



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Predicción de la producción eléctrica de
instalaciones fotovoltaicas situadas en
Castilla y León, a partir de datos de
radiación y ambientes.**

Autor: D. Álvaro Calderón Calvo
Tutor: D. Francisco Vicente Tinaut Fluixá
Valladolid, Junio, 2016

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el tratamiento de datos de producción de 16 plantas fotovoltaicas conectadas a la red en la Comunidad de Castilla y León. El objetivo principal es obtener una serie de correlaciones que permitan en un momento dado estimar la producción de dichas centrales en función de variables meteorológicas como son la radiación diaria sobre superficie horizontal, la temperatura media diaria, la velocidad del viento media diaria y la humedad media diaria. Las correlaciones calculadas estiman la irradiación equivalente, que permite obtener la producción eléctrica considerando características de la propia instalación como son: rendimiento de los módulos, rendimiento del inversor y superficie útil de panel. Los datos de radiación y demás datos meteorológicos han sido obtenidos del Sistema de información Agroclimática para el Regadío (SiAR), mientras que los datos de producción diaria de las plantas fotovoltaicas han sido suministrados por la empresa Sermanint HISPANIA.

ABSTRACT

This work is based on processing the production data of 16 photovoltaic plants connected to the grid in the region of Castilla y León. The main objective is to obtain a set of correlations that allow at any one time estimating the production of these plants depending on meteorological variables such as daily radiation on a horizontal surface, the average daily temperature, the speed of average daily wind and humidity daily average. Correlations developed estimate the equivalent irradiation which allows calculation of electrical production, by accounting for installation characteristics such as: module performance, inverter performance and useful panel surface. Radiation data and other meteorological data have been obtained from the Spain's Agro-climatic Information System for Irrigation (SiAR), while daily production data of photovoltaic plants have been supplied by the company Sermanint HISPANIA.

PALABRAS CLAVE

Instalación fotovoltaica, producción, irradiación, variables meteorológicas, correlación estadística.

KEYWORDS

Photovoltaic installation, production, irradiation, meteorological variables, statistical regression.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Francisco Tinaut, por haber estado siempre dispuesto a aclarar mis dudas y ayudarme en lo que he necesitado.

Al equipo de Sermanint HISPANIA por facilitarme los datos tan amablemente y estar a mí disposición en el momento que los he necesitado.

A mi familia y a Ana, por su apoyo incondicional durante todo este tiempo y demostrarme la fe que tienen en mí.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	2
2. ENERGÍA SOLAR Y CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS	5
2.1 EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA	5
2.2 RADIACIÓN, IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR	5
2.3 LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA.....	7
2.3.1 Célula fotovoltaica	7
2.3.2 Módulo y panel fotovoltaico	7
2.3.3 Inversor.....	8
2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS A ESTUDIAR.....	9
2.5 DATOS METEOROLÓGICOS.....	11
2.6 DATOS DE PRODUCCIÓN	13
3. METODOLOGÍA	15
3.1 INTRODUCCIÓN	15
3.2 PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA EN FUNCIÓN DE IRRADIACIÓN SOLAR	15
4. TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS	21
4.1 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL	21
4.1.1 Vecino más cercano.....	21
4.1.2 Inverso de la distancia (IDW).....	21
4.2 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS Y ESTACIONES DEL SiAR	22
5. CORRELACIÓN DE LA IRRADIACIÓN EQUIVALENTE DIARIA.....	27
5.1 PROPUESTA DE CORRELACIONES A UTILIZAR	27
5.2 APLICACIÓN DE LAS CORRELACIONES	29
5.2.1 Correlaciones anuales para cada instalación	29
5.2.2 Correlaciones específicas para cada instalación	49
5.2.3 Correlaciones generales	54
5.2.4 Conclusiones.....	55
6. COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES CALCULADAS.....	57
6.1 VALIDACIÓN DE LAS CORRELACIONES.....	57

Predicción de la producción de instalaciones fotovoltaicas.

6.1 CONCLUSIONES.....	64
7. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA.....	65
7.1 IRRADIACIÓN MEDIA EQUIVALENTE Y PRODUCCIÓN REAL	65
7.2 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN PARA UNA INSTALACIÓN	66
8. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS PARA OTRO TIPO DE INSTALACIONES	71
8.1 METODOLOGÍA.....	71
8.1.1 Instalación con módulos a 20 ⁰ y con silicio policristalino	72
8.1.2 Instalación con módulos a 30 ⁰ y con silicio monocristalino.....	77
8.2 CONCLUSIONES.....	82
9. INFLUENCIA DE PARÁMETROS EN LA ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN EQUIVALENTE.	85
9.1 INFLUENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL	85
9.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA	86
9.3 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD MEDIA DIARIA	89
9.4 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	92
10. CONCLUSIONES.....	95
10.1 CONCLUSIONES GENERALES.....	95
10.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	95
10.2.1 Interpolación de datos meteorológicos	95
10.2.2 Irradiación media diaria y producción eléctrica	96
10.2.3 Producción en otro tipo de centrales.....	96
10.2.4 Influencia de parámetros meteorológicos en la estimación de la irradiación equivalente	97
10.3 DESARROLLOS FUTUROS	97
Referencias	99
Anexo 1	101
Anexo 2	133
Anexo 3	139

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Desde hace miles de años el hombre ha tenido la necesidad de cuantificar todas las cosas que utilizaba, empezando por el tiempo y seguido de los fenómenos climatológicos que podían ayudarlo en su forma de subsistencia o arrasar sus cosechas y animales.

En el presente se siguen aplicando conocimientos y técnicas muy diversas, como las estadísticas, para de esta manera poder obtener la mayor información posible de todo lo que nos rodea y poder reaccionar ante diferentes situaciones.

El trabajo que se desarrolla tiene su fundamento en la energía fotovoltaica, de gran importancia en nuestros días.

En España es una de las principales fuentes de energía renovable, habiendo llegado a alcanzar un avanzado desarrollo en cuanto a instalaciones y aprovechamiento de la energía solar.

Dentro del marco europeo, España es uno de los países con mayor número de horas de sol diarias, con lo que la potencia a explotar en este sentido supone una ventaja frente a países que su climatología es más adversa disminuyendo considerablemente las horas en las que la radiación solar es aprovechable, tanto es así que España se ha convertido en uno de los principales precursores de este tipo de energía.

Años atrás, y principalmente debido a los incentivos por parte de las políticas del gobierno en cuanto al precio de la energía fotovoltaica, en España se construyeron numerosas plantas de producción fotovoltaica, contribuyendo así al desarrollo de la técnica en este campo y al desarrollo de la tecnología fotovoltaica en general, teniendo en cuenta que al aumentar el número de instalaciones la experiencia del sector aumenta en la misma medida.

Según la Comisión Nacional de Energía, de 2006 a 2015 la potencia fotovoltaica instalada en España ha pasado de 133MW a 4721MW, experimentando un crecimiento exponencial fundamentalmente debido a las ya mencionadas políticas de retribución más favorables y la simplificación de las condiciones de conexión de estas instalaciones a la red de distribución.

Esto conduce a elevados niveles de producción fotovoltaica que siguen batiendo records en nuestro país, como en junio de 2013, cuando Red Eléctrica de España informaba de que la energía solar fotovoltaica supuso el 5,1% de la generación total.

El coste de generación de la energía solar fotovoltaica se encuentra en continua evolución debido al rápido desarrollo tecnológico de las energías renovables, viniendo principalmente motivado por la reducción del coste de fabricación de la tecnología.

Como antecedentes inmediatos de este trabajo, hay que mencionar que previamente se han desarrollado dos trabajos (un proyecto fin de carrera [Faúndez, 2013] y un trabajo fin de máster [Martín, 2015]) en los que se tratan diversos aspectos de las instalaciones fotovoltaicas de la Comunidad de Castilla y León. Se pretende aquí continuar con los trabajos anteriores y constituir una base para trabajos posteriores.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo surge de la necesidad de cuantificar los resultados para poder comparar valores esperados con valores deseados y si fuera posible estimar futuros valores de las variables de estudio.

