algoritmo *encargado de cambiar días del mes con radiación baja por días del mes con una radiación alta* respetando las condiciones establecidas en la norma, dando como resultado un valor de radiación del mes mayor al inicial.

Resultados: Es un archivo Excel en el cual se ponen los resultados obtenidos con Cambia_dias_baja y Cambia_dias_sube, aquí aparecen los resultados que se muestran más adelante en las tablas del apartado 4.3.2.

FUNCIONAMIENTO

1. En primer lugar se deben ingresar los valores de radiación diaria de un año completo en el archivo “Datos”
2. Por medio del archivo “Identifica” que tiene en cuenta el valor mensual de radiación del mes a estudiar y el VMR correspondiente, se identifica si el programa debe ejecutar el archivo “Cambia_dias_baja” o “Cambia_dias_sube”
3. En los archivos “Cambia_dias_baja” y “Cambia_dias_sube” se establecen las condiciones iniciales del mes que se pretende estudiar, cómo son: el máximo cambio de días que será permitido por el programa, el máximo número de días que pueden repetirse en un mes; los días cambiados en la validación junto al día que ha sido utilizado para este reemplazo; el límite a tener en cuenta para que el programa termine; y el número de días cercanos al día que se va a cambiar, que pueden ser utilizados (por ejemplo: si el día a cambiar es el número 7 según la norma podrán ser utilizados los días desde el número 2 hasta el número 12).
4. En los archivos “baja_mes” y “sube_mes” se encuentra la función que utilizando las órdenes ingresadas en los programas “Cambia_dias_baja” y “Cambia_dias_sube” ejecuta el cambio de días del mes.

Con este programa se realiza el cambio de días establecido en la norma según las características de cada mes y los valores mensuales representativos del sitio donde se pretende

realizar la planta, se respeta el límite máximo de 15 días cambiados y se realiza el menor número de cambios posibles hasta obtener un valor aceptable según la norma.

El programa desarrollado permite la automatización del proceso de cambio de días, evitando posibles errores ocurridos cuando el proceso se realiza de forma manual, y reduciendo al máximo el tiempo invertido en la obtención de resultados. Permite llevar un almacenamiento de los días que han sido cambiados y de los días que han sido usados, lo cual facilita la revisión de los resultados en caso de ser necesario. Es uno de los grandes logros del proyecto por lo cual fue necesario invertir muchas horas en su elaboración.

3.4.4 Elaboración de diferentes ASR

Debido al alcance de este estudio se plantea la posibilidad de analizar, a partir de una gran cantidad de meses previamente validados, las ecuaciones establecidas para la generación del ASR.

En primer lugar se obtendrá la distancia del VMR y el valor medio del mes, que nos dará una idea de lo alejado que se encuentra del VMR y si es apropiado el considerar una distancia de dos veces la desviación estándar ($2\sigma_j$) como lo establece la norma para cualificar el mes. En segundo lugar se evaluarán una gran cantidad de meses que deberán ser corregidos (cambio de días) según lo establece la norma hasta alcanzar una diferencia menor a los 3 kWh/m^2 la cual llamaremos límite 1. Existe una propuesta alternativa de establecer un nuevo límite al cual llamaremos límite 2 y que será explicado más adelante; se tuvieron en cuenta ambos límites para el desarrollo del estudio.

En las tablas mostradas a continuación se puede observar, para todos los meses que se consideraron como válidos en los emplazamientos, y por tanto, que podrían participar en el proceso de generación de ASR, las características de la información obtenida para cada mes como resultado de aplicar el procedimiento establecido en la norma.

Descripción de los parámetros presentes en la tabla:

VMR: Valor Mensual Representativo de la irradiación obtenido a través de varias fuentes para el mes correspondiente.

σ : Desviación estándar asociada al VMR.

VMini.: Es el valor inicial de radiación que tiene el mes.

VDR: Valor Diario Representativo, es obtenido de dividir el VMR por el número de días correspondientes al mes (31,30 o 28).

VDmes: Es el valor inicial de radiación diaria que tiene el mes, es obtenido de dividir el VM_{ini} por el número de días correspondientes al mes (31,30 o 28).

Validación A: Indica que los datos del mes han sido tratados por medio del método del procedimiento 2 (Apartado 2.2).

Validación B: Indica que los datos del mes han sido tratados por medio del método del procedimiento 1 (Apartado 2.2).

Límite 1: Indica que se realizó un cambio de días del mes cumpliendo el límite de 3 kWh/m², es decir, hasta que la diferencia entre el Valor Mensual Representativo (VMR) y el Valor de irradiación del mes fuera menor a los 3 kWh/m².

Límite 2: Indica que se realizó un cambio de días en el mes cumpliendo el límite de VM_{Rj}/N_j (N_j: Número de días del mes), lo que es igual al Valor Diario del mes (VM_{Rj}/N_j = VD_{mes}). Es decir, hasta que la diferencia entre el Valor Mensual Representativo (VMR) y el Valor de irradiación del mes fuera menor al VD_{mes}.

Días: Representa el número de días cambiados que han sido necesarios para obtener el resultado indicado en la norma.

NOTA: Los valores entre PARENTESIS en la COLUMNA DÍAS de las siguientes tablas representan los días cambiados en el proceso de validación, por tanto si no existe un día en paréntesis es porque no se realizó ningún cambio durante dicho proceso.

VM_{fin}: Representa el valor de radiación que se ha obtenido una vez que se ha realizado el cambio de número de días cumpliendo con el límite 1 o límite 2 según corresponda.

Consideraciones

A lo largo del estudio se plantearon posibles indicadores, con el fin de identificar antes de aplicar el proceso de cambio de días, cuando un mes pudiera conformar el ASR. Algunos meses después de participar en el proceso de cambio de días no convergen, es decir, realizan el cambio máximo de 15 días permitidos por norma, y aun así, no alcanzan el límite establecido (límite 1 o límite 2, según sea el caso). Para esta razón se plantearon los indicadores **Factor VDR** y **Dif. VDR**, buscando observar alguna relación en los valores de irradiación de los meses que no convergen, o que lo hacen después de un número alto de días cambiados. Estos indicadores se describen a continuación:

Factor VDR: Según el valor de irradiación de cada día del mes. Da una idea de la cantidad de días del mes en que el valor de irradiación se encuentra por encima del Valor Diario Representativo (VDR) y cuantos días por debajo. Se calcula de la siguiente manera

$$\text{Factor (F)VDR} = \frac{\text{Número de días por encima del VDR}}{\text{Número total de días del mes}}$$

Ecuación 6. Factor (F) VDR.

Por lo tanto cuando el resultado más se acerque a 1 representa mayor cantidad de días por encima del VDR y en caso contrario cuando el resultado se acerque a 0 representa mayor cantidad de días por debajo del VDR.

Dif. VDR: Según el valor de irradiación de cada día del mes. Su resultado representa la distancia entre el valor máximo de irradiación diario y el valor mínimo de irradiación diario, durante un mismo mes.

NAVARRA. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

Tabla 12. Datos para la generación del ASR en Navarra

NAVARRA									Validación A				Validación B			
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
									VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días
2010	Ene	47.34	3.62	41.64	1.53	1.34	0.42	1.31	45.59	2	47.50	3	45.59	2	47.50	3
2010	Feb	69.62	6.03	56.98	2.49	2.03	0.46	1.81	68.75	4	68.75	4	68.75	4	68.75	4
2010	Mar	116.61	13.49	112.13	3.76	3.62	0.58	2.00	115.59	1	115.59	1	115.59	1	115.59	1
2010	Abr	141.59	17.22	152.56	4.72	5.09	0.53	3.03	141.57	2(1)	141.57	2(1)	141.57	2(1)	141.57	2(1)
2010	May	180.66	13.47	168.13	5.83	5.42	0.52	3.64	179.21	3	179.21	3	179.21	3	179.21	3
2010	Jun	199.10	12.20	178.05	6.64	5.93	0.53	4.05	198.40	3	198.40	3	198.40	3	198.40	3
2010	Jul	213.73	7.95	214.54	6.89	6.92	0.65	2.81	214.54	0	214.54	0	214.54	0	214.54	0
2010	Ago	184.69	6.03	184.72	5.96	5.96	0.61	2.26	184.72	0(1)	184.72	0(1)	184.72	0(1)	184.72	0(1)
2010	Sep	136.50	6.60	138.63	4.55	4.62	0.53	2.08	138.63	0	138.63	0	138.63	0	138.63	0
2010	Oct	91.52	7.08	93.67	2.95	3.02	0.55	2.03	93.67	0	93.67	0	93.67	0	93.67	0
2010	Nov	52.85	3.56	45.53	1.76	1.52	0.47	1.16	50.86	3	53.09	4	50.86	3	53.09	4
2010	Dic	44.36	4.56	45.07	1.43	1.45	0.48	1.14	45.07	0	45.07	0	45.07	0	45.07	0
2011	Ene	47.34	3.62	52.28	1.53	1.69	0.48	1.40	49.72	1	47.20	2	49.72	1	47.20	2
2011	Feb	69.62	6.03	70.27	2.49	2.51	0.57	1.70	70.27	0	70.27	0	70.27	0	70.27	0
2011	Mar	116.61	13.49	103.25	3.76	3.33	0.52	2.61	116.23	3	116.23	3	116.23	3	116.23	3
2011	Abr	141.59	17.22	160.28	4.72	5.34	0.57	2.94	141.62	5	145.14	4	141.62	5	145.14	4
2011	May	180.66	13.47	197.97	5.83	6.39	0.65	2.83	179.72	4(1)	185.27	3(1)	179.72	4(1)	185.27	3(1)
2011	Jun	199.10	12.20	195.76	6.64	6.53	0.53	2.51	199.11	1(1)	195.76	0(1)	199.11	1(1)	195.76	0(1)
2011	Jul	213.73	7.95	199.84	6.89	6.45	0.65	3.31	211.65	2	211.65	2	211.65	2	211.65	2

2011	Ago	184.69	6.03	187.25	5.96	6.04	0.65	2.10	187.25	0	187.25	0	187.25	0	187.25	0
2011	Sep	136.50	6.60	147.28	4.55	4.91	0.53	1.50	137.11	3	140.45	2	137.11	3	140.45	2
2011	Oct	91.52	7.08	105.50	2.95	3.40	0.52	1.87	92.45	5	92.45	5	92.45	5	92.45	5
2011	Nov	52.85	3.56	52.03	1.76	1.73	0.53	1.28	52.03	0	52.03	0	52.03	0	52.03	0
2011	Dic	44.36	4.56	37.51	1.43	1.21	0.48	0.84	42.84	4 (1)	44.55	5(1)	42.84	4(1)	44.55	5(1)
2012	Ene	47.34	3.62	52.75	1.53	1.70	0.48	0.87	49.26	2	47.81	3	49.26	2	47.81	3
2012	Feb	69.62	6.03	80.20	2.49	2.86	0.57	2.06	72.09	4	72.09	4	72.09	4	72.09	4
2012	Mar	116.61	13.49	140.94	3.76	4.55	0.58	2.23	118.12	10	118.12	10	118.12	10	118.12	10
2012	Abr	141.59	17.22	96.23	4.72	3.21	0.40	2.48	138.72	10(1)	138.72	10(1)	140.34	10(1)	137.24	10(1)
2012	May	180.66	13.47	189.95	5.83	6.13	0.61	3.41	180.42	2 (2)	185.15	1(2)	180.42	2(2)	185.15	1(2)
2012	Jun	199.10	12.20	201.42	6.64	6.71	0.60	3.25	201.42	0	201.42	0	201.42	0	201.42	0
2012	Jul	213.73	7.95	224.54	6.89	7.24	0.58	1.62	214.85	5	220.07	3	214.85	5	220.07	3
2012	Ago	184.69	6.03	193.50	5.96	6.24	0.68	2.38	185.41	2	189.35	1	185.41	2	189.35	1
2012	Sep	136.50	6.60	132.57	4.55	4.42	0.60	2.62	136.09	1	132.57	0	136.09	1	132.57	0
2012	Oct	91.52	7.08	87.24	2.95	2.81	0.48	1.91	90.06	1	90.06	1	90.06	1	90.06	1
2012	Nov	52.85	3.56	56.27	1.76	1.88	0.53	1.53	53.42	1	53.42	1	53.42	1	53.42	1
2012	Dic	44.36	4.56	43.27	1.43	1.40	0.48	0.92	43.27	0	43.27	0	43.27	0	43.27	0

1. Durante los tres años de datos analizados en Navarra, no se encontró ningún mes que realizara el número máximo de cambios permitidos por la norma (15 días).
2. El máximo número de cambios de días ocurre en Abril del 2012, con un total de 11 días cambiados incluyendo el proceso de validación.

Tabla 13. Características del mes con más cambios en Navarra

NAVARRA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días
2012	Abr	141.59	17.22	96.23	4.72	3.21	0.4	2.48	138.72	10(1)	138.72	10(1)	140.34	10(1)	137.24	10(1)

El Factor VDR indica una mayor cantidad de días con valor de irradiación por debajo del Valor Diario Representativo (VDR).

El valor Dif. VDR indica una diferencia de 2.48 kWh/m² entre el valor máximo y mínimo de irradiación de los valores de este mes.

Al comparar los valores de estos indicadores (Factor VDR y Dif. VDR) con los valores de otros meses, parece no existir una relación que determine porque este mes obtuvo el mayor número de días cambiados.