La empresa Cenit Solar ha sido la encargada de la instalación y registro de datos de 16 instalaciones fotovoltaicas de potencias pico comprendidas entre los 52.8kWp y los 119.52kWp en la comunidad de Castilla y León.

El gran volumen de datos que se van acumulando en una instalación conforme va avanzando el tiempo justifica la clasificación, revisión y tratamiento de estos datos para tener una información valiosa como es la comparación del funcionamiento real de dicha instalación con los previstos teóricos que se esperaban al llevar a cabo la instalación o la previsión de datos futuros.

La empresa Cenit Solar ha sido la encargada de proporcionar los datos necesarios para el estudio de las instalaciones, desde enero del año 2010 hasta Febrero del año 2016, fecha en la que se empezó a realizar el estudio.

En este trabajo se analizará lo anterior junto con datos obtenidos de la base de datos del SiAR (Sistema de información Agroclimática para el Regadío) con el fin de llegar a conclusiones que puedan ser útiles en el entorno de la producción fotovoltaica desde el punto de vista del análisis de instalaciones.

1.3 OBJETIVOS

El **objetivo principal** de trabajo es el predecir la producción de diferentes instalaciones fotovoltaicas a partir de datos medios diarios de las variables meteorológicas, con dos finalidades:

- Poder establecer previsiones de producción para el futuro.
- Desarrollar un método para facilitar el mantenimiento predictivo, ya que al conocer la producción teórica que debería proporcionar la instalación se puede comparar con la real y detectar posibles fallos de funcionamiento.

Para la consecución del objetivo principal se plantean una serie de **objetivos específicos** que se pueden resumir en:

- Analizar diferentes instalaciones fotovoltaicas (se dispone de datos diarios de 16 instalaciones), atendiendo a su producción, aún si no se cuenta con datos meteorológicos de la propia instalación. En este punto se engloba la necesidad de desarrollar un método geoestadístico para interpolar datos meteorológicos hasta el lugar en que se encuentre la instalación.
- Desarrollar una metodología que permita relacionar la producción eléctrica de una instalación fotovoltaica con variables meteorológicas: temperatura media, humedad relativa media, velocidad media del viento e irradiación diaria.
- Identificar qué influencia tienen los distintos parámetros meteorológicos de los que se dispone en la producción eléctrica de una instalación fotovoltaica.

- Establecer una serie de correlaciones que permitan predecir la irradiación equivalente, para de esta manera estimar la producción. Dichas correlaciones podrán ser generales o específicas, depende el nivel de detalle que se requiera en la estimación.
- Utilizar parámetros estadísticos para medir los errores cometidos al establecer las correlaciones para la producción de una instalación fotovoltaica.
- Estudiar la posibilidad de extrapolar los resultados a otro tipo de instalaciones con características diferentes a las 16 instalaciones tomadas como referencia para el estudio.

2. ENERGÍA SOLAR Y CENTRALES SOLARES FOTVOLTAICAS

2.1 EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

La energía solar, asociada al enorme flujo de radiaciones emitido por el sol y capturado por el planeta Tierra, es el origen de la vida y marca el tiempo de los ciclos biológicos y de las estaciones. El hombre siempre ha puesto en el sol sus esperanzas, sus necesidades de seguridad y prosperidad y ha utilizado su energía como fuente de calor y de luz.

La energía solar es la más abundante en la Tierra y tiene numerosas ventajas: es renovable, disponible, gratuita y en cantidad muy superior a las necesidades energéticas de la población mundial.

El pionero en la captación solar tal como hoy se conoce fue Agustín Mouchot, desarrollando en el año 1868 los primeros sensores solares. Tras ello, serían muchos los que seguirían sus pasos, siendo especialmente destacables John Ericsson, que en 1870 diseñó un colector parabólico que se ha seguido usando durante más de 100 años, y Aubrey Eneas, quien fundó la primera empresa de energía solar en 1900, The Solar Motor Co.

Hoy en día sólo se utiliza una pequeña parte de la cantidad de energía solar procedente del sol, por lo que el camino a recorrer es largo para poder aprovechar la energía solar a gran escala. Según las perspectivas que se tienen, se producirá un cambio de tendencia que es indispensable para la ecología del planeta.

2.2 RADIACIÓN, IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

La radiación solar es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol.

La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s.

Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético, que se puede observar en la figura 2.1. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar.

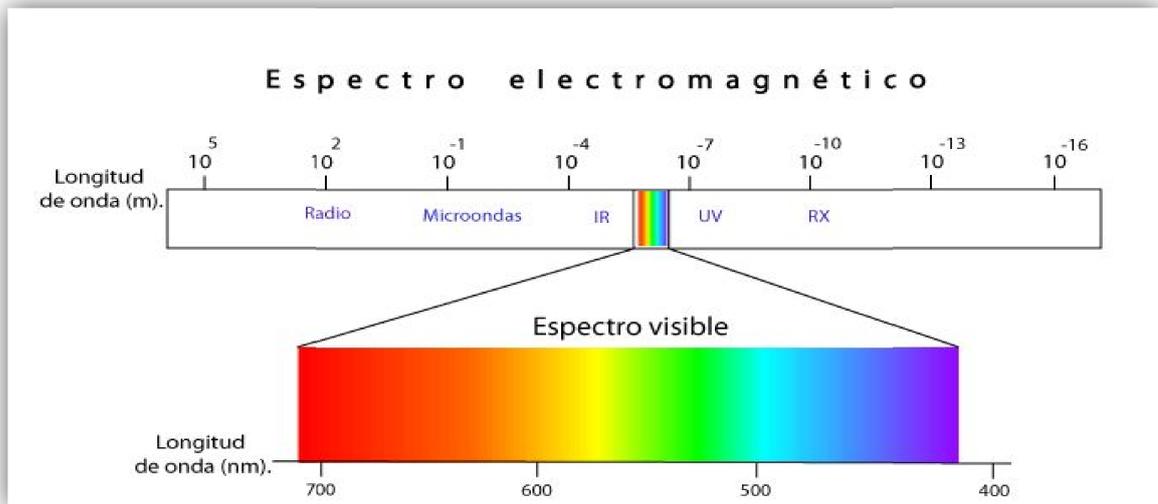


Figura 1: Espectro electromagnético y espectro visible.

La proporción de la radiación solar en las distintas regiones del espectro es aproximadamente:

- Ultravioleta: 7%.
- Luz visible: 43%.
- Infrarrojo: 49%.
- El resto: 1%.

El aprovechamiento de esta radiación es la base de la energía, desde los seres vivos para sobrevivir hasta las células fotovoltaicas que se tratan, capaces de convertir esta radiación en electricidad.

La radiación solar, antes de entrar en la atmosfera terrestre, se denomina radiación solar extraterrestre. Procede casi exclusivamente del disco solar y está constituida por haces de rayos que se pueden considerar paralelos, puesto que la Tierra se ve desde el Sol con un ángulo aproximado de 8.79 segundos de arco. Para introducir un orden de magnitud se indicará que mientras el radio terrestre y el solar son de 6371 km y 695500 km respectivamente, la distancia media entre ellos es de 149.6 millones de kilómetros.

El flujo de energía que alcanza la superficie externa de nuestra atmosfera en un plano perpendicular a la dirección Tierra-Sol por unidad de tiempo y de superficie se conoce como constante solar (G_{SC}), y tiene un valor medio de 1367 W/m^2 , alcanzando valores mínimo de 1308 W/m^2 en el afelio (punto más lejano de la órbita de la Tierra en torno al Sol, alrededor del 1 de julio) y máximo de 1395 W/m^2 en el perihelio (punto más cercano, hacia el 4 de enero).

La irradiancia solar es la magnitud que describe la radiación solar que llega hasta nosotros (no toda la radiación llega a la superficie de la tierra). Es la potencia recibida por unidad de superficie. Se suele medir en W/m^2 o unidades equivalentes.