SORIA. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)

Tabla 14. Datos para la generación del ASR en Soria

SORIA									Validación A				Validación B			
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
									VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días
2005	Nov	62.74	8.07	60.11	2.09	2.00	0.47	1.67	60.11	0(1)	63.11	1(1)	60.11	0(1)	63.11	1(1)
2006	Feb	81.42	8.11	86.71	2.91	3.10	0.57	1.63					82.29	1(4)	82.29	1(4)
2006	Mar	128.57	12.44	120.63	4.15	3.89	0.45	2.23					128.69	2(4)	125.15	1(4)
2006	Abr	154.61	10.39	169.67	5.15	5.66	0.43	3.00	154.52	5(1)	159.61	4(1)	154.52	5(1)	159.61	4(1)
2006	May	191.63	13.59	215.83	6.18	6.96	0.58	2.48	191.61	8	195.46	7	191.61	8	195.46	7
2006	Jun	214.91	8.42	211.58	7.16	7.05	0.50	2.56	215.35	1	211.58	0	215.35	1	211.58	0
2006	Jul	233.31	8.45	226.77	7.53	7.32	0.58	1.81	233.01	2	226.77	0	233.01	2	226.77	0
2006	Ago	201.43	6.90	210.17	6.50	6.78	0.61	2.27	203.98	4	206.93	2	203.98	4	206.93	2
2006	Sep	150.46	7.53	140.32	5.02	4.68	0.53	2.51	149.35	2	149.35	2	149.35	2	149.35	2
2006	Oct	102.18	8.38	97.73	3.30	3.15	0.58	2.16	101.95	1	101.95	1	101.95	1	101.95	1
2006	Nov	62.74	8.07	57.14	2.09	1.90	0.47	1.84	60.16	1	62.56	2	60.16	1	62.56	2
2006	Dic	51.49	2.85	54.85	1.66	1.77	0.55	1.35	52.97	1(1)	52.97	1(1)	52.97	1(1)	52.97	1(1)
2007	Ene	56.64	5.21	60.48	1.83	1.95	0.61	1.32	57.58	1	57.58	1	57.58	1	57.58	1
2007	Feb	81.42	8.11	64.49	2.91	2.30	0.50	1.86	81.02	6	81.02	6	81.02	6	81.02	6
2007	Mar	128.57	12.44	126.86	4.15	4.09	0.52	2.16	126.86	0	126.86	0	126.86	0	126.86	0
2007	Abr	154.61	10.39	135.62	5.15	4.52	0.47	3.32	154.62	5	151.40	4	154.62	5	151.40	4
2007	May	191.63	13.59	177.03	6.18	5.71	0.52	3.65	189.42	2	189.42	2	189.42	2	189.42	2
2007	Jul	233.31	8.45	237.58	7.53	7.66	0.58	1.47	234.52	1(1)	237.58	0(1)	234.52	1(1)	237.58	0(1)
2007	Ago	201.43	6.90	191.11	6.50	6.16	0.58	2.59	199.64	2(1)	196.00	1(1)	199.64	2(1)	196.00	1(1)
2007	Sep	150.46	7.53	159.07	5.02	5.30	0.50	1.92					152.76	4(3)	154.26	3(3)
2007	Oct	102.18	8.38	113.44	3.30	3.66	0.58	1.63	104.33	4(2)	104.33	4(2)	104.33	4(2)	104.33	4(2)
2007	Nov	62.74	8.07	87.30	2.09	2.91	0.57	1.31	66.36	15	66.36	15	66.36	15	66.36	15
2008	Feb	81.42	8.11	74.41	2.91	2.66	0.54	2.24	81.25	2	81.25	2	81.25	2	81.25	2
2008	Mar	128.57	12.44	126.14	4.15	4.07	0.58	2.07	126.14	0	126.14	0	126.14	0	126.14	0
2008	Abr	154.61	10.39	159.05	5.15	5.30	0.53	2.85	155.80	1(1)	159.05	0(1)	155.80	1(1)	159.05	0(1)
2008	May	191.63	13.59	155.64	6.18	5.02	0.58	3.11	189.01	7	185.78	6	189.01	7	185.78	6
2008	Ago	201.43	6.90	207.67	6.50	6.70	0.52	1.65	202.20	2(1)	207.67	0(1)				
2008	Ago	201.43	6.90	207.39	6.50	6.69	0.52	1.65					201.92	2(1)	207.39	0(1)
2008	Sep	150.46	7.53	151.88	5.02	5.06	0.60	1.80	151.88	0	151.88	0	151.88	0	151.88	0
2008	Oct	102.18	8.38	96.11	3.30	3.10	0.55	2.44	99.67	1(1)	99.67	1(1)	99.67	1(1)	99.67	1(1)
2008	Nov	62.74	8.07	64.35	2.09	2.15	0.53	1.52	64.35	0	64.35	0	64.35	0	64.35	0
2009	Ene	56.64	5.21	52.01	1.83	1.68	0.39	1.36	53.78	1(1)	55.85	2(1)	53.78	1(1)	55.85	2(1)
2009	Feb	81.42	8.11	88.48	2.91	3.16	0.61	2.51	83.50	2	83.50	2	83.50	2	83.50	2
2009	Mar	128.57	12.44	146.25	4.15	4.72	0.61	2.73	127.37	4	132.05	3	127.37	4	132.05	3
2009	Abr	154.61	10.39	151.71	5.15	5.06	0.53	2.72	151.71	0	151.71	0	151.71	0	151.71	0

2010	Feb	81.42	8.11	64.68	2.91	2.31	0.46	1.93	79.92	5(1)	79.92	5(1)	79.92	5(1)	79.92	5(1)
2010	Mar	128.57	12.44	110.23	4.15	3.56	0.45	2.20	128.35	5	125.47	4	128.35	5	125.47	4
2010	Abr	154.61	10.39	151.11	5.15	5.04	0.57	2.85	154.82	1	151.11	0	154.82	1	151.11	0
2010	May	191.63	13.59	181.86	6.18	5.87	0.52	3.77	191.75	2	185.69	1	191.75	2	185.69	1
2010	Jun	214.91	8.42	184.89	7.16	6.16	0.63	3.24	213.43	6	209.99	5	213.43	6	209.99	5
2010	Ago	201.43	6.90	201.52	6.50	6.50	0.65	1.68	201.52	0	201.52	0	201.52	0	201.52	0
2010	Sep	150.46	7.53	141.44	5.02	4.71	0.53	2.18	149.06	2	145.46	1	149.06	2	145.46	1
2010	Nov	62.74	8.07	56.98	2.09	1.90	0.53	1.30	60.87	2(2)	60.87	2(2)	60.87	2(2)	60.87	2(2)
2010	Dic	51.49	2.85	52.54	1.66	1.69	0.58	1.22	52.54	0	52.54	0	52.54	0	52.54	0
2011	Ene	56.64	5.21	53.88	1.83	1.74	0.42	1.81	53.88	0	56.57	1	53.88	0	56.57	1
2011	Feb	81.42	8.11	85.87	2.91	3.07	0.71	1.95	83.65	1(1)	83.65	1	83.65	1(1)	83.65	1(1)
2011	Mar	128.57	12.44	92.13	4.15	2.97	0.48	2.67	125.69	8	125.69	8	125.69	8	125.69	8
2011	Abr	154.61	10.39	158.69	5.15	5.29	0.53	2.88	154.44	1	158.69	0	154.44	1	158.69	0
2011	May	191.63	13.59	189.99	6.18	6.13	0.45	2.41	189.99	0(1)	189.99	0	189.99	0(1)	189.99	0(1)
2011	Jun	214.91	8.42	218.08	7.16	7.27	0.60	2.08	214.96	1(1)	218.08	0	214.96	1(1)	218.08	0
2011	Jul	233.31	8.45	234.93	7.53	7.58	0.68	1.98	234.93	0	234.93	0	234.93	0	234.93	0
2011	Ago	201.43	6.90	204.05	6.50	6.58	0.65	1.90					204.05	0(3)	204.05	0(3)
2011	Dic	51.49	2.85	54.40	1.66	1.75	0.58	1.20	54.40	0	51.49	2	54.40	0	51.49	2
2012	Ene	56.64	5.21	68.86	1.83	2.22	0.55	1.19	57.63	5	57.63	5	57.63	5	57.63	5
2012	Feb	81.42	8.11	93.03	2.91	3.32	0.61	2.07	84.08	5	84.08	5	84.08	5	84.08	5
2012	Mar	128.57	12.44	153.25	4.15	4.94	0.61	1.72	129.64	14(1)	129.64	14(1)	129.64	14(1)	129.64	14(1)
2012	Abr	154.61	10.39	118.68	5.15	3.96	0.40	2.73	152.57	7(1)	152.57	7(1)	152.57	7(1)	152.57	7(1)
2013	Feb	81.42	8.11	70.63	2.91	2.52	0.54	1.30	79.49	4(1)	79.49	4(1)	79.49	4(1)	79.49	4(1)
2013	Abr	154.61	10.39	149.00	5.15	4.97	0.43	3.27	155.05	1	155.05	1	155.05	1	155.05	1

1. De todos los datos analizados en Soria, solo un mes alcanzo el número máximo de cambios permitidos por la norma (15 días). Este mes es noviembre del 2007 y por tanto no puede formar parte del ASR.

Tabla 15. Características del mes con más cambios en Soria

SORIA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días
2007	Nov	62.74	8.07	87.3	2.09	2.91	0.57	1.31	66.36	15	66.36	15	66.36	15	66.36	15

El Factor VDR indica una mayor cantidad de días con valor de irradiación por encima del Valor Diario Representativo (VDR).

El valor Dif. VDR indica una diferencia de 1.31 kWh/m² entre el valor máximo y mínimo de irradiación de los valores de este mes.

De manera similar al caso de Navarra, al comparar los valores de estos indicadores (Factor VDR y Dif. VDR) con los valores de otros meses, parece no existir una relación que determine porque este mes alcanzo el máximo de cambios permitidos.

2. Se observa que algunos meses no superan el proceso de validación A y por tanto no pueden ser utilizados (aparecen sin valores en la Tabla 15).

Tabla 16. Meses que no superan el proceso de validación A en Soria

SORIA									Validación A				Validación B			
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
									VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días
2006	Feb	81.42	8.11	86.71	2.91	3.10	0.57	1.63					82.29	1(4)	82.29	1(4)
2006	Mar	128.57	12.44	120.63	4.15	3.89	0.45	2.23					128.69	2(4)	125.15	1(4)
2007	Sep	150.46	7.53	159.07	5.02	5.30	0.50	1.92					152.76	4(3)	154.26	3(3)
2008	Ago	201.43	6.90	207.39	6.50	6.69	0.52	1.65					201.92	2(1)	207.39	0(1)
2011	Ago	201.43	6.90	204.05	6.50	6.58	0.65	1.90					204.05	0(3)	204.05	0(3)

3. Solo en el mes de agosto del 2008 el Valor Medio inicial (VMini) de irradiación obtenido una vez superados los procesos de validación no es igual. Como se puede observar en la siguiente Tabla el procedimiento de validación A tiene un valor VMini de 207.67 kWh/m², mientras el proceso de validación B tiene un valor VMini de 207.39 kWh/m².

Tabla 17. Diferencia en los procesos de validación Soria

SORIA									Validación A				Validación B			
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
									VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días
2008	Ago	201.43	6.9	207.67	6.5	6.7	0.52	1.65	202.2	2(1)	207.67	0(1)				
2008	Ago	201.43	6.9	207.39	6.5	6.69	0.52	1.65					201.92	2(1)	207.39	0(1)

SEVILLA. Planta termosolar

Tabla 18. Datos para la generación del ASR en Sevilla

SEVILLA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días
2011	Ene	78.53	9.77	73.00	2.53	2.35	0.48	1.50	75.71	1	77.94	2	75.71	1	77.94	2
2011	Feb	97.41	11.12	108.39	3.48	3.87	0.68	1.73	99.61	4	99.61	4	99.61	4	99.61	4
2011	Mar	146.81	10.14	135.61	4.74	4.37	0.61	3.16	145.40	2	145.40	2	145.40	2	145.40	2
2011	Abr	178.05	12.97	162.35	5.94	5.41	0.60	3.98	175.41	2	175.41	2	175.41	2	175.41	2
2011	May	214.97	13.94	207.78	6.93	6.70	0.65	2.99	213.63	1	213.63	1	213.63	1	213.63	1
2011	Jun	238.58	10.56	249.28	7.95	8.31	0.67	0.93	241.45	7	244.44	3	241.45	7	244.44	3
2011	Jul	250.91	7.52	248.65	8.09	8.02	0.58	0.92	248.65	0	248.65	0	248.65	0	248.65	0
2011	Ago	222.14	7.76	214.74	7.17	6.93	0.68	1.37	220.79	2	218.34	1	220.79	2	218.34	1
2011	Sep	165.72	10.42	170.20	5.52	5.67	0.63	1.94	165.88	1	170.20	0	165.88	1	170.20	0
2011	Oct	119.74	10.29	138.60	3.86	4.47	0.55	1.24	130.25	15	130.25	15	130.25	15	130.25	15
2011	Nov	83.04	9.14	83.49	2.77	2.78	0.57	1.58	83.49	0	83.49	0	83.49	0	83.49	0
2011	Dic	69.21	5.46	83.05	2.23	2.68	0.74	1.43	72.04	13	71.85	15	72.04	13	71.85	15

- De los 12 meses analizados en Sevilla, durante 2 ocasiones se alcanzó el número máximo de cambios permitidos por la norma (15 días). Esto fue en octubre del 2011 y en diciembre del 2011, este último solo al evaluarse bajo el límite 2.

Tabla 19. Características de los meses con más cambios en Sevilla

SEVILLA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini.	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfin.	Días
2011	Oct	119.74	10.29	138.6	3.86	4.47	0.55	1.24	130.25	15	130.25	15	130.25	15	130.25	15
2011	Dic	69.21	5.46	83.05	2.23	2.68	0.74	1.43	72.04	13	71.85	15	72.04	13	71.85	15

Cabe resaltar como en el mes de diciembre bajo el límite 1, el proceso termina al realizar 13 cambios de días, mientras que al ser evaluado bajo el límite 2, no se supera el proceso al alcanzar el número máximo de días cambiados, en cuyo caso no podrán conformar el ASR.

En ambos casos el Factor VDR indica una mayor cantidad de días con valor de irradiación por encima del Valor Diario Representativo (VDR).

El valor Dif. VDR indica una diferencia en el primer caso de 1.24 kWh/m² y en el segundo caso de 1.43 kWh/m² entre el valor máximo y mínimo de irradiación de los valores del respectivo mes.

De nuevo no parece haber ninguna información sobre los indicadores (Factor VDR y Dif. VDR) que permitan determinar porque estos meses alcanzan el máximo de cambios permitidos.

Almería. Plataforma Sola de Almería (PSA)

Tabla 20. Datos para la generación del ASR en Almería

ALMERÍA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días
2002	Jul	239.53	9.49	239.91	7.73	7.74	0.65	0.98	239.91	0	239.91	0	239.91	0	239.91	0
2002	Ago	210.04	15.04	154.49	6.78	4.98	0.68	5.87	194.86	15	194.86	15	194.86	15	194.86	15
2002	Sep	159.47	7.85	151.02	5.32	5.03	0.57	2.18	157.26	1	157.26	1	157.26	1	157.26	1
2002	Oct	122.01	7.06	124.56	3.94	4.02	0.58	1.49	124.56	0	124.56	0	124.56	0	124.56	0
2002	Nov	86.27	6.65	87.15	2.88	2.90	0.60	1.42	87.15	0	87.15	0	87.15	0	87.15	0
2002	Dic	77.92	6.23	77.76	2.51	2.51	0.68	1.23	77.76	0	77.76	0	77.76	0	77.76	0
2003	Ene	85.52	7.97	94.75	2.76	3.06	0.61	1.19	86.71	9	86.71	9	86.71	9	86.71	9
2003	Feb	102.20	8.71	90.60	3.65	3.24	0.57	2.09	102.21	3	102.21	3	102.21	3	102.21	3
2003	Mar	149.53	11.56	136.76	4.82	4.41	0.65	2.78	146.90	2	146.90	2	146.90	2	146.90	2
2003	Abr	179.52	14.62	178.91	5.98	5.96	0.57	2.24	178.91	0	178.91	0	178.91	0	178.91	0
2003	May	211.92	14.41	216.63	6.84	6.99	0.65	2.64	212.81	1	216.63	0	212.81	1	216.63	0
2003	Jun	231.10	7.52	228.83	7.70	7.63	0.63	1.55	228.83	0	228.83	0	228.83	0	228.83	0
2005	Mar	149.53	11.56	146.91	4.82	4.74	0.58	2.11	146.91	0	146.91	0	146.91	0	146.91	0
2005	Abr	179.52	14.62	199.79	5.98	6.66	0.57	1.66	180.42	11	184.47	9	180.42	11	184.47	9
2005	May	211.92	14.41	226.86	6.84	7.32	0.65	2.35	212.70	6	218.22	3	212.70	6	218.22	3
2005	Jun	231.10	7.52	240.44	7.70	8.01	0.73	1.08	233.55	3	235.92	1	233.55	3	235.92	1
2005	Jul	239.53	9.49	242.40	7.73	7.82	0.65	0.89	242.40	0	242.40	0	242.40	0	242.40	0
2005	Ago	210.04	15.04	208.14	6.78	6.71	0.65	1.64	208.14	0	208.14	0	208.14	0	208.14	0
2005	Sep	159.47	7.85	167.53	5.32	5.58	0.50	1.56	161.26	2	163.45	1	161.26	2	163.45	1
2005	Oct	122.01	7.06	126.02	3.94	4.07	0.52	1.48	123.89	1	123.89	1	123.89	1	123.89	1
2005	Nov	86.27	6.65	91.22	2.88	3.04	0.53	1.37	89.08	1	89.08	1	89.08	1	89.08	1
2006	Ene	85.52	7.97	69.93	2.76	2.26	0.52	1.66	82.81	5	82.81	5	82.81	5	82.81	5
2006	Feb	102.20	8.71	99.97	3.65	3.57	0.71	1.77	99.97	0	99.97	0	99.97	0	99.97	0
2006	Mar	149.53	11.56	165.38	4.82	5.33	0.65	1.68	149.93	7	152.75	6	149.93	7	152.75	6
2006	Abr	179.52	14.62	171.28	5.98	5.71	0.53	2.03	180.12	2	176.44	1	180.12	2	176.44	1
2006	May	211.92	14.41	182.29	6.84	5.88	0.71	4.47	212.29	5	208.08	4	212.29	5	208.08	4
2006	Jun	231.10	7.52	218.24	7.70	7.27	0.70	2.89	229.01	2	223.63	1	229.01	2	223.63	1
2006	Jul	239.53	9.49	195.88	7.73	6.32	0.77	6.88	224.14	15	224.14	15	224.14	15	224.14	15
2006	Ago	210.04	15.04	217.29	6.78	7.01	0.61	1.01	211.78	3	215.41	1	211.78	3	215.41	1
2006	Sep	159.47	7.85	166.15	5.32	5.54	0.60	1.46	161.93	3	163.35	2	161.93	3	163.35	2
2006	Oct	122.01	7.06	122.51	3.94	3.95	0.48	1.60	122.51	0	122.51	0	122.51	0	122.51	0

2006	Nov	86.27	6.65	78.68	2.88	2.62	0.53	1.78	84.92	2	84.92	2	84.92	2	84.92	2
2006	Dic	77.92	6.23	76.96	2.51	2.48	0.58	1.01	76.96	0	76.96	0	76.96	0	76.96	0
2007	Ene	85.52	7.97	80.22	2.76	2.59	0.68	1.78	83.49	1	83.49	1	83.49	1	83.49	1
2007	Feb	102.20	8.71	100.47	3.65	3.59	0.57	2.00	100.47	0	100.47	0	100.47	0	100.47	0
2007	Mar	149.53	11.56	159.44	4.82	5.14	0.61	2.13	152.45	2	152.45	2	152.45	2	152.45	2
2007	Abr	179.52	14.62	144.22	5.98	4.81	0.60	3.62	177.57	7	177.57	7	177.57	7	177.57	7
2007	May	211.92	14.41	222.57	6.84	7.18	0.68	2.29	211.82	4	217.17	2	211.82	4	217.17	2
2007	Jun	231.10	7.52	237.49	7.70	7.92	0.70	1.48	232.65	2	237.49	0	232.65	2	237.49	0
2007	Jul	239.53	9.49	250.41	7.73	8.08	0.55	0.49	242.26	11	246.54	6	242.26	11	246.54	6
2007	Ago	210.04	15.04	205.91	6.78	6.64	0.65	1.76	210.01	1	205.91	0	210.01	1	205.91	0
2007	Sep	159.47	7.85	157.26	5.32	5.24	0.70	2.16	157.26	0	157.26	0	157.26	0	157.26	0
2007	Oct	122.01	7.06	116.50	3.94	3.76	0.65	2.55	120.51	1	120.51	1	120.51	1	120.51	1
2007	Nov	86.27	6.65	92.22	2.88	3.07	0.63	1.67	88.43	2	88.43	2	88.43	2	88.43	2
2008	Ene	85.52	7.97	89.50	2.76	2.89	0.74	1.81	87.30	1	87.30	1	87.30	1	87.30	1
2008	Feb	102.20	8.71	88.30	3.65	3.15	0.61	2.16	99.49	4	99.49	4	99.49	4	99.49	4
2008	Mar	149.53	11.56	166.99	4.82	5.39	0.68	2.05	149.53	4	149.53	4	149.53	4	149.53	4
2008	Abr	179.52	14.62	196.21	5.98	6.54	0.63	2.14	179.59	8	185.19	6	179.59	8	185.19	6
2008	May	211.92	14.41	199.62	6.84	6.44	0.55	2.46	211.61	2	205.91	1	211.61	2	205.91	1
2008	Jun	231.10	7.52	234.26	7.70	7.81	0.67	2.13	233.33	1	234.26	0	233.33	1	234.26	0
2008	Jul	239.53	9.49	238.83	7.73	7.70	0.71	1.71	238.83	0	238.83	0	238.83	0	238.83	0
2008	Ago	210.04	15.04	219.39	6.78	7.08	0.61	1.07	212.24	10	216.52	4	212.24	10	216.52	4
2008	Sep	159.47	7.85	144.81	5.32	4.83	0.57	2.39	157.44	4	154.67	3	157.44	4	154.67	3
2008	Oct	122.01	7.06	107.72	3.94	3.47	0.52	2.06	119.11	3	119.11	3	119.11	3	119.11	3
2008	Nov	86.27	6.65	92.83	2.88	3.09	0.63	1.41	88.12	2	88.12	2	88.12	2	88.12	2
2008	Dic	77.92	6.23	74.60	2.51	2.41	0.61	1.37	76.86	1	76.86	1	76.86	1	76.86	1
2009	Ene	85.52	7.97	77.75	2.76	2.51	0.55	1.78	82.72	2	85.15	3	82.72	2	85.15	3
2009	Feb	102.20	8.71	105.74	3.65	3.78	0.57	1.78	103.32	1	105.74	0	103.32	1	105.74	0
2009	Mar	149.53	11.56	151.50	4.82	4.89	0.65	2.72	151.50	0	151.50	0	151.50	0	151.50	0
2009	Abr	179.52	14.62	185.99	5.98	6.20	0.53	2.30	181.97	1	181.97	1	181.97	1	181.97	1
2009	May	211.92	14.41	226.04	6.84	7.29	0.74	2.72	212.80	4	217.68	3	212.80	4	217.68	3
2009	Jun	231.10	7.52	238.79	7.70	7.96	0.63	1.47	234.07	2	238.79	0	234.07	2	238.79	0
2009	Jul	239.53	9.49	243.50	7.73	7.85	0.68	1.21	242.26	1	243.50	0	242.26	1	243.50	0
2009	Ago	210.04	15.04	221.17	6.78	7.13	0.61	1.23	211.80	6	216.74	3	211.80	6	216.74	3
2009	Sep	159.47	7.85	141.54	5.32	4.72	0.53	2.97	156.87	5	156.87	5	156.87	5	156.87	5
2009	Oct	122.01	7.06	135.29	3.94	4.36	0.58	1.35	124.09	6	124.09	6	124.09	6	124.09	6
2009	Nov	86.27	6.65	97.70	2.88	3.26	0.60	1.31	88.22	13	88.22	13	88.22	13	88.22	13
2009	Dic	77.92	6.23	71.97	2.51	2.32	0.61	1.68	77.00	2	77.00	2	77.00	2	77.00	2
2010	Ene	85.52	7.97	79.99	2.76	2.58	0.58	1.74	83.90	1	83.90	1	83.90	1	83.90	1
2010	Feb	102.20	8.71	88.03	3.65	3.14	0.54	2.23	99.84	3	99.84	3	99.84	3	99.84	3
2010	Mar	149.53	11.56	132.18	4.82	4.26	0.58	3.25	146.62	3	146.62	3	146.62	3	146.62	3
2010	Abr	179.52	14.62	166.57	5.98	5.55	0.60	2.27	177.87	3	174.51	2	177.87	3	174.51	2
2010	May	211.92	14.41	239.26	6.84	7.72	0.71	1.74	211.95	10	216.24	9	211.95	10	216.24	9
2010	Jun	231.10	7.52	227.88	7.70	7.60	0.73	2.46	231.15	1	227.88	0	231.15	1	227.88	0

2010	Jul	239.53	9.49	240.79	7.73	7.77	0.71	1.41	240.79	0	240.79	0	240.79	0	240.79	0
2010	Ago	210.04	15.04	209.49	6.78	6.76	0.65	1.53	209.49	0	209.49	0	209.49	0	209.49	0
2010	Sep	159.47	7.85	165.30	5.32	5.51	0.70	2.45	161.76	1	161.76	1	161.76	1	161.76	1
2010	Oct	122.01	7.06	127.31	3.94	4.11	0.55	1.75	122.68	2	125.35	1	122.68	2	125.35	1
2010	Nov	86.27	6.65	85.54	2.88	2.85	0.60	2.10	85.54	0	85.54	0	85.54	0	85.54	0
2010	Dic	77.92	6.23	77.80	2.51	2.51	0.61	0.95	77.80	0	77.80	0	77.80	0	77.80	0
2011	Ene	85.52	7.97	75.36	2.76	2.43	0.55	1.54	83.35	3	83.35	3	83.35	3	83.35	3
2011	Feb	102.20	8.71	117.22	3.65	4.19	0.57	1.03	104.93	4	104.93	4	104.93	4	104.93	4
2011	Mar	149.53	11.56	140.46	4.82	4.53	0.55	2.99	149.57	2	145.42	1	149.57	2	145.42	1
2011	Abr	179.52	14.62	174.81	5.98	5.83	0.60	2.76	179.03	1	174.81	0	179.03	1	174.81	0
2011	May	211.92	14.41	198.14	6.84	6.39	0.55	3.13	210.74	2	210.74	2	210.74	2	210.74	2
2011	Jun	231.10	7.52	220.62	7.70	7.35	0.70	3.06	231.10	2	227.05	1	231.10	2	227.05	1
2011	Jul	239.53	9.49	239.11	7.73	7.71	0.61	1.39	239.11	0	239.11	0	239.11	0	239.11	0
2011	Ago	210.04	15.04	224.16	6.78	7.23	0.52	0.70	212.75	12	216.03	8	212.75	12	216.03	8
2011	Sep	159.47	7.85	178.52	5.32	5.95	0.60	1.53	159.86	6	164.14	5	159.86	6	164.14	5
2011	Oct	122.01	7.06	130.75	3.94	4.22	0.58	2.11	123.33	8	125.32	7	123.33	8	125.32	7
2011	Nov	86.27	6.65	84.58	2.88	2.82	0.57	1.59	84.58	0	84.58	0	84.58	0	84.58	0
2011	Dic	77.92	6.23	85.08	2.51	2.74	0.71	0.99	80.62	3	79.16	4	80.62	3	79.16	4
2012	Ene	85.52	7.97	92.27	2.76	2.98	0.68	1.14	88.21	2	88.21	2	88.21	2	88.21	2
2012	Feb	102.20	8.71	116.88	3.65	4.17	0.61	1.30	104.46	10	104.46	10	104.46	10	104.46	10
2012	Mar	149.53	11.56	167.35	4.82	5.40	0.58	1.54	152.52	4	152.52	4	152.52	4	152.52	4
2012	Abr	179.52	14.62	193.97	5.98	6.47	0.60	2.06	182.07	3	182.07	3	182.07	3	182.07	3
2012	May	211.92	14.41	232.74	6.84	7.51	0.65	1.74	214.31	7	217.03	6	214.31	7	217.03	6
2012	Jun	231.10	7.52	240.00	7.70	8.00	0.73	1.36	232.05	3	237.26	1	232.05	3	237.26	1
2012	Jul	239.53	9.49	246.20	7.73	7.94	0.61	0.77	242.30	3	246.20	0	242.30	3	246.20	0
2012	Ago	210.04	15.04	210.63	6.78	6.79	0.61	1.13	210.63	0	210.63	0	210.63	0	210.63	0
2012	Sep	159.47	7.85	157.15	5.32	5.24	0.63	2.59	157.15	0	157.15	0	157.15	0	157.15	0
2012	Oct	122.01	7.06	123.13	3.94	3.97	0.61	2.29	123.13	0	123.13	0	123.13	0	123.13	0
2012	Nov	86.27	6.65	74.61	2.88	2.49	0.50	1.52	83.95	3	83.95	3	83.95	3	83.95	3
2012	Dic	77.92	6.23	83.24	2.51	2.69	0.58	0.88	79.70	2	79.70	2	79.70	2	79.70	2

1. De todos los meses analizados en Almería, durante 2 ocasiones se alcanzó el número máximo de cambios permitidos por la norma (15 días), en agosto del 2002 y en julio del 2006.