La irradiación solar es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es la potencia por tiempo recibida por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 o unidades equivalentes.

2.3 LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

2.3.1 Célula fotovoltaica

Para describir la central fotovoltaica se parte del primer elemento, la célula fotovoltaica. La palabra fotovoltaico procede de *photo* (luz) y *voltaico* (electricidad) y significa electricidad producida a través de la luz. El efecto fotovoltaico se fundamenta en la capacidad de algunos semiconductores, como el silicio, de generar directamente energía eléctrica cuando se exponen a la radiación solar.

La conversión de la radiación solar en energía eléctrica se produce en la célula fotovoltaica, que es el elemento base del proceso de transformación.

La luz está formada por partículas, los fotones, que transportan energía. Cuando un fotón con suficiente energía golpea la célula, es absorbido por los materiales semiconductores y libera un electrón, el electrón una vez libre, deja detrás de sí una carga positiva llamada hueco.

Como consecuencia de lo anterior, cuanto mayor sea la cantidad de fotones que golpean la célula, más parejas electrón hueco se formarán por efecto fotovoltaico y por lo tanto más mayor es la cantidad de corriente producida.

Se puede definir la célula fotovoltaica como un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semiconductor, normalmente silicio.

Actualmente el material más empleado es el silicio monocristalino, ya que tiene mayores prestaciones y durabilidad en el tiempo que el policristalino o el silicio amorfo (ver figura 2). El rendimiento puede llegar al 17% mientras que en los otros dos casos se alcanzan valores máximos del 14% para el silicio poli-cristalino y 10% para el silicio amorfo.

La placa de silicio suele tener forma cuadrada, con aproximadamente 10 cm de lado y un grosor variable que oscila entre los 0.25 mm y los 0.35 mm, por lo que la superficie ronda los 100 cm².

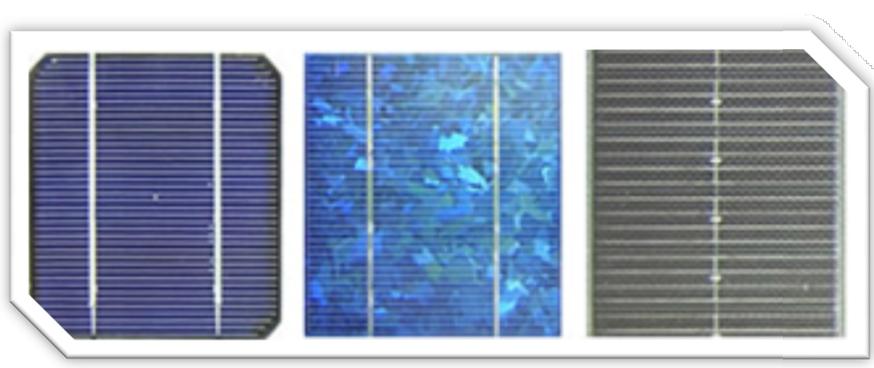


Figura 2: Células de silicio monocristalino, policristalino y amorfo respectivamente.

2.3.2 Módulo y panel fotovoltaico

Las células anteriormente citadas, se ensamblan de manera adecuada para formar una estructura sólida y manejable, el módulo, que se muestra en la figura 3.

Los módulos pueden tener diferentes tamaños y las células están ensambladas entre un estrato superior de cristal y un estrato inferior de material plástico. Posteriormente

se añaden los marcos, normalmente de aluminio, consiguiendo una resistencia mecánica adecuada y garantizando años de funcionamiento. En la parte trasera del módulo se añade una caja de unión en la que se ponen los diodos y los contactos eléctricos.



Figura 3: Módulo formado por células ensambladas.

Los módulos ensamblados mecánicamente entre sí forman el panel fotovoltaico (figura 4), mientras que un conjunto de paneles conectados eléctricamente en serie forman una rama.



Figura 4: Panel fotovoltaico constituido por módulos.

Varias ramas conectadas en paralelo para obtener la potencia deseada forman el generador fotovoltaico. De esta manera el sistema eléctrico puede obtener las características de tensión y potencia necesarias requeridas por el usuario.

2.3.3 Inversor

La producción de energía eléctrica fotovoltaica depende de la luz del sol, por lo que está condicionada por la alternancia del día y de la noche, por los ciclos de las estaciones y por la variación de condiciones meteorológicas. Además el generador fotovoltaico proporciona corriente eléctrica continua.

Para adecuar así la producción a la demanda de los usuarios, que normalmente precisan corriente alterna con valores constantes de tensión, es necesario incluir un inversor en la instalación. Dicho inversor es el encargado del envío de la energía del sistema fotovoltaico al usuario, transformando y adaptando la corriente continua producida por los módulos a las necesidades de los usuarios.

Para disminuir las pérdidas los inversores se suelen situar cerca de los paneles. Una instalación puede tener un solo inversor centralizado que se encarga de la conversión de la corriente de todos los módulos o puede tener varios repartidos por la instalación.

La potencia nominal del inversor debe ser inferior a la potencia pico de los módulos por dos motivos. El primero es que la potencia pico de los módulos se da para unas condiciones que raramente se cumplen en la realidad, y el segundo es debido a las diferentes pérdidas en el cableado, el inversor o en los módulos. De cualquier forma, si algún momento se alcanzaran las condiciones de funcionamiento nominal de los módulos no habría problemas con el inversor, ya que están diseñados para soportar sobrecargar de un 15 o un 20%.

La característica más importante de un inversor es su eficiencia, y raramente se proporciona por el fabricante para diferentes grados de carga, lo que se suele encontrar en el catálogo es la eficiencia máxima del inversor y su euroeficiencia, que es un parámetro ponderado para el clima europeo que tiene en cuenta diferentes condiciones de carga debidas al clima y se define de la siguiente manera:

$$\eta_{euro} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.1 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%}$$

Donde los diferentes rendimientos en porcentaje representan el rendimiento del inversor a ese porcentaje de su carga nominal.

En la siguiente figura se muestra el esquema desde que el sol emite energía solar en forma de radiación hasta su consumo una vez obtenida la energía eléctrica mediante una instalación fotovoltaica.

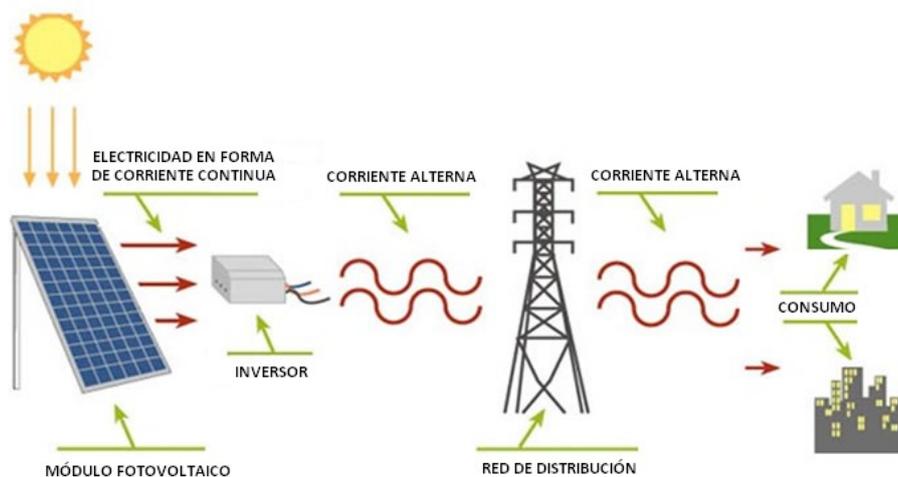


Figura 5: Transformación de energía solar en energía eléctrica mediante una instalación fotovoltaica.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS A ESTUDIAR

Como se mencionó anteriormente las 16 instalaciones objeto de estudio están situadas todas ellas en Castilla y León, no se va a hacer una descripción minuciosa de cada una de ellas, si cabe destacar algunas características generales:

- Todas ellas están formadas por paneles configurados a una inclinación de 30° , el objetivo de esta elección es poder ajustar más la predicción inicial, aunque posteriormente se comprobará si los resultados se pueden extrapolar a otras inclinaciones de panel.