Tabla 21. Características de los meses con más cambios en Almería

ALMERIA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días
2002	Ago	210.04	15.04	154.49	6.78	4.98	0.68	5.87	194.86	15	194.86	15	194.86	15	194.86	15
2006	Jul	239.53	9.49	195.88	7.73	6.32	0.77	6.88	224.14	15	224.14	15	224.14	15	224.14	15

De la gran cantidad de meses evaluados en Almería (104), solo dos han alcanzado el número máximo de cambio de días, por lo cual no pueden formar parte del ASR.

En ambos casos el Factor VDR indica una mayor cantidad de días con valor de irradiación por encima del Valor Diario Representativo (VDR).

El valor Dif. VDR indica una diferencia en el primer caso de 5.87 kWh/m² y en el segundo caso de 6.88 kWh/m² entre el valor máximo y mínimo de irradiación de los valores del respectivo mes.

No parece existir ninguna información en los valores de los indicadores (Factor VDR y Dif. VDR) que permitan determinar porque estos meses alcanzan el máximo de cambios permitidos.

3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. A continuación se presentan los meses con mayores cambios en cada uno de los emplazamientos.

Tabla 22. Resumen de meses con mayores cambios de días

										Validación A				Validación B			
										Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
	AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días
NAVARRA	2012	Abr	141.59	17.22	96.23	4.72	3.21	0.4	2.48	138.72	10(1)	138.72	10(1)	140.34	10(1)	137.24	10(1)
SORIA	2007	Nov	62.74	8.07	87.3	2.09	2.91	0.57	1.31	66.36	15	66.36	15	66.36	15	66.36	15
SEVILLA	2011	Oct	119.74	10.29	138.6	3.86	4.47	0.55	1.24	130.25	15	130.25	15	130.25	15	130.25	15
	2011	Dic	69.21	5.46	83.05	2.23	2.68	0.74	1.43	72.04	13	71.85	15	72.04	13	71.85	15
ALMERIA	2002	Ago	210.04	15.04	154.5	6.78	4.98	0.68	5.87	194.86	15	194.86	15	194.86	15	194.86	15
	2006	Jul	239.53	9.49	195.9	7.73	6.32	0.77	6.88	224.14	15	224.14	15	224.14	15	224.14	15

En Navarra todos los meses pueden ser utilizados para la generación del ASR, incluyendo el mes en que se han realizado mayores cambios de días (abril del 2012). En Sevilla, el

mes de diciembre del 2011 puede ser utilizado solo si se evalúa el proceso de cambio de días bajo el límite 1. En los demás casos de Soria, Sevilla y Almería los meses que alcanzan el máximo cambio de días no pueden conformar el ASR y deben ser descartados.

- Respecto a los resultados de la validación. Se puede observar en la Tabla 18, que solo en Soria se obtienen valores vacíos durante el proceso de validación A, lo que indica que los datos de irradiación no han superado dicho proceso. Cuando se aplica el método de validación B, estos mismos meses sí superan el proceso y por tanto aparecen como válidos, lo que indica que pueden ser utilizados para el cálculo del ASR. También se observa que el máximo número de días cambiados es 7 (incluidos los reemplazos del proceso de validación), lo cual indica una cantidad aceptable de cambios.

Tabla 23. Cambio de días método de validación B

SORIA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días	VMfin	Días
2006	Feb	81.42	8.11	86.71	2.91	3.10	0.57	1.63					82.29	1(4)	82.29	1(4)
2006	Mar	128.57	12.44	120.63	4.15	3.89	0.45	2.23					128.69	2(4)	125.15	1(4)
2007	Sep	150.46	7.53	159.07	5.02	5.30	0.50	1.92					152.76	4(3)	154.26	3(3)
2008	Ago	201.43	6.90	207.39	6.50	6.69	0.52	1.65					201.92	2(1)	207.39	0(1)
2011	Ago	201.43	6.90	204.05	6.50	6.58	0.65	1.90					204.05	0(3)	204.05	0(3)

Por lo anterior se deben eliminar estos meses en el momento de conformar el ASR, si es aplicado el proceso de validación A. Entonces parecería conveniente analizar los datos a través del proceso de Validación B para poder tener disponibles mayor cantidad de número de meses durante campañas de medidas que puedan ser cortas.

- Respecto al proceso de validación. Se observa solo en Soria, que el mes de agosto del 2008 supera ambos procesos de validación pero con un valor medio inicial (VMini) de irradiación distinto (Tabla 24). Esto es debido a que el día cambiado durante el proceso de validación A no es el mismo que el día cambiado en el proceso de validación B.

Tabla 24. Diferencia en los procesos de validación Soria

SORIA									Validación A				Validación B			
									Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMini	VDR	VDmes	Factor VDR	Dif. VDR	VMfin.	Días	VMfin.	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días
2008	Ago	201.43	6.9	207.67	6.5	6.7	0.52	1.65	202.2	2(1)	207.67	0(1)				
2008	Ago	201.43	6.9	207.39	6.5	6.69	0.52	1.65					201.92	2(1)	207.39	0(1)

- Refiriéndonos ahora a los límites (límite 1 y límite 2) que participan en el proceso de elaboración del ASR. Se observa una diferencia en el número de días cambiados por mes, dependiendo del mes que se evalúe:

Para meses de poca radiación (noviembre, diciembre, enero, febrero): El procedimiento a través del límite 2 puede generar un mayor número de cambios de días.

Para meses con alta radiación (mayo, junio, julio, agosto): El procedimiento a través del límite 2 puede generar un menor número de cambios de días.

Lo anterior se debe a que al evaluar como limite el valor diario representativo del mes, este toma valores más grandes a los 3 kWh del límite 1 durante los meses de alta radiación permitiendo un cambio menor de días durante dichos meses, en caso contrario, es decir meses con baja radiación, puede tomar valores menores a los 3 kWh y por tanto necesitar un mayor número de cambios de días.

- Sobre los indicadores Factor VDR y Dif. VDR presentes en las tablas, no se observa ninguna relación de sus valores con el número de días cambiados en un mes, por tanto no se puede definir nada de ellos.
- Teniendo en cuenta la gran cantidad de información disponible para el caso de SORIA y sus resultados característicos al aplicar los procesos de validación, se obtuvo un valor mensual representativo (VMR) de los datos medidos y una desviación estándar de los mismos, estos valores obtenidos fueron comparados con el valor medio representativo a largo plazo obtenido por varias fuentes, obteniendo una similitud en los resultados.

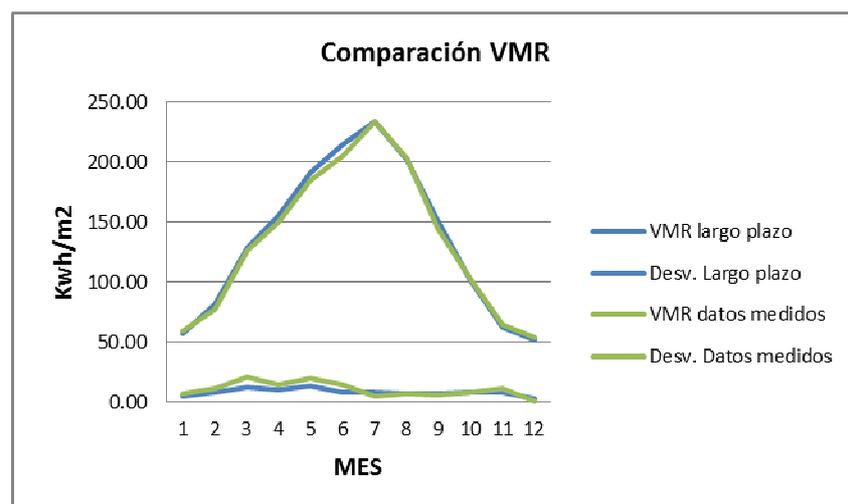


Figura 13. Comparación VMR largo plazo

7. La norma establece un proceso de cualificación que significa establecer si un mes es apto para conformar el ASR, en un principio esta cualificación estaba establecida por la siguiente ecuación

$$|VMR_j - VM_{jk}| < 2\sigma_j$$

Ecuación 7. Cualificación del mes

Lo que indica que si la diferencia entre el valor del mes VMR y el Valor medio del mes es menor a dos veces el valor de la desviación estándar correspondiente a dicho mes se tomara como apto para conformar el ASR, de lo contrario debe descartarse y se debe tomar el mismo mes pero de otro año que se encuentre en la campaña de medidas.

Se observó que en ocasiones esto era bastante restrictivo y que podrían descartarse meses con datos adecuados en una campaña de medidas que pueden ser de tan solo un año, lo que conlleva a realizar una campaña de medidas mucho más larga y tal vez innecesaria, pues con el proceso de cambio de días aquel mes que se toma como no cualificado puede convertirse en un mes con buenos datos y sin una gran cantidad de días cambiados, por lo cual se recomienda no ser tan restrictivos en este aspecto, y si el mes ha superado los procesos de calidad y validación además, de que sus días cambiados al realizar el tratamiento no son muchos, pueda pasar a conformar el ASR.

Tabla 25. Cualificación del mes

ALMERÍA								Validación A				Validación B			
								Límite 1		Límite 2		Límite 1		Límite 2	
AÑO	MES	VMR	σ	VMinicial	(VMR-VMi)	VDR	VDmes	VMfinal	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días	VMfinal	Días
2006	Ene	85.52	7.97	69.93	15.59	2.76	2.26	82.81	5	82.81	5	82.81	5	82.81	5
2006	Mar	149.53	11.56	165.38	15.85	4.82	5.33	149.93	7	152.75	6	149.93	7	152.75	6
2006	May	211.92	14.41	182.29	29.64	6.84	5.88	212.29	5	208.08	4	212.29	5	208.08	4
2006	Jun	231.10	7.52	218.24	12.86	7.70	7.27	229.01	2	223.63	1	229.01	2	223.63	1
2007	Abr	179.52	14.62	144.22	35.30	5.98	4.81	177.57	7	177.57	7	177.57	7	177.57	7
2008	Sep	159.47	7.85	144.81	14.66	5.32	4.83	157.44	4	154.67	3	157.44	4	154.67	3
2008	Oct	122.01	7.06	107.72	14.29	3.94	3.47	119.11	3	119.11	3	119.11	3	119.11	3
2009	Sep	159.47	7.85	141.54	17.93	5.32	4.72	156.87	5	156.87	5	156.87	5	156.87	5
2009	Oct	122.01	7.06	135.29	13.28	3.94	4.36	124.09	6	124.09	6	124.09	6	124.09	6

La columna (VMR-VMi) de la anterior Tabla correspondiente a Almería representa la distancia que existe entre el valor medio representativo (VMR) y el valor medio del mes (VMi), al comparar este valor con la columna σ (Desviación estándar) se observa que el mes en alguna ocasión podría no cualificar según la norma para conformar el ASR (no supera $2*\sigma$), sin embargo la cantidad de días cambiados es aceptable logrando un valor medio final muy cercano al VMR.

4 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA

4.1 SAM: CONFIGURACIÓN CENTRAL TERMOSOLAR CILINDRO PARABÓLICO TIPO

System Advisor Model (SAM) [11] es una herramienta utilizada para facilitar la toma de decisiones de rendimiento energético y económico de una instalación, siendo capaz de simular diferentes tipos de tecnología con importancia para personas involucradas en la industria de las energías renovables y programas de investigación. El programa ha sido desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), en colaboración con Sandia National Laboratories, y U.S. Department of Energy (DOE) Energía Solar Technologies Program (SETP).

Los tipos de tecnología que puede ser simulada son:

- Sistemas fotovoltaicos
- Concentración fotovoltaica
- Calentamiento de agua
- Geotermia
- Central de discos parabólicos
- Centrales de torre
- Sistemas de concentración Fresnel
- Disco Stirling
- Eólica
- Mini-Eólica
- Biomasa
- Generación Convencional

Para el desarrollo de un proyecto se requieren datos climáticos, parámetros técnicos y en caso de incluir un estudio económico los aspectos financieros involucrados en el mismo.

INTRODUCCIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS

- Librerías precargadas
- El campo solar
- El sistema HTF
- Los módulos de captación
- Bloque de potencia
- Consumos auxiliares

- Almacenamiento térmico
- Costes por subsistema

INTRODUCCIÓN DE DATOS DE EXPLOTACIÓN

- Degradación.
- Disponibilidad.
- Operación y mantenimiento Descripción de la planta simulada.

La planta termosolar proyectada para este estudio es del tipo cilindro parabólico con una potencia nominal de 50 MW sin almacenamiento. En las siguientes graficas se puede observar la configuración de los elementos de la central termosolar ingresados en el programa SAM.

Disposición del campo solar

Field Layout	
<input type="radio"/> Option 1:	Solar Multiple <input type="text" value="2"/>
<input checked="" type="radio"/> Option 2:	Solar Field Area <input type="text" value="329240"/> m ²
	Distance between SCAs in Row <input type="text" value="1"/> m
	Row spacing, center-to-center <input type="text" value="17"/> m
	Number of SCAs per Row <input type="text" value="4"/>
	Deploy Angle <input type="text" value="10"/> deg
	Stow Angle <input type="text" value="170"/> deg

Figura 14. Datos disposición campo solar

Fluido para la transferencia de calor

Heat Transfer Fluid	
Solar Field HTF Type	VP-1
Property table for user-defined HTF	Edit...
Solar Field Inlet Temp.	293 °C
Solar Field Outlet Temp.	393 °C
Solar Field Initial Temp.	75 °C
Piping Heat Losses @ Design Temp.	10 W/m2
Piping Heat Loss Coeff 1	0.001693
Piping Heat Loss Coeff 2	-1.683e-005
Piping Heat Loss Coeff 3	6.78e-008
Solar Field Piping Heat Losses	10.1673 W/m2
Minimum HTF Temp.	75 °C
HTF Gallons per Area	0.614 gal/m2

Figura 15. Características del fluido encargado de la transferencia de calor

Superficie:

Land Area	
Solar Field Land Area	240 acres
Non-Solar Field Land Area Multiplier	1.3
Total Land Area	311 acres

Figura 16. Superficie del campo solar

Área total= 1.26 km^2

Condiciones de referencia del múltiplo solar

Solar Multiple Reference Conditions	
Ambient Temp.	25 °C
Direct Normal Radiation	900 W/m2
Wind Velocity	5 m/s

Figura 17. Condiciones del múltiplo solar

Orientación

Orientation

Collector Tilt deg

Collector Azimuth deg

Tilt: horizontal=0, vertical=90

Azimuth: equator=0, west=90, east=-90

Figura 18. Orientación de los colectores

Características de la planta

Plant Characteristics

Design Gross Output MWe

Estimated Gross to Net Conversion Factor

Estimated Net Output at Design MWe

Note: Parasitic losses typically reduce net output to approximately 90 % of design gross power

Figura 19. Características de la planta

Ciclo de potencia

Power Cycle

Current power block:

Design Cycle Thermal Input MWt

Rated Cycle Conversion Efficiency

Max turbine over design operation*

Min turbine operation*

Frac of thermal power for startup

Boiler LHV Efficiency

Max. Thermal Input MWt

Min. Thermal Input MWt

	F0	F1	F2	F3	F4
Cycle Part-load Therm to Elec	-0.0298	0.7219	0.7158	-0.5518	0.143
Cycle Part-load Elec to Therm	0.044964	1.1829	-0.56388	0.46719	-0.13009
Cooling Tower Correction	1	0	0	0	0

Temp. Correction Mode

* Fraction of Design Point

Figura 20. Ciclo de potencia

4.2 RESUMEN DE LAS SERIES UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN

Para los casos de Soria y Almería se dispone de una gran cantidad de meses con valores medidos de radiación, lo cual permite establecer años con meses de diferentes características, por ejemplo años conformados por meses con más o menos días cambiados, o años con más o menos radiación, esto con el fin de comprobar si los resultados de la producción de energía bajo diferentes ASR establecidos en un mismo emplazamiento son coherentes entre sí.

Tipos de Años Solares Representativos utilizados (ASR):

NAVARRA:

ASR 1: Año compuesto por meses con el menor número de días cambiados

ASR 2: Año compuesto por el mayor número de días cambiados

ASR 4: Año compuesto por meses consecutivos (Puede tratarse de años con mayor o menor radiación)

- 2010: año con menor radiación
- 2012: año con mayor radiación

SORIA:

ASR 1: Año compuesto por meses con el menor número de días cambiados

ASR 2: Año compuesto por el mayor número de días cambiados

ASR 3: Año común, compuesto por meses que tiene la cantidad más común de días cambiados

ASR 4: Año compuesto por meses consecutivos (Puede tratarse de años con mayor o menor radiación)

- Año comprendido entre junio 2006 – mayo 2007

SEVILLA

ASR 4: Año compuesto por meses consecutivos (Puede tratarse de años con mayor o menor radiación)

- 2011: único año con datos de radiación

ALMERIA

ASR 1: Año compuesto por meses con el menor número de días cambiados

ASR 2: Año compuesto por el mayor número de días cambiados

ASR 3: Año común, compuesto por meses que tiene la cantidad más común de días cambiados

ASR 4: Año compuesto por meses consecutivos (Puede tratarse de años con mayor o menor radiación)

- 2010: año con menor radiación
- 2012: año con mayor radiación

4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

A. NAVARRA. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

Tabla 26. Energía bruta producida en Navarra

NAVARRA									
GROSS ENERGY OUTPUT [MWh]									
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROMEDIO
ENERO	1262 (2011)	1091	357 (2010)	408	357	408	402	402	586
FEBRERO	2153 (2011)	2153	1970 (2010)	1970	1970	1970	2351	2351	2111
MARZO	4615 (2010)	4615	5991 (2012)	5991	4615	4615	5991	5991	5303
ABRIL	7020 (2010)	7020	5791 (2012)	5220	7020	7020	5791	5791	6334
MAYO	8599 (2010)	8599	8808 (2011)	9439	8599	8599	9616	10283	9068
JUNIO	11610 (2012)	11610	10978 (2010)	10978	10978	10978	11610	11610	11294
JULIO	13097 (2010)	13097	12482 (2012)	13337	13097	13097	12482	13337	13003
AGOSTO	12383 (2011)	12383	11242 (2012)	11878	11578	11578	11242	11878	11770
SEPTIEMBRE	7532 (2010)	7532	8273 (2011)	8840	7532	7532	7869	7538	7831
OCTUBRE	3917 (2010)	3917	4792 (2011)	4792	3917	3917	3324	3324	3988
NOVIEMBRE	792 (2011)	792	1067 (2010)	1270	1067	1270	1047	1047	1044
DICIEMBRE	473 (2010)	473	204 (2011)	218	473	473	392	392	387
ANUAL	73453	73282	71954	74341	71203	71457	72115	73942	72719

Tabla 27. Energía neta producida en Navarra

NAVARRA									
ANNUAL ENERGY [MWh]									
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROMEDIO
ENERO	708 (2011)	549	-126 (2010)	-78	-126	-78	-85	-84	85
FEBRERO	1581 (2011)	1581	1414 (2010)	1414	1414	1414	1765	1765	1544
MARZO	3830 (2010)	3830	5113 (2012)	5113	3830	3830	5113	5113	4471
ABRIL	6066 (2010)	6066	4924 (2012)	4396	6066	6066	4924	4924	5429
MAYO	7477 (2010)	7477	7681 (2011)	8263	7477	7477	8435	9047	7917
JUNIO	10258 (2012)	10258	9630 (2010)	9630	9630	9630	10258	10258	9944
JULIO	11612 (2010)	11612	11089 (2012)	11862	11612	11612	11089	11862	11544
AGOSTO	11013 (2011)	11013	9960 (2012)	10547	10236	10236	9960	10547	10439
SEPTIEMBRE	6547 (2010)	6547	7247 (2011)	7771	6547	6547	6866	6558	6829
OCTUBRE	3177 (2010)	3177	3990 (2011)	3990	3177	3177	2628	2628	3243
NOVIEMBRE	291 (2011)	291	542 (2010)	731	542	731	523	523	522
DICIEMBRE	-20 (2010)	-20	-271 (2011)	-257	-20	-20	-93	-93	-99
ANUAL	62540	62381	61193	63381	60384	60621	61384	63049	61867

Tabla 28. Promedios de energía producida [MWh] Navarra

[MWh]	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROMEDIO
GROSS ENERGY OUTPUT	73453	73282	71954	74341	71203	71457	72115	73942	72719
ANNUAL ENERGY	62540	62381	61193	63381	60384	60621	61384	63049	61867

El promedio de energía neta generada durante un año para Navarra es de 61867 MWh. Se obtiene la mayor producción de energía al utilizar la serie ASR2_límite 2 con un valor igual a 63381 MWh, por el contrario se obtiene la menor producción de energía utilizando la serie ASR4_2010_limite1 con un valor de 60384 MWh.

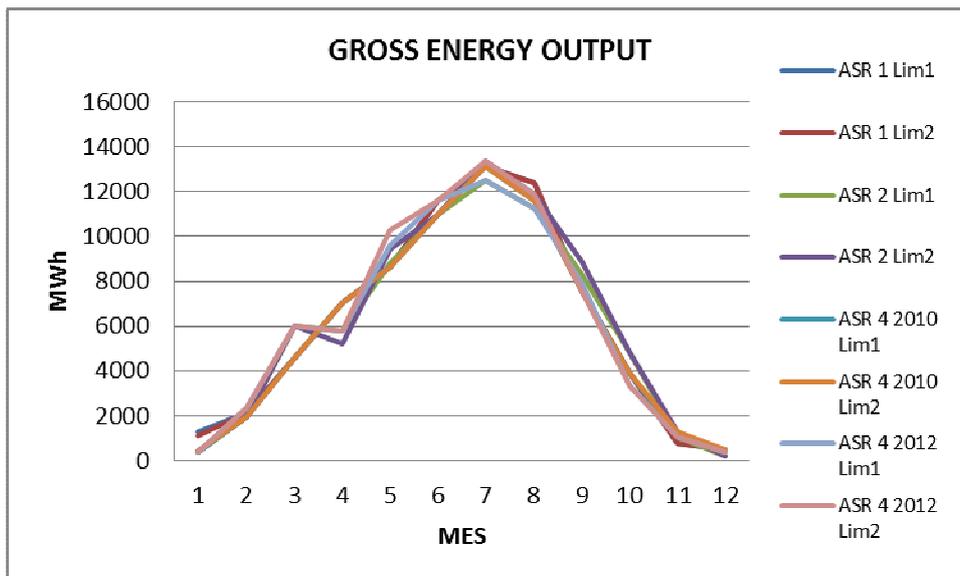


Figura 21. Energía bruta generada en Navarra

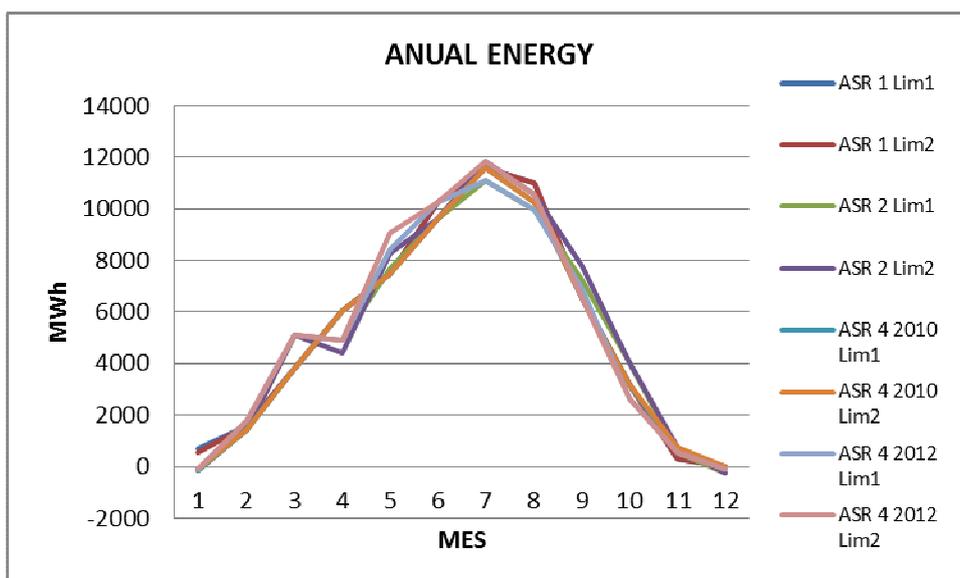


Figura 22. Energía neta generada en Navarra

B. SORIA. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)

Tabla 29. Energía bruta producida en Soria

SORIA									
GROSS ENERGY OUTPUT [MWh]									
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 Lim1 06/Jun-07/May	ASR 4 Lim2 06/Jun-07/May	Promedio
ENERO	2212 (2011)	2458	1706 (2012)	1706	2212 (2011)	2458	1436	1436	1953
FEBRERO	2804 (2008)	2804	2658 (2007)	2658	2804 (2008)	2804	2658	2658	2731
MARZO	6144 (2007)	6144	5907 (2012)	5907	4841 (2008)	4841	6144	6144	5759
ABRIL	4259 (2009)	4259	7627 (2012)	7627	8464 (2011)	9027	7160	6937	6920
MAYO	11213 (2011)	10926	7872 (2006)	8394	9249 (2007)	9249	9249	9249	9425
JUNIO	11983 (2006)	11687	12904 (2011)	12987	11983 (2006)	11687	11983	11687	12113
JULIO	16280 (2011)	16280	15641 (2006)	14716	15641 (2006)	14716	15641	14716	15454
AGOSTO	10117 (2010)	10117	14143 (2006)	14619	10904 (2008)	10881	14143	14619	12443
SEPTIEMBRE	7581 (2008)	7581	8633 (2006)	8633	8633 (2006)	8633	8633	8633	8370
OCTUBRE	4363 (2006)	4363	5161 (2007)	5161	4363 (2006)	4363	4363	4363	4563
NOVIEMBRE	1017 (2008)	1017	1931 (2010)	1931	2129 (2006)	2298	2129	2298	1844
DICIEMBRE	1452 (2011)	1144	1475 (2006)	1475	1452 (2011)	1144	1475	1475	1387
ANUAL	79426	78781	85658	85813	82675	82101	85014	84215	82960

Tabla 30. Energía neta producida en Soria

SORIA									
ANNUAL ENERGY [MWh]									
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 Lim1 06/Jun-07/May	ASR 4 Lim2 06/Jun-07/May	Promedio
ENERO	1593 (2011)	1822	1123 (2012)	1123	1593	1822	872	872	1353
FEBRERO	2183 (2008)	2183	2056 (2007)	2056	2183	2183	2056	2056	2119
MARZO	5254 (2007)	5254	5026 (2012)	5026	4013	4013	5254	5254	4886
ABRIL	3490 (2009)	3490	6590 (2012)	6590	7381	7896	6196	5989	5953
MAYO	9863 (2011)	9596	6816 (2006)	7296	8068	8068	8069	8069	8231
JUNIO	10574 (2006)	10301	11445 (2011)	11512	10574	10301	10574	10301	10698
JULIO	14518 (2011)	14518	13978 (2006)	13134	13978	13134	13978	13134	13796
AGOSTO	8884 (2010)	8884	12571 (2006)	12992	9602	9584	12571	12992	11010
SEPTIEMBRE	6577 (2008)	6577	7582 (2006)	7582	7582	7582	7582	7582	7331
OCTUBRE	3595 (2006)	3595	4335 (2007)	4335	3595	3595	3595	3595	3780
NOVIEMBRE	494 (2008)	494	1343 (2010)	1343	1525	1683	1525	1683	1261
DICIEMBRE	885 (2011)	600	906 (2006)	906	885	599	906	906	824
ANUAL	67910	67313	73770	73894	70979	70459	73178	72432	71242

Tabla 31. Promedios de energía producida [MWh] Soria

[MWh]	ASR 1 Limite1	ASR 1 Limite2	ASR 2 Limite1	ASR 2 Limite2	ASR 3 Limite1	ASR 3 Limite2	ASR 4 Lim1 06/Jun-07/May	ASR 4 Lim2 06/Jun-07/May	Promedio
GROSS ENERGY OUTPUT	79426	78781	85658	85813	82675	82101	85014	84215	82960
ANNUAL ENERGY	67910	67313	73770	73894	70979	70459	73178	72432	71242

El promedio de energía neta generada durante un año en Soria es de 71242 MWh. Alcanzando la mayor producción de energía utilizando la serie ASR4_limite 1 con un valor igual a 73178 MWh, y la menor producción de energía utilizando la serie ASR1_limite2 con un valor de 67313 MWh.

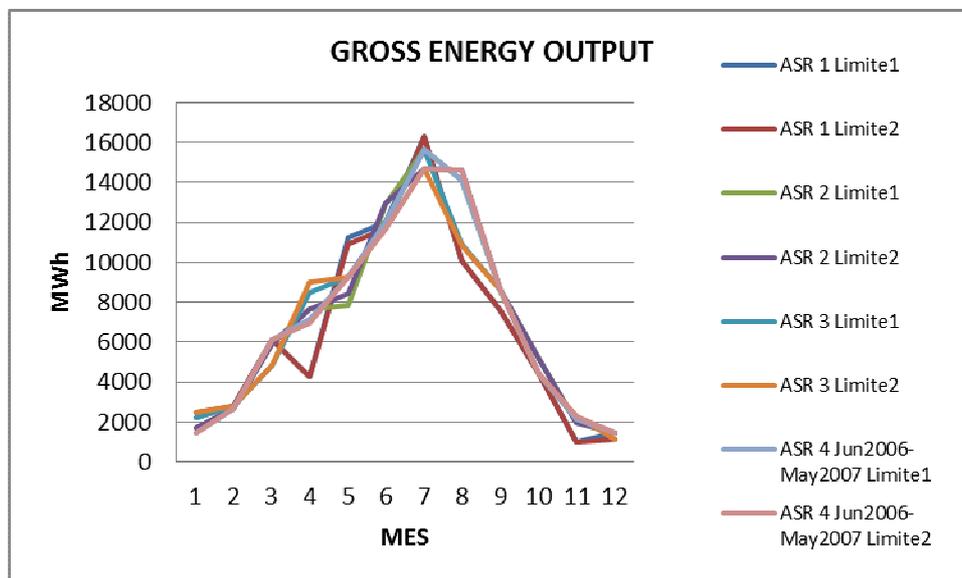


Figura 23. Energía bruta generada en Soria

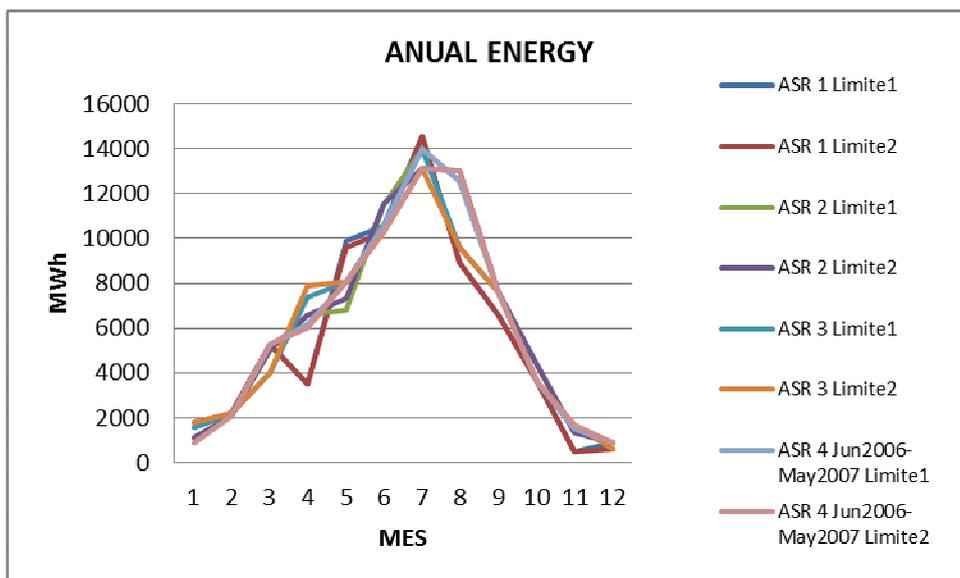


Figura 24. Energía neta generada en Soria

C. SEVILLA. Planta termosolar

Tabla 32. Energía bruta producida en Sevilla

SEVILLA		
GROSS ENERGY OUTPUT [MWh]		
	ASR 4_2011 Lim1	ASR 4_2011 Lim2
ENERO	2346	2551
FEBRERO	5237	5237
MARZO	8595	8595
ABRIL	11484	11484
MAYO	13006	13006
JUNIO	16126	16760
JULIO	18152	18152
AGOSTO	15791	15266
SEPTIEMBRE	11792	11792
OCTUBRE	7401	7401
NOVIEMBRE	3815	3815
DICIEMBRE	2230	2142
ANUAL	115975	116201

Tabla 33. Energía neta producida en Sevilla

SEVILLA		
ANNUAL ENERGY [MWh]		
	ASR 4_2011 Lim1	ASR 4_2011 Lim2
ENERO	1715	1906
FEBRERO	4448	4448
MARZO	7493	7493
ABRIL	10100	10100
MAYO	11502	11502
JUNIO	14369	14916
JULIO	16201	16201
AGOSTO	14168	13681
SEPTIEMBRE	10459	10459
OCTUBRE	6420	6420
NOVIEMBRE	3095	3095
DICIEMBRE	1605	1523
ANUAL	101575	101744

Tabla 34. Promedios de energía producida [MWh] Sevilla

[MWh]	ASR 4_2011 Lim1	ASR 4_2011 Lim2
GROSS ENERGY OUTPUT	115975	116201
ANNUAL ENERGY	101575	101744

En Sevilla solo existe un año de datos válidos y por tanto solo pueden analizarse dos casos dependiendo del límite establecido, por esta razón no se realizó un promedio de energía. Podemos observar que la producción neta de energía obtenida con la serie ASR4_2011_límite 2 es de 101744 MWh, superior a la producción encontrada con la serie ASR4_2011_límite 1 con un valor de 101575 MWh.

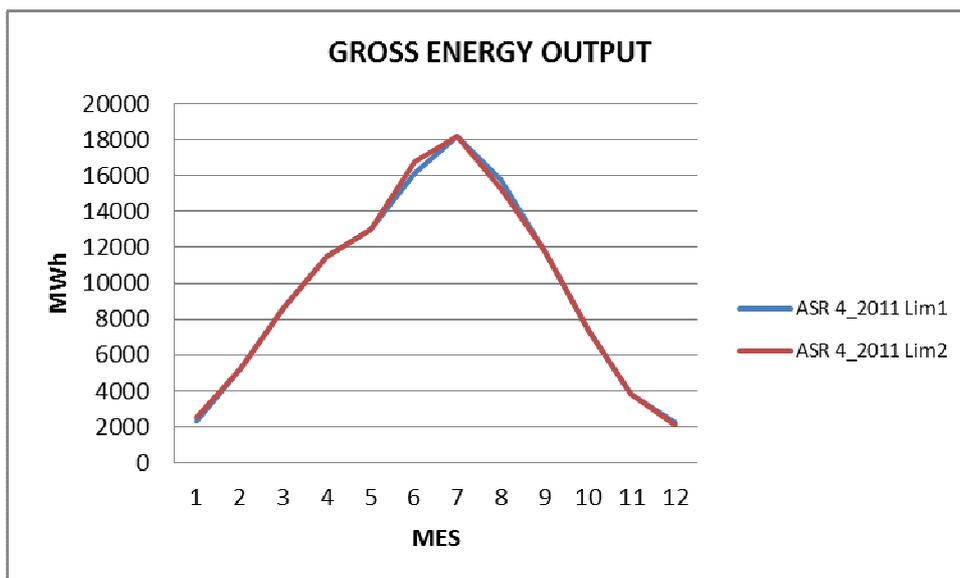


Figura 25. Energía bruta generada en Sevilla

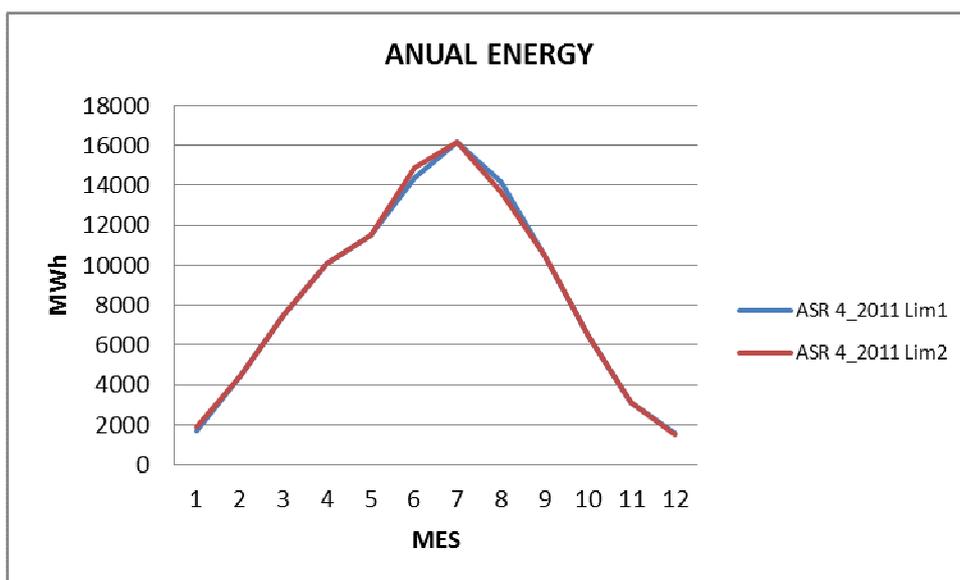


Figura 26. Energía neta generada en Sevilla

Debido a que solo se dispone de la información de un año para este sitio, no es posible realizar la comparación con otras formaciones de ASR, excepto para el límite 1 y el límite 2.