- Están compuestas de paneles de tipo policristalino, y como se comentó anteriormente el rendimiento de este tipo de módulos está situado en torno al 14%.
- Sus potencias pico se sitúan entre 52.8 kWp la menor de ellas, situada en Alija del Infantado, hasta los 109.52 kWp la mayor, situada en Villacidaler.

A continuación se muestra la tabla 1, en la que se recoge la localización de cada una de ellas, así como una numeración desde la instalación 1 hasta la instalación 16, que será la denominación que se las dará de aquí en lo que sigue.

Tabla 1: Localización de las instalaciones a estudiar.

Instalación		Localización instalaciones				
		Localidad	Provincia	Latitud(º)	Longitud(º)	Altitud(m)
Inst. 1	Mojados_1	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 2	Mojados_2	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 3	Mojados_4	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 4	Albalhorno_1	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 5	Albalhorno_2	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 6	Albalhorno_19	Mojados	Valladolid	41,431	-4,665	714
Inst. 7	Fresno_1	Fresno el Viejo	Valladolid	41,198	-5,145	759
Inst. 8	Fresno_2	Fresno el Viejo	Valladolid	41,198	-5,145	759
Inst. 9	Villacidaler	Villacidaler	Palencia	42,221	-4,977	795
Inst. 10	Mamblas_1	Mamblas	Ávila	41,024	-5,01	819
Inst. 11	Mamblas_2	Mamblas	Ávila	41,024	-5,01	819
Inst. 12	Sotos_5	Torrecilla de la Torre	Valladolid	41,666	-5,05	752
Inst. 13	Sotos_6	Torrecilla de la Torre	Valladolid	41,666	-5,05	752
Inst. 14	Sotos_4	Torrecilla de la Torre	Valladolid	41,666	-5,05	752
Inst. 15	La Trapa	Arévalo	Ávila	41,058	-4,718	820
Inst. 16	Alija	Alija del Infantado	León	42,139	-5,834	734

En la tabla 2 se muestran algunas de las características principales de las instalaciones, no se ha considerado especificar marca y modelo de los inversores y los paneles por razones de confidencialidad.

Tabla 2: principales características de las instalaciones a estudiar.

	Potencia nominal (kW)	Potencia Pico (kWp)	Nº Módulos	Eficiencia Inversor	Superficie módulo (m ²)	Nº células por módulo	Superficie útil total (m ²)
Inst. 1	100	109,2	520	96%	1,675x1,001	60	759,28
Inst. 2	100	109,2	520	96%	1,675x1,001	60	759,28
Inst. 3	100	109,2	546	96%	1,675x1,001	60	797,25
Inst. 4	100	109,2	520	96%	1,652x0,994	60	759,28
Inst. 5	100	109,2	520	96%	1,652x0,994	60	759,28
Inst. 6	100	109,2	520	96%	1,652x0,994	60	759,28
Inst. 7	100	99,33	462	94,90%	1,660x0,990	60	674,59
Inst. 8	100	99,33	462	94,90%	1,660x0,990	60	674,59
Inst. 9	100	109,52	420	94,90%	1,592x1,323	120	787,50
Inst. 10	100	100,8	504	94,90%	1,675x1,001	60	735,92
Inst. 11	100	100,8	504	94,90%	1,675x1,001	60	735,92
Inst. 12	100	99,96	456	94,90%	1,640x0,990	60	665,83
Inst. 13	100	99,96	456	94,90%	1,640x0,990	60	665,83
Inst. 14	100	99,96	370	94,90%	1,592x1,323	120	693,75
Inst. 15	100	100,8	504	94,90%	1,675x1,001	60	735,92
Inst. 16	50	52,8	320	94,30%	1,593x0,79	72	360,00

2.5 DATOS METEOROLÓGICOS

Con el fin de llegar a una predicción de la producción de una instalación fotovoltaica se ha recurrido a una serie de variables meteorológicas que se detallarán más adelante, entre las cuales la principal es la radiación.

Es fácil dar con bases de datos que proporcionan información media mensual de dichas variables, sin embargo para la elaboración de este trabajo se necesitan valores con mayor precisión, por lo que se trabajará con medias diarias de las variables a estudio. Para ello se ha decidido utilizar para la extracción de datos meteorológicos la base de datos del SiAR (Sistema de información Agroclimática para el Regadío).

El SiAR es un servicio de la Consejería de Agricultura, en colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha, que pretende ayudar a los agricultores a conseguir un manejo racional y eficiente de los medios de producción. El SiAR suministra un adecuado apoyo científico y técnico para optimizar el uso de un recurso tan básico para la vida como es el agua, para conseguir que la agricultura sea una actividad sostenible, compatible con el medio ambiente.

Este sistema cuenta con un total de 468 estaciones distribuidas por el territorio nacional como se puede observar en la figura 6. No están presentes en todas las comunidades autónomas pero si se encuentran en Castilla y León donde forman una red de estaciones bien distribuidas en toda la comunidad.

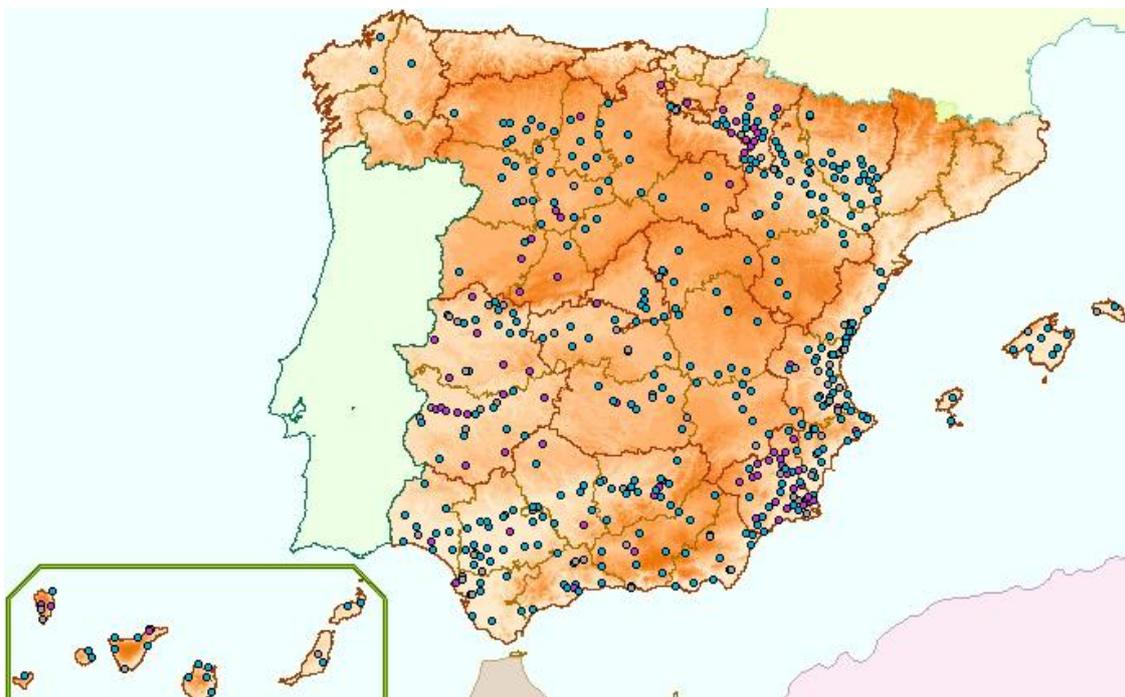


Figura 6: Localización de las instalaciones del SiAR.

El SiAR pone a disposición de los usuarios y de forma gratuita datos meteorológicos medios diarios, semanales o mensuales recogidos en las diferentes estaciones que tiene repartidas por España como se puede ver en la figura. Para ello cuenta con una página web en la cual se pueden tanto consultar como descargar los datos meteorológicos necesarios.

Las variables a las que se pueden tener acceso son las siguientes:

1. Temperatura media
2. Temperatura máxima
3. Temperatura mínima
4. Hora temperatura máxima
5. Hora temperatura mínima
6. Humedad relativa del aire media
7. Humedad relativa del aire máxima
8. Humedad relativa del aire mínima
9. Hora humedad relativa del aire máxima
10. Hora humedad relativa del aire mínima
11. Velocidad del viento media
12. Velocidad del viento máxima
13. Hora velocidad del viento máxima
14. Dirección del viento media
15. Dirección del viento en velocidad máxima
16. Precipitación
17. Precipitación efectiva
18. Irradiación global horizontal
19. Temperatura del suelo a 10cm
20. Temperatura del suelo a 30cm

A continuación se describen los elementos que conforman las estaciones de la Red SiAR (figura 7):

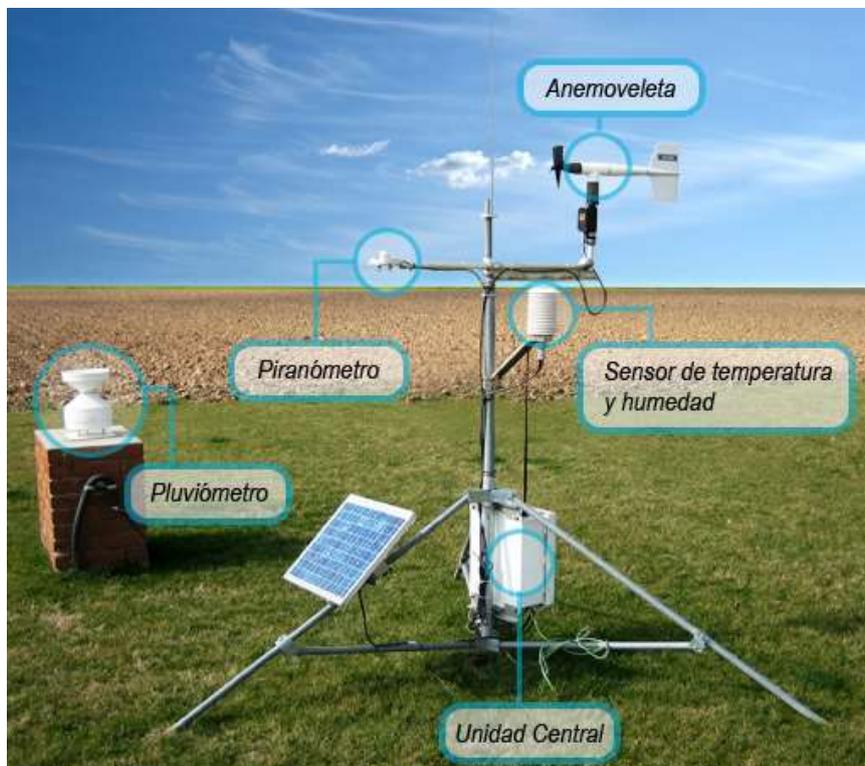


Figura 7: Elementos de una estación del SiAR.

Unidad central

La unidad central está formada por el datalogger, módem y regulador de carga. Es la encargada del control de los sensores, registro y transmisión de datos y control de la alimentación eléctrica del sistema.

Panel Solar

Los paneles solares utilizados en la red SiAR son módulos amorfos de 12Wp y 12V conectados al regulador de carga situado en la Unidad Central.

Trípode

Estructura de acero galvanizado de 2 m de altura, con sus tres patas sujetas al suelo con piquetas enterradas e instalado con vientos y tres brazos que sirven de soporte a los sensores de temperatura y humedad, sensor de viento y sensor de radiación.

Sensores

- Sensor de Temperatura y Humedad
- Sensor de radiación (piranómetro)
- Sensor de dirección y velocidad del viento (anemoveleta)
- Sensor de precipitación (pluviómetro)
- Sensor de Temperatura del suelo (únicamente en algunas estaciones)

2.6 DATOS DE PRODUCCIÓN

Los datos reales de producción de las distintas instalaciones a estudio, han sido proporcionados por la empresa Sermanint HISPANIA, permitiendo la comprobación y validación de las estimaciones de producción calculadas y sin los cuales este trabajo no se podría haber llevado a cabo.

En concreto se han extraído los datos de producción día a día de cada una de las 16 instalaciones que se estudian, desde Enero del año 2010 hasta Febrero de 2016.

3. METODOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con el desarrollo de la metodología se exponen varios conceptos importantes ya introducidos anteriormente:

- **Radiación solar:** conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, en un espectro desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.
- **Irradiancia:** es la magnitud que describe la radiación solar que llega hasta la superficie de referencia (no toda la radiación llega a la superficie de la tierra). Es la potencia recibida por unidad de superficie. Se suele medir en W/m^2 o unidades equivalentes y representar por el símbolo **I**.
- **Irradiación:** es la cantidad de irradiancia recibida en un periodo de tiempo determinado y por tanto una energía por unidad de superficie, equivalente al producto de la potencia (irradiancia) por el tiempo transcurrido. Se suele medir en Wh/m^2 o unidades equivalentes y representar por el símbolo **H**.
- **Producción eléctrica:** cantidad de energía eléctrica producida en un periodo de tiempo determinado y medida en bornes del panel o bien a la salida del inversor. Se suele medir en Wh o unidades equivalentes y representar por el símbolo **Ep**.
- **Hora Solar Pico (HSP):** es una forma cómoda y simplificada de expresar la irradiación diaria, equivalente a las horas al día que la irradiación ha sido de $1000 W/m^2$.

Con el fin de llegar al objetivo principal de este trabajo, predecir la producción en base a datos meteorológicos, se va a desarrollar en este capítulo la metodología.

3.2 PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA EN FUNCIÓN DE IRRADIACIÓN SOLAR

Haciendo referencia al esquema de la figura 8, la **producción real de una central fotovoltaica E_p** en un cierto periodo de tiempo, por ejemplo un día, se puede expresar en función de la intensidad de la radiación solar (irradiancia) y de las características de la instalación (paneles e inversor) de la siguiente manera:

$$E_p \left[\frac{kWh_{e\ inv}}{d} \right] = \int_0^{día} \eta_{inv}(t) \left[\frac{kW_{e\ inv}}{kW_{e\ panel}} \right] \cdot \eta_{cél}(t) \left[\frac{kW_{e\ panel}}{kW_{rad}} \right] \cdot I(t) \left[\frac{kW_{rad}}{m^2_{panel}} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \cdot dt \quad [1]$$

Donde:

- η_{inv} : rendimiento instantáneo del inversor, función del punto de funcionamiento (fracción de potencia respecto a potencia nominal).
- $\eta_{cél}$: rendimiento instantáneo de la célula, función de la irradiancia instantánea, el ángulo de incidencia y la temperatura de la célula.

- I : intensidad de la radiación solar en cada instante (irradiancia, afectada del ángulo de incidencia de la radiación directa y de la relación entre las componentes directa y difusa).
- S_{panel} : superficie útil del panel, medida sobre el plano de inclinación de los paneles.