D. ALMERÍA. Plataforma Solar de Almería (PSA)

Tabla 35. Energía bruta producida en Almería

ALMERÍA											
GROSS ENERGY OUTPUT [MWh]											
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROMEDIO
ENE.	4115 (2007)	4115	3688 (2003)	3688	4115 (2007)	4115	3857	3857	4247	4247	4004
FEB.	5699 (2007)	5699	7055 (2012)	7055	5520 (2010)	5520	5554	5554	7055	7055	6176
MAR.	9934 (2009)	9934	8970 (2006)	9410	8033 (2003)	8033	8279	8279	9225	9225	8932
ABR.	10365 (2003)	10365	15336 (2005)	15335	11039 (2012)	11039	8620	8218	11039	11039	11240
MAY.	14669 (2009)	13398	13293 (2010)	13293	12711 (2009)	13363	12729	13293	12416	12880	13205
JUN.	15037 (2003)	15037	14159 (2012)	14879	15426 (2011)	15338	15313	14905	14159	14879	14913
JUL.	16170 (2008)	16170	16928 (2007)	17826	16170 (2008)	16170	16652	16652	16296	17042	16608
AGO.	14094 (2010)	14094	13962 (2011)	14578	14094 (2010)	14094	14094	14094	12735	12735	13858
SEPT.	10170 (2012)	10170	11020 (2011)	11521	10786 (2010)	10786	10786	10786	10170	10170	10637
OCT.	6195 (2006)	6195	6231 (2011)	6680	6195 (2006)	6195	6746	7244	7901	7901	6748
NOV.	3727 (2011)	3727	3174 (2009)	3174	4432 (2007)	4432	4960	4960	3636	3636	3986
DIC.	2422 (2010)	2422	3587 (2011)	3356	2422 (2010)	2422	2415	2415	2934	2934	2733
ANUAL	112597	111327	117402	120794	110943	111507	110006	110258	111814	113744	113039

Tabla 36. Energía neta producida en Almería

ALMERÍA											
ANNUAL ENERGY [MWh]											
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROMEDIO
ENE.	3351 (2007)	3351	2963 (2003)	2963	3351 (2007)	3351	3118	3118	3473	3473	3251
FEB.	4886 (2007)	4886	6146 (2012)	6146	4716 (2010)	4716	4747	4747	6146	6146	5328
MAR.	8762 (2009)	8762	7868 (2006)	8276	7003 (2003)	7003	7219	7219	8100	8100	7831
ABR.	9125 (2003)	9125	13737 (2005)	13732	9715 (2012)	9715	7504	7136	9715	9715	9922
MAY.	13034 (2009)	11897	11789 (2010)	11789	11262 (2009)	11854	11272	11789	10963	11388	11704
JUN.	13459 (2003)	13459	12621 (2012)	13270	13766 (2011)	13683	13648	13271	12621	13270	13307
JUL.	14433 (2008)	14433	15193 (2007)	16003	14433 (2008)	14433	14910	14910	14598	15263	14861
AGO.	12570 (2010)	12570	12497 (2011)	13052	12570 (2010)	12570	12570	12570	11325	11325	12362
SEPT.	8976 (2012)	8976	9774 (2011)	10237	9549 (2010)	9549	9549	9549	8976	8976	9411
OCT.	5300 (2006)	5300	5337 (2011)	5755	5300 (2006)	5300	5818	6281	6888	6888	5817
NOV.	3013 (2011)	3013	2504 (2009)	2504	3667 (2007)	3667	4160	4160	2925	2925	3254
DIC.	1787 (2010)	1787	2860 (2011)	2645	1787 (2010)	1787	1780	1780	2261	2261	2073
ANUAL	98697	97559	103289	106373	97121	97629	96296	96532	97991	99730	99122

Tabla 37. Promedios de energía producida [MWh] Almería

[MWh]	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROM.
GROSS ENERGY OUTPUT	112597	111327	117402	120794	110943	111507	110006	110258	111814	113744	113039
ANNUAL ENERGY	98697	97559	103289	106373	97121	97629	96296	96532	97991	99730	99122

El promedio de energía neta generada durante un año para Almería es de 99122 MWh. La mayor producción de energía se obtiene con la serie ASR2_límite 2 con un valor igual a 106373 MWh, el menor valor de producción de energía se obtiene utilizando la serie ASR4_2010_límite1 con un valor de 60384 MWh.

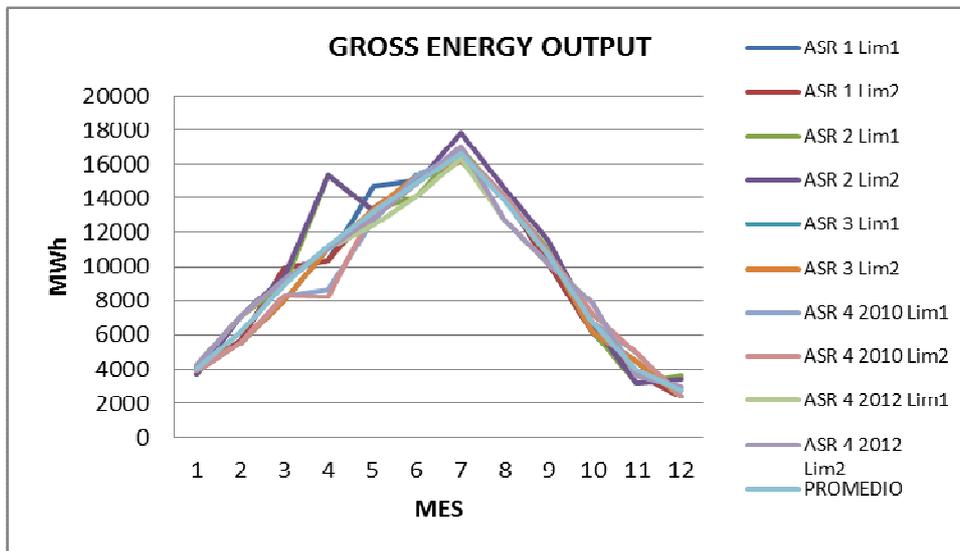


Figura 27. Energía bruta generada en Almería

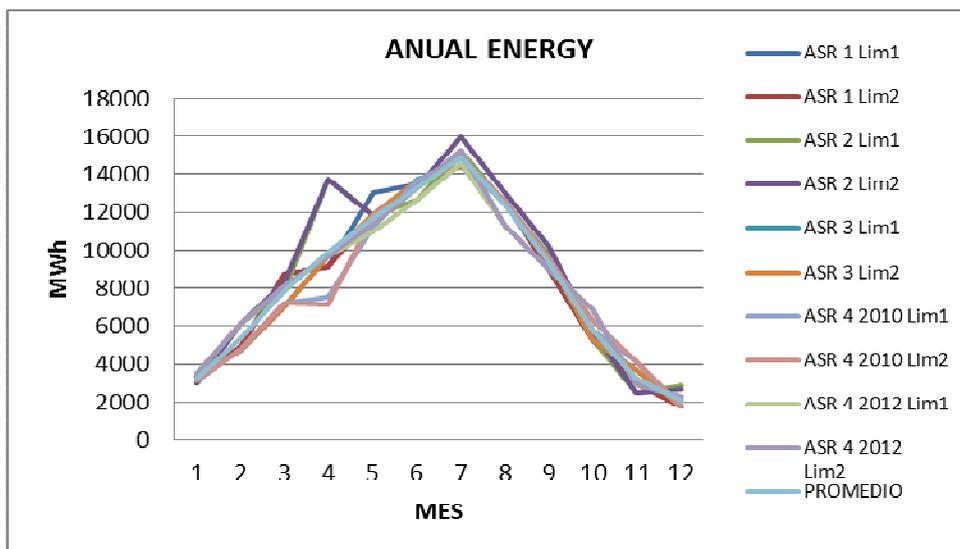


Figura 28. Energía neta generada en Almería

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Los máximos y mínimos de producción de energía neta en los lugares de estudio son:

Nota: No se tuvo en cuenta Sevilla debido a que solo se tiene un escenario de ASR.

Tabla 38. Máximo y mínimo de energía en Navarra

NAVARRA								
ANNUAL ENERGY [MWh]	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2
		62540	62381	61193	63381	60384	60621	61384

Tabla 39. Máximo y mínimo de energía en Soria

SORIA								
ANNUAL ENERGY [MWh]	ASR 1 Limite1	ASR 1 Limite2	ASR 2 Limite1	ASR 2 Limite2	ASR 3 Limite1	ASR 3 Limite2	ASR 4 Lim1 06/Jun-07/May	ASR 4 Lim2 06/Jun-07/May
		67910	67313	73770	73894	70979	70459	73178

Tabla 40. Máximo y mínimo de energía en Almería

ALMERIA										
ANNUAL ENERGY [MWh]	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2
		98697	97559	103289	106373	97121	97629	96296	96532	97991

Se observa que en los tres casos la serie ASR_2 (serie con mayor número de días cambiados), bajo el límite 2 de estudio, obtiene una mayor generación de energía. No se puede concluir que necesariamente las series compuestas por un ASR_2 generen siempre la mayor energía, al igual que tampoco se puede afirmar que las series evaluadas bajo el límite 2 generen siempre la mayor cantidad de energía. Lo que si podría afirmarse, según los resultados, es que de existir una serie compuesta por una gran cantidad de días cambiados evaluados bajo el límite 2 tendería a producir una mayor cantidad de energía.

Cualquier otro ASR compuesto por meses con mayor radiación (ASR_4), menor radiación (ASR_4), menor número de días cambiados (ASR_1) o por meses que tengan un número de días cambiados promedio (ASR_3), obtienen una generación de energía aproximada entre ellos, lo cual podría representar un resultado aceptable.

2. La diferencia entre figuras de un mismo sitio corresponde tan solo a valores diferentes de energía. Esto es debido a las pérdidas parasitas de la planta, que en general tiene un valor aproximado del 14 %:

Tabla 41. Pérdidas por parásitos

	% Pérdidas parásitas
Navarra	14.9
Soria	14.1
Sevilla	12.4
Almería	12.3

Cuando mayor es la energía producida por la planta el porcentaje de las pérdidas parásitas con respecto a la energía total producida es menor, como puede apreciarse en Almería.

4.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS ENERGÍAS OBTENIDAS (ASR A PARTIR DE DATOS MEDIDOS - ASR A PARTIR DE ESTIMACIONES)

Dado que la planta termosolar simulada tanto para las estimaciones y las medidas, tiene las mismas condiciones, las pérdidas parásitas que diferencian la energía bruta y la energía final generada, son las mismas; por tanto a continuación solo se muestra la energía final generada (Annual energy) recordando que el valor de la energía bruta es el mismo solo que con valores un poco mayores.

ASR Estimaciones: El promedio de energía de las estimaciones se realizó a partir de los valores obtenidos de las series ASR: DNI_corto, DNI_largo, GHI_corto, GHI_largo, GHI+DNI_corto y GHI+DNI_largo.

ASR Medidas: El promedio de energía obtenido a partir del procedimiento de datos medidos se encontró en base a las series: ASR_1, ASR_2, ASR_3 y ASR_4, teniendo solo en cuenta aquellas encontradas a través del límite 1.

4.5.1 NAVARRA

Tabla 42. Promedios de energía Navarra

	ANNUAL ENERGY [MWh]	
	ESTIMACIONES	MEDICIONES
ENE.	165	93
FEB.	1567	1544
MAR.	4387	4471
ABR.	4700	5495
MAY.	6952	7767
JUN.	8853	9944
JUL.	10828	11351
AGO.	9120	10292
SEP.	5303	6802
OCT.	2248	3243
NOV.	222	475
DIC.	-295	-101
TOTAL	54050	61376

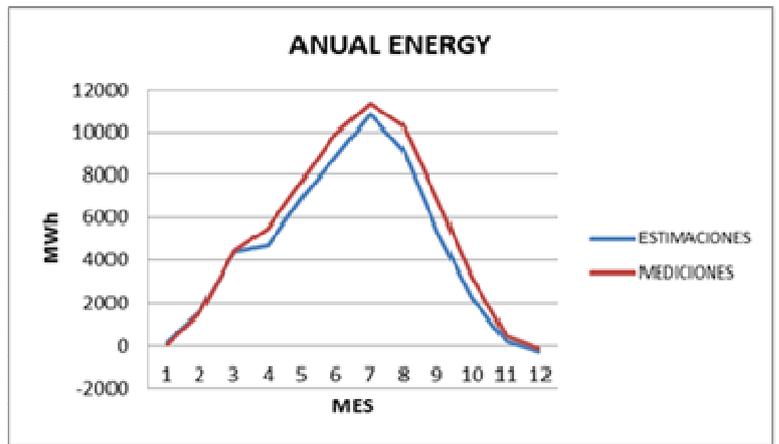


Figura 29. Promedios de energía Navarra

4.5.2 SORIA

Tabla 43. Promedios de energía Soria

	ANNUAL ENERGY [MWh]	
	ESTIMACIONES	MEDICIONES
ENE.	525	1296
FEB.	2937	2119
MAR.	4955	4886
ABR.	5997	5915
MAY.	7072	8204
JUN.	10280	10792
JUL.	13493	14113
AGO.	11282	10907
SEP.	7227	7331
OCT.	3812	3780
NOV.	963	1222
DIC.	258	895
TOTAL	68801	71460

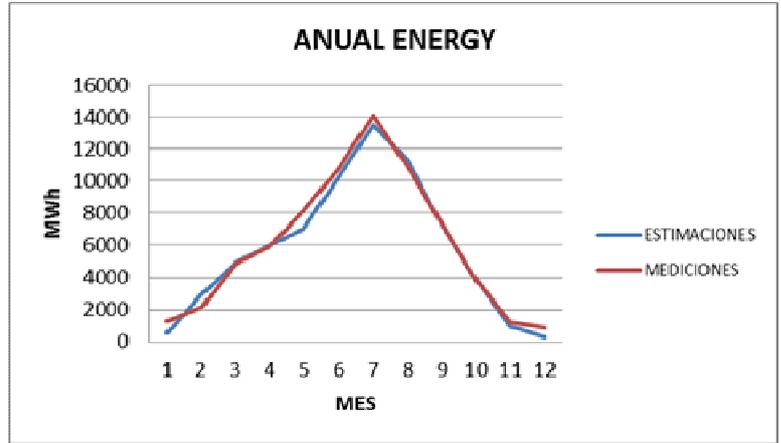


Figura 30. Promedios de energía Soria

4.5.3 SEVILLA

Tabla 44. Promedios de energía Sevilla

	ANNUAL ENERGY [MWh]	
	ESTIMACIONES	MEDICIONES
ENE.	2810	1715
FEB.	4057	4448
MAR.	7420	7493
ABR.	8922	10100
MAY.	10115	11502
JUN.	13545	14369
JUL.	15928	16201
AGO.	13912	14168
SEP.	8230	10459
OCT.	5285	6420
NOV.	1978	3095
DIC.	1643	1605
TOTAL	93845	101575