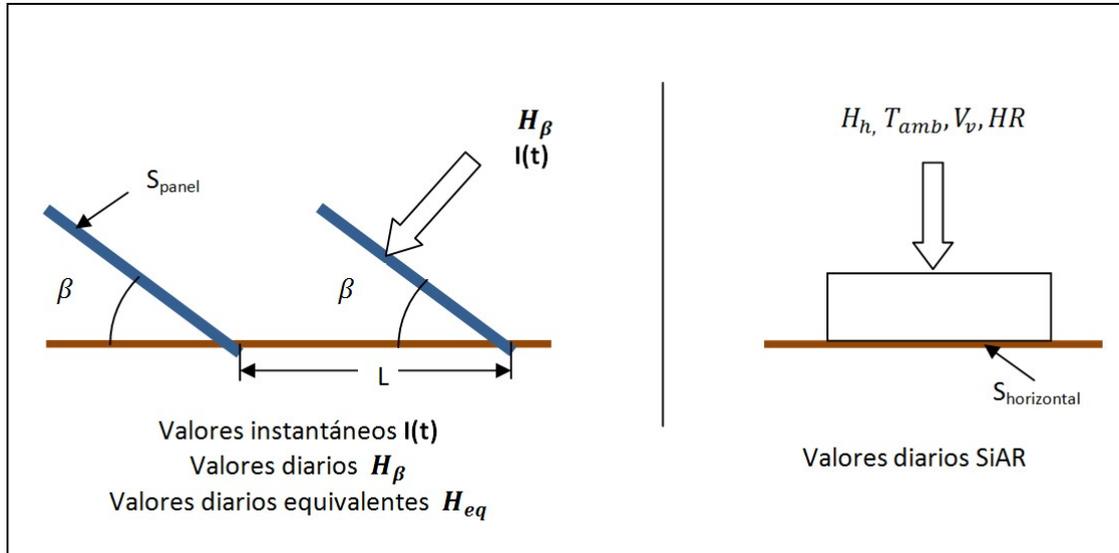


Figura 8: Esquema con las principales variables que se van a utilizar.

En la expresión anterior, el producto $\eta_{cél}(t) \cdot I(t) \cdot S_{panel}$ tiene en cuenta el efecto de los ángulos de incidencia y de la relación entre la componente directa y difusa de la irradiancia, para dar el equivalente a una potencia eléctrica a la salida de los paneles.

Si se pueden establecer unos valores medios constantes a lo largo del día de los rendimientos del panel y del inversor, se podría considerar un valor de la **irradiación diaria sobre superficie inclinada** $\overline{H_\beta}$ que multiplicada por dichos **rendimientos medios** diera la producción eléctrica diaria:

$$E_p \left[\frac{kWh_{e\ inv}}{día} \right] = \overline{\eta_{inv}} \left[\frac{kW_{e\ inv}}{kW_{e\ panel}} \right] \cdot \overline{\eta_{cél}} \left[\frac{kW_{e\ panel}}{kW_{rad}} \right] \cdot \overline{H_\beta} \left[\frac{kW_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \quad [2]$$

Donde:

- $\overline{\eta_{inv}}$: rendimiento medio del inversor a lo largo del día.
- $\overline{\eta_{cél}}$: rendimiento medio de la célula a lo largo del día.
- $\overline{H_\beta}$: irradiación diaria, considerando como superficie la de los paneles con su inclinación (ángulo β).
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación β).

Una variable que se utiliza frecuentemente para evaluar el comportamiento de una instalación respecto a las condiciones de referencia es el **Performance Ratio** (PR), que puede definirse como [Faúndez, 2013]:

$$PR = \frac{\eta_{instalación}}{\eta_{cel\ ref}} \quad [3]$$

Donde:

- $\eta_{instalación}$: rendimiento combinado de la instalación trabajando en las condiciones reales e incluyendo el inversor (variable dependiendo de las condiciones)
- $\eta_{cel\ ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante)

El numerador del Performance Ratio se puede expresar en términos de la producción diaria como el cociente entre la producción eléctrica medida E_p (kWh/d) y la irradiación que llega a las células, es decir, $\overline{H_\beta}$ (kWh rad/m²d) multiplicada por la superficie de las células, S_{panel} (m²). Por su parte el rendimiento de referencia o eficiencia nominal de las células expresado en términos de potencia es la potencia nominal o pico P_n (kW) dividida entre la irradiancia en condiciones nominales o estándar, es decir, $I_{STC}=1\text{kW/m}^2$, multiplicada por la misma superficie S_{panel} . Es decir, que el PR se puede expresar como:

$$PR = \frac{E_p / \overline{H_\beta} S_{panel}}{P_n / I_{STC} S_{panel}} \quad [4]$$

Con lo que la producción se puede expresar en función del PR y la irradiación diaria sobre superficie inclinada como:

$$E_p = PR \cdot \frac{P_n}{I_{STC} S_{panel}} \cdot \overline{H_\beta} \cdot S_{panel} \quad [5]$$

O bien:

$$E_p \left[\frac{kWh_{e\ inv}}{día} \right] = PR \cdot \eta_{cel\ ref} \left[\frac{kWh_{e\ panel}}{kWh_{rad}} \right] \cdot \overline{H_\beta} \left[\frac{kWh_{rad}}{m_{panel}^2 \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \quad [6]$$

Donde:

- PR : performance ratio medio a lo largo del día

- $\eta_{cél\ ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante)
- \overline{H}_β : irradiación diaria, considerando como superficie la de los paneles con su inclinación (ángulo β).
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación).

Comparando las expresiones [2] y [6] se puede ver que el PR definido en [3] engloba el propio rendimiento del inversor y los efectos de los cambios en el mismo (al variar el punto de funcionamiento), así como los cambios en el rendimiento de las células (al variar su temperatura o la irradiancia) respecto a la condiciones de referencia.

Puede definirse una **irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq}** , que permita obtener el valor de la producción eléctrica, considerando los **valores de referencia de los rendimientos del inversor y de las células**, para dar:

$$E_p \left[\frac{kWh_{e\ inv}}{día} \right] = \eta_{inv\ ref} \left[\frac{kW_{e\ inv}}{kW_{e\ panel}} \right] \cdot \eta_{cél\ ref} \left[\frac{kW_{rad}}{kW_{e\ panel}} \right] \cdot H_{eq} \left[\frac{kW_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \quad [7]$$

Donde:

- $\eta_{inv\ ref}$: rendimiento del inversor en condiciones de referencia nominales (constante).
- $\eta_{cél\ ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante).
- H_{eq} : irradiación equivalente sobre superficie inclinada que permite calcular la producción eléctrica.
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación).

Comparando [6] y [7] se puede ver que la irradiación equivalente H_{eq} se puede expresar como:

$$H_{eq} = \frac{PR}{\eta_{inv\ ref}} \overline{H}_\beta$$

Es decir, depende de la irradiación sobre superficie inclinada \overline{H}_β a través del PR (que es un valor a priori desconocido, que va a depender de la condiciones de funcionamiento).

Además, no siempre está disponible este valor de la **irradiación diaria sobre superficie inclinada \overline{H}_β** . Por el contrario es más fácil disponer de los valores de la **irradiación diaria sobre superficie horizontal \overline{H}_h** . Además en trabajos anteriores [Faúndez, 2013] [Martín, 2015] se ha comprobado que las variables que más influyen sobre la producción de una central solar fotovoltaica, aparte de la propia irradiación, son la

temperatura media diaria, la humedad relativa media diaria y la velocidad del viento media diaria. Estos datos diarios son fácilmente obtenibles a partir del Sistema de Información de Apoyo al Regadío (SIAR), del Ministerio de Agricultura). El elevado número de estaciones de medición permite además que los datos puedan interpolarse a ubicaciones específicas por métodos tales como el inverso de la distancia, como se describe en las referencias citadas más arriba.

Sin embargo, los datos SIAR de irradiación se refieren a superficie horizontal, por lo que no se pueden usar directamente como irradiación sobre superficie inclinada, puesto que hay un efecto asociado a la inclinación de los paneles y al factor de ocupación de éstos sobre el terreno.

Por lo tanto, lo que se pretende es establecer una relación entre la irradiación equivalente sobre superficie inclinada de los paneles y la irradiación sobre superficie horizontal, incluyendo además el efecto de las variables ambientales:

$$H_{eq} = f(H_h, T_{amb}, V_v, HR)$$

Obtenida esta relación o relaciones, bastará introducir el valor de la irradiación equivalente en la expresión [7] para obtener así el valor de la producción eléctrica.

Estas relaciones se van a obtener en forma de correlaciones que ajustan la variable de salida (H_{eq}) en función de los valores de las variables de entrada (H_h, T_a, V_v, W_a) mediante un ajuste de mínimos cuadrados tal como se detalla en el capítulo 5.

Para una determinada instalación fotovoltaica, la correlación obtenida es específica para la misma, puesto que la correlación engloba implícitamente el efecto de la inclinación o la separación entre paneles. Por el contrario, el rendimiento nominal del inversor y de las células están excluidos de la correlación y por ello ésta se puede usar con distintos valores nominales de los mismos. Sin embargo, la dependencia de estos rendimientos con por ejemplo la temperatura no está considerada explícitamente. No obstante, al disponerse de datos de distintas instalaciones en ubicaciones geográficas diferentes, con paneles e inversores distintos se pueden obtener correlaciones específicas para cada instalación y cada año, para cada instalación considerando todos los años disponibles, y finalmente correlaciones que incluyan todas las instalaciones y todos los años.

Dichas correlaciones se podrá usar para predecir la producción en dos casos típicos:

- Una futura instalación a construir en una ubicación de la que se conozca la irradiación horizontal diaria y el resto de las variables ambientales
- Una instalación existente, como herramienta de diagnóstico para comparar la producción real con la producción estimada a partir de la irradiación horizontal interpolada entre estaciones SIAR existentes.

4. TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS

4.1 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL

Como se dijo anteriormente, los datos meteorológicos se van a extraer de la base de datos del SiAR. Surge un problema en este apartado y es que las estaciones del SiAR no están situadas en el lugar exacto de las instalaciones.

Surge así la necesidad de recurrir a métodos de geoestadística [Faúndez, 2013] y [Martín, 2015] que es la ciencia que se ocupa del estudio de la interpolación espacial. Con estos métodos lo que se va a conseguir es una estimación de las variables meteorológicas implicadas (temperatura, humedad, velocidad del viento e irradiación) en el lugar en el que se encuentra la instalación fotovoltaica.

Concretamente se han utilizado dos métodos recomendados para el tratamiento de datos meteorológicos y que ya fueron validados en trabajos anteriores:

- **Método del vecino más cercano:** utilizado para aquellas instalaciones que disponen de una estación SiAR a **menos de 10 km de distancia**.
- **Método del inverso de la distancia (IDW),** utilizado para el resto de las instalaciones y que a continuación se detalla.

4.1.1 Vecino más cercano

Este método destaca por su simplicidad y facilidad de aplicación práctica. Consiste en tomar como valor de la variable que se desea conocer el mismo valor que tiene esa variable en el punto que se toma como referencia. Nos encontramos con que este método es suficientemente preciso cuando el punto de referencia no se aleja mucho del punto en el que se desea conocer el dato, así pues, se utilizará este método cuando la estación meteorológica y la instalación no disten más de 10 km. Este método arroja resultados especialmente buenos cuando lo que se está tratando son variables con una lenta variación a lo largo del espacio, como son las que aquí se están tratando.

4.1.2 Inverso de la distancia (IDW)

Este método, no siendo tan simple como el anterior, destaca por su sencillez entre todos los que conllevan cierta capacidad operacional. El método lo que hace es dar un valor a la variable analizada en el punto que se esté estudiando estimándolo en función de los valores de esta variable en los diferentes puntos o estaciones que lo rodean (hasta una distancia máxima de influencia). Los valores en esas estaciones se suman afectándolos de una un peso que varía de forma inversa a la distancia (con un exponente negativo, denominado *factor de potencia*).

$$\hat{Z} = \sum_i^N \omega_i \cdot Z_i$$

Siendo:

$$\omega_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum_i^N d_i^{-p}}$$

Donde:

- \hat{Z} es el valor de la estimación en el punto.
- Z_i es el valor de la medición en la estación i-ésima.
- ω_i es el peso asignado a la estación i-ésima.
- p es el parámetro de potencia, normalmente 2.
- N es el número de estaciones que intervienen en la estimación.

El significado del parámetro de potencia (p) estriba en si se quiere dar más o menos peso a los puntos más cercanos al punto de estimación, si se aumenta el parámetro de potencia los puntos cercanos tendrán un mayor peso y si se disminuye su peso disminuirá.

Para la estimación se toman estaciones que se encuentren en un radio de 45km de la estación objeto de estudio, por ser una distancia que engloba un número considerable de estaciones para cada una de las instalaciones estudiadas. Además, por encima de ese radio de 45 km, se estima que puede haber diferencias ya significativas entre los valores de las variables meteorológicas, conduciendo a una peor estimación en el punto de interés.

4.2 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS Y ESTACIONES DEL SiAR

Se presenta aquí un resumen de las instalaciones fotovoltaicas, y las estaciones del SiAR que se han utilizado para la interpolación de los datos meteorológicos.

Aunque se tienen **16 instalaciones**, algunas coinciden en su localización, por lo tanto los puntos donde se necesita conocer los datos meteorológicos son siete. Aunque la localización está tomada en las coordenadas donde se localiza la instalación, se pone el nombre del municipio al que pertenece, así pues se van a calcular los datos para las instalaciones situadas en:

- Mojados
- Fresno el Viejo
- Villacidaler
- Alija
- Torrecilla de la Torre
- Arévalo
- Mamblas

En algunos casos la distancia entre la estación del SiAR y la instalación, es inferior a 10 km, como se puede ver en la figura para las instalaciones de Fresno el Viejo, distantes 5.46km de la estación SiAR de Torrecilla de la Orden:

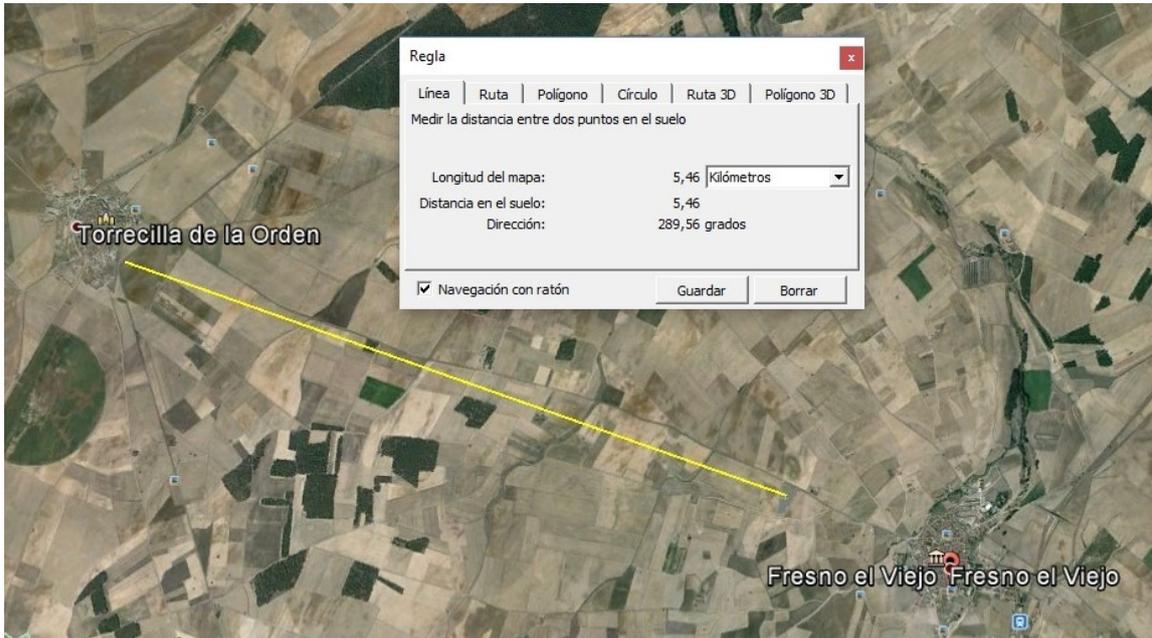


Figura 9: Distancia entre instalación y estación SiAR.

En estos casos se aplica el método del vecino más cercano, por lo que se toman directamente los datos de temperatura, humedad, velocidad del viento e irradiación recogidos diariamente por la estación más cercana desde el año 2010 hasta febrero de 2016.

Dichas instalaciones son las pertenecientes a los municipios de:

Tabla 3: Distancia entre la instalación de Fresno el viejo y la estación SiAR correspondiente.