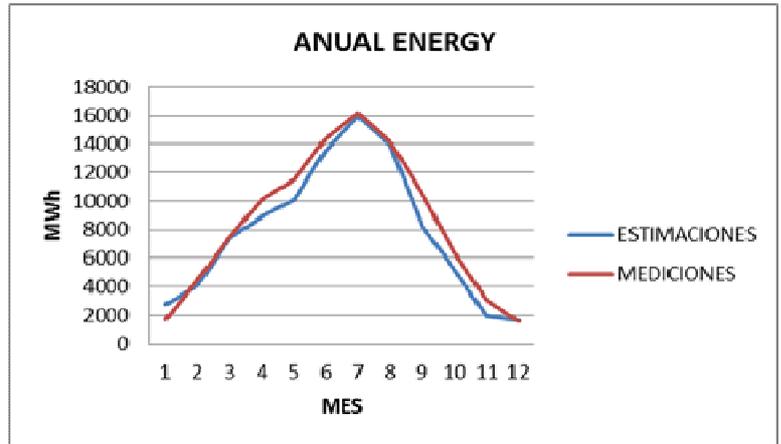


Figura 31. Promedios de energía Sevilla

4.5.4 ALMERÍA

Tabla 45. Promedios de energía Almería

ANNUAL ENERGY [MWh]		
	ESTIMACIONES	MEDICIONES
ENE.	2660	3251
FEB.	4850	5328
MAR.	7923	7790
ABR.	9988	9959
MAY.	11547	11664
JUN.	13567	13223
JUL.	15630	14713
AGO.	12587	12306
SEP.	8667	9365
OCT.	5225	5729
NOV.	2243	3254
DIC.	1925	2095
TOTAL	96812	98677

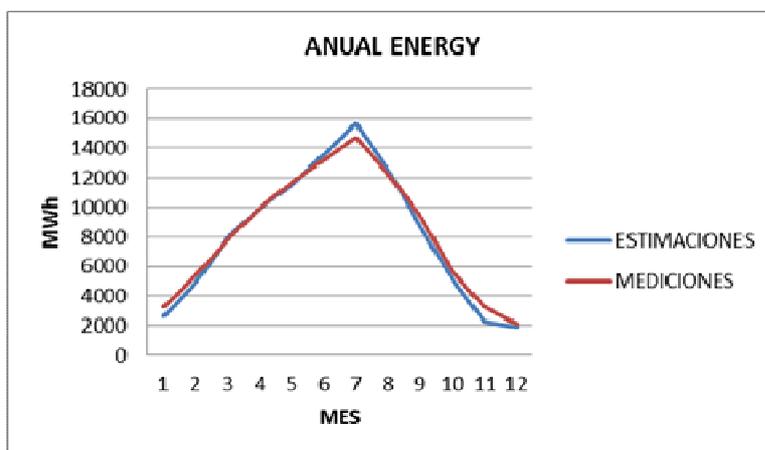


Figura 32. Promedios de energía Almería

4.5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar los resultados encontrados de la energía producida por la planta termosolar, teniendo en cuenta los ASR obtenidos a partir de las estimaciones (ASR_Estimaciones) y los ASR obtenidos a partir de las medidas (ASR_Medidas), se observa que en general los resultados son muy similares en los cuatro lugares seleccionados. Sin embargo, se puede apreciar que:

1. En Navarra, solo en los meses de enero y febrero la producción de energía de las series ASR_Estimaciones supera la producción de energía de las series ASR_Medidas.
2. En Soria, durante los meses de febrero, marzo, abril, agosto y octubre la producción obtenida a través de ASR_Estimaciones supera la producción de las series ASR_Medidas.
3. En Sevilla, solo en los meses de enero y diciembre la producción obtenida a través de ASR_Estimaciones supera la producción de las series ASR_Medidas.
4. En Almería, durante los meses de marzo, abril, junio, julio y agosto se nota una producción mayor de energía a través de las series ASR_Estimaciones.
5. La energía total generada durante un año en los cuatro lugares, es mayor utilizando las series ASR_Medidas como se puede apreciar en la siguiente Tabla.

Tabla 42. Comparación de la energía total generada (ASR_Estimaciones y ASR_Medidas)

Energía total generada durante un año [MWh]				
	NAVARRA	SORIA	SEVILLA	ALMERÍA
ESTIMACIONES	54050	68801	93845	96812
MEDICIONES	61376	71460	101575	98677

4.6 CASO ESPECIAL ALMERÍA: COMPARACIÓN ENERGÍA PRODUCIDA POR DATOS REALES CON ESCENARIOS DE ASR CALCULADOS A TRAVÉS DE DATOS MEDIDOS

Debido a la gran cantidad de datos que se disponen en Almería, se realizó una comparación entre la energía producida con datos medidos de 7 años y la energía producida por los diferentes escenarios de ASR descritos anteriormente, utilizando el programa de simulación SAM.

Tabla 43. Energía producida en Almería con datos medidos

ALMERÍA DATOS MEDIDOS									
ENERGÍA GENERADA [MWH]									
	Jun2002- May2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	PROMEDIO ENERGIA
ENE.	5256	2941	3884	4964	3361	3542	2929	4898	3972
FEB.	4602	5690	5699	4095	6199	4457	8390	9060	6024
MAR.	7252	11179	10913	11729	9934	6851	7738	11297	9612
ABR.	10365	8259	6324	12841	11807	7540	9783	12468	9923
MAY.	13398	8765	14429	9963	14669	16433	10764	15119	12942
JUN.	15037	12785	16412	15863	16063	14905	14699	15466	15154
JUL.	17259	13322	18434	16170	17028	16652	15830	17042	16467
AGO.	10266	15847	13018	15801	15942	14094	15483	12735	14149
SEPT.	9208	10862	9214	7744	7919	11352	13286	10170	9969
OCT.	7192	6195	6523	4433	8929	7684	7985	7901	7105
NOV.	4586	3905	5145	5240	5120	4960	3727	2705	4424
DIC.	3234	2893	1006	3108	3073	2415	4230	3397	2920
ANUAL	107656	102643	111001	111952	120042	110886	114845	122259	112661

Tabla 44. Energía producida en Almería con escenarios de ASR

ALMERÍA											
ENERGIA GENERADA [MWH]											
	ASR 1 Lim1	ASR 1 Lim2	ASR 2 Lim1	ASR 2 Lim2	ASR 3 Lim1	ASR 3 Lim2	ASR 4 2010 Lim1	ASR 4 2010 Lim2	ASR 4 2012 Lim1	ASR 4 2012 Lim2	PROM.
ENE.	4115	4115	3688	3688	4115	4115	3857	3857	4247	4247	4004
FEB.	5699	5699	7055	7055	5520	5520	5554	5554	7055	7055	6176
MAR.	9934	9934	8970	9410	8033	8033	8279	8279	9225	9225	8932
ABR.	10365	10365	15336	15335	11039	11039	8620	8218	11039	11039	11240
MAY.	14669	13398	13293	13293	12711	13363	12729	13293	12416	12880	13205
JUN.	15037	15037	14159	14879	15426	15338	15313	14905	14159	14879	14913
JUL.	16170	16170	16928	17826	16170	16170	16652	16652	16296	17042	16608
AGO.	14094	14094	13962	14578	14094	14094	14094	14094	12735	12735	13858
SEPT.	10170	10170	11020	11521	10786	10786	10786	10786	10170	10170	10637
OCT.	6195	6195	6231	6680	6195	6195	6746	7244	7901	7901	6748
NOV.	3727	3727	3174	3174	4432	4432	4960	4960	3636	3636	3986
DIC.	2422	2422	3587	3356	2422	2422	2415	2415	2934	2934	2733
ANUAL	112597	111327	117402	120794	110943	111507	110006	110258	111814	113744	113039

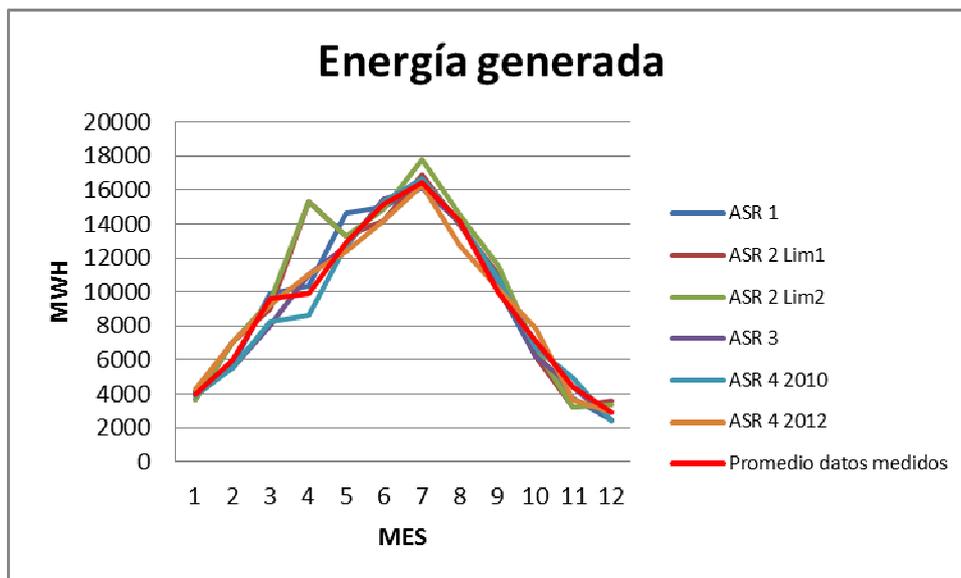


Figura 29. Comparación energía generada escenarios de ASR – Promedio datos medidos

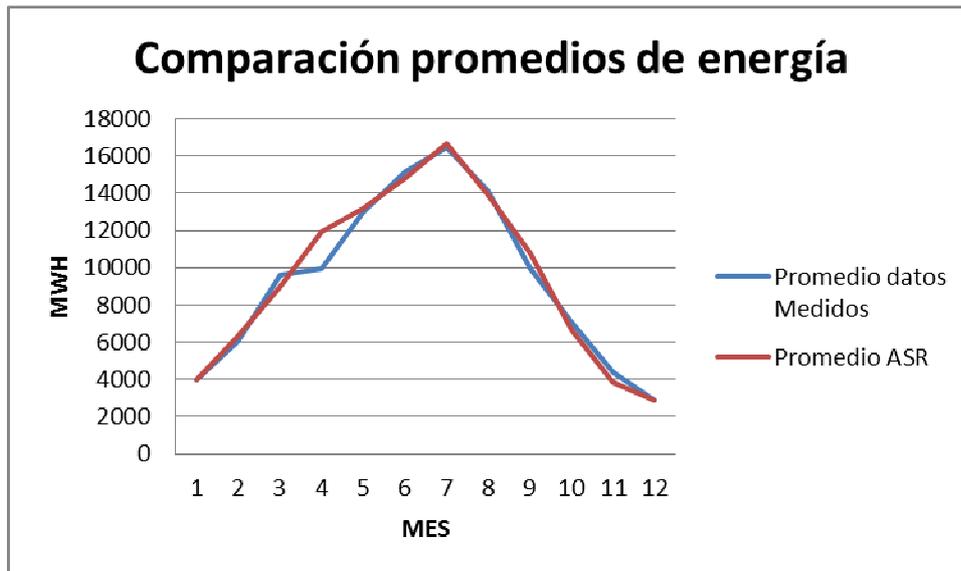


Figura 30. Comparación de los promedios de energía

Al comparar el promedio de energía producida con datos reales y el promedio de energía producida con escenarios de ASR, se observa un gran parecido durante la mayoría de meses del año, excepto en el mes de abril, en el cual algunos ASR presentan valores muy cambiantes. Estos resultados indican una adecuada predicción de la energía producida a partir de una buena caracterización de la irradiación.

Puede observarse que la mayoría de series ASR generadas, se aproximan al promedio de la energía producida a partir de datos medidos durante varios años, lo cual es una buena señal de la predicción de energía producida, que es el objetivo final de la norma.

4.7 CONSIDERACIONES FINALES

Para establecer la viabilidad de una planta termosolar es importante calcular la energía producida una vez que entre en funcionamiento. En este trabajo se realiza un estudio de la caracterización de la irradiación presente en cualquier lugar, teniendo en cuenta una nueva normatividad que será aprobada próximamente. Se analiza la metodología propuesta para la generación de Años Solares Representativos, nombre que se da a la serie de datos horarios de un año con la cual se representa el comportamiento de la irradiación a largo plazo.

4.8 GLOSARIO

ASR	<i>Año Solar Representativo</i>
AMT	<i>Año Meteorológico Tipo</i>
PSA	<i>Plataforma Solar de Almería</i>
SAM	<i>System Advisor Model</i>
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>
VMR	<i>Valor Mensual Representativo</i>

4.9 BIBLIOGRAFIA

- [1] Apuntes y transparencias de Otras energías renovables, Solar termoeléctrica. Máster de energías renovables en sistemas eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] Apuntes y transparencias de Evaluación de recursos, Recurso Solar. Máster de energías renovables en sistemas eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] Lourdes Ramírez Santigosa, Llanos Mora López (2012). Caracterización y evaluación de la radiación solar. Universidad Internacional de Almería.
- [4] ADRASE, Acceso a datos de radiación Solar de España (2013). UNEF, CIEMAT e Irsolav. < <http://www.adrase.ciemat.es/> >
- [5] SODA, Solar Energy Services for Professionals. < <http://www.soda-is.com> >
- [6] Surface meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0) < <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> >
“Data were obtained from the NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center Surface meteorological and Solar Energy (SSE) web portal supported by the NASA LaRC POWER Project.”
- [7] PVGIS © European Union, 2001-2012 < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> >
- [8] Estaciones meteorológicas de Navarra. Meteorología y climatología de Navarra.
< <http://meteo.navarra.es> >
- [9] InfoRiego. Junta de Castilla y León. < <http://www.inforiego.org> >
- [10] Estaciones agroclimáticas, Junta de Andalucía. Instituto de investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de agricultura, pesca y medioambiente.
< <http://www.juntadeandalucia.es> >
- [11] System Advisor Model, SAM < <https://sam.nrel.gov/> >