Fresno el Viejo	
Estación SiAR	Torrecilla de la Orden
d(km)	7,05

Tabla 4: Distancia entre la instalación de Alija del Infantado y la estación SiAR correspondiente.

Alija del Infantado	
Estación SiAR	Quintana del Marco
d(km)	7,69

Tabla 5: Distancia entre la instalación de Arévalo y la estación SiAR correspondiente.

Arévalo	
Estación SiAR	Nava de Arévalo
d(km)	10

Para el resto de las instalaciones, se trazan ahora círculos de radio 45 km, para utilizar el método IDW, con centros en las coordenadas de cada instalación fotovoltaica, como se puede ver en la figura con la instalación situada en Villacidaler:

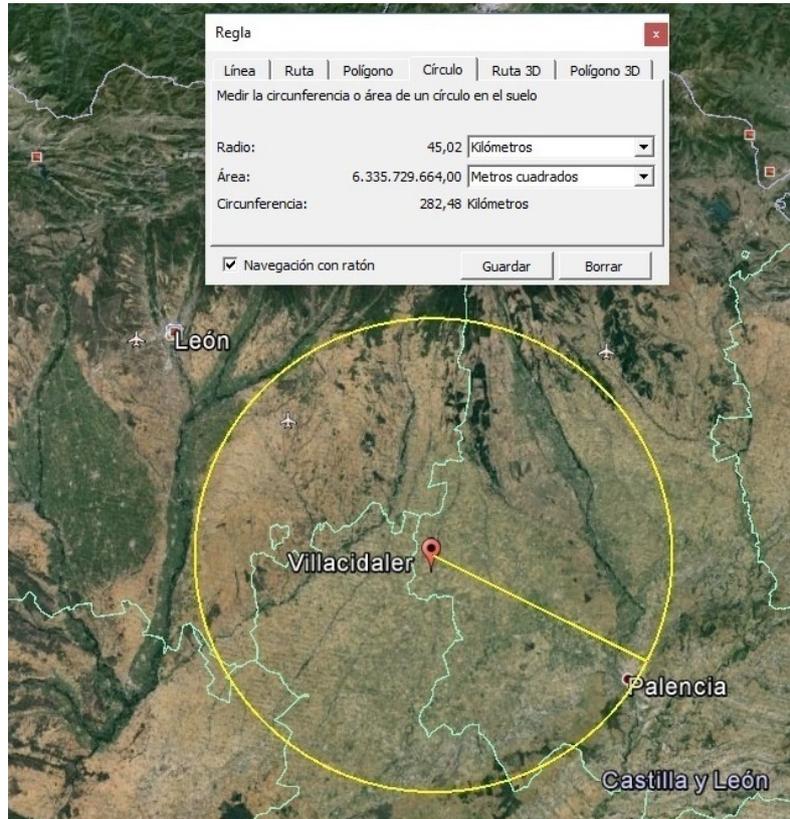


Figura 10: Círculo de radio 45 km, trazado sobre la instalación de Villacidaler

Se observa que las estaciones del SiAR que quedan dentro de dichos círculos son las siguientes:

- Olmedo
- Tordesillas
- Finca Zamadueñas
- Gomezserracín
- Nava de la asunción
- Valbuena de Duero
- Torrecilla de la Orden
- Sahagún
- Fuentes de Nava
- Mayorga
- Villoldo
- Medina de Rioseco

- Villaluenga de la Vega
- Santa Martas
- Nava de Arévalo
- Arabayona
- Medina del Campo
- Rueda

Por lo tanto se recogen de la base de datos del SiAR los datos diarios de temperatura, humedad, velocidad del viento e irradiación para esas estaciones y se procede a aplicar el método IDW con parámetro de potencia 2, y en base a las siguientes distancias medidas sobre el mapa para cada instalación:

Tabla 6: Distancia entre la instalación de Mojados y las estaciones SiAR correspondientes.

Mojados						
Estación SiAR	Olmedo	Tordesillas	Finca Zamadueñas	Gomezserracín	Nava de la asunción	Valbuena de Duero
d(km)	15,98	28,75	29,92	32,49	33,89	40,98

Tabla 7: Distancia entre la instalación de Villacidaler y las estaciones SiAR correspondientes.

Villacidaler							
Estación SiAR	Sahagún	Fuentes de Nava	Mayorga	Villoldo	Medina de Rioseco	Villaluenga de la Vega	Santa Martas
d(km)	17,2	21,78	24,34	31,57	37,88	37,89	39,73

Tabla 8: Distancia entre la instalación de Mamblas y las estaciones SiAR correspondientes.

Mamblas						
Estación SiAR	Nava de Arévalo	Arabayona	Torrecilla de la Orden	Medina del Campo	Olmedo	Rueda
d(km)	20,3	31,84	28,16	32,88	40	43,49

Después de este procedimiento se tienen ya calculados las cuatro variables meteorológicas, día a día, y para cada instalación en el intervalo de tiempo en que se va a realizar el estudio.

Se ha decidido no anexar dichos datos al trabajo, dado la cantidad de datos calculados y el espacio que ocupan.

5. CORRELACIÓN DE LA IRRADIACIÓN EQUIVALENTE DIARIA

En la metodología desarrollada para el trabajo, se explica que para llegar a una predicción de la producción, previamente hay que calcular una correlación para predecir la irradiación diaria, con el fin de generalizar para cualquier tipo de instalación sea cual sea el rendimiento del inversor o de las células fotovoltaicas. Por lo tanto en este capítulo se calculará dicha correlación.

Los datos reales de los que se dispone de cada instalación facilitados por la empresa, son los datos de producción eléctrica diaria, por lo que para ser tratados en este apartado necesitan ser pasados a datos de irradiación equivalente diaria, para ello se aplica la siguiente fórmula a los datos obtenidos:

$$H_{eq} \left[\frac{kW_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] = \frac{Prod. \left[\frac{kWh_{e inv}}{día} \right]}{\eta_{inv ref} \left[\frac{kW_{e inv}}{kW_{e panel}} \right] \cdot \eta_{cél ref} \left[\frac{kW_{e panel}}{kW_{rad}} \right] \cdot S_{panel} [m^2]}$$

Donde:

- $\eta_{inv ref}$: rendimiento del inversor en condiciones de referencia nominales (constante).
- $\eta_{cél ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante).
- H_{eq} : irradiación equivalente diaria que se va a predecir.
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación).

Tendremos así los datos diarios de irradiación en kWh/(m².d) de superficie inclinada para las 16 instalaciones a estudio en el intervalo de tiempo que se está tratando (2010-2015).

5.1 PROPUESTA DE CORRELACIONES A UTILIZAR

Por estudios anteriores, se conoce que los parámetros que más influencia tienen sobre la producción fotovoltaica de una instalación son la temperatura media diaria (T_d), en Kelvin, para evitar tener valores positivos y negativos en torno a 0°C), la humedad relativa del ambiente (W_a , en porcentaje), la velocidad del viento (V_v , en m/s) y la propia irradiación diaria sobre superficie horizontal (H_h , a partir de ahora H para mayor simplicidad, en kWh/(m².d) de superficie horizontal).

Estos datos son los parámetros más influyentes en la irradiación también, ya que la producción y la irradiación son proporcionales como se puede observar en la fórmula anterior.

Por lo tanto se trata de buscar una serie de correlaciones, con distintas implicaciones de dichos parámetros, y ver cuál de ellas se ajusta mejor a las necesidades, que son principalmente dos, que garantice una buena predicción y que sea una expresión sencilla, lejos de expresiones con gran cantidad de variables implicadas que generen un alto coste computacional.

Para ello inicialmente se van a proponer dos modelos de correlaciones, en las que van a estar implicadas los cuatro parámetros citados. Se comienza por estos modelos por ser los más simples:

- $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot W_a + D \cdot V_v + E \cdot H$
- $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot W_a + D \cdot V_v + E \cdot H + F \cdot T_d^2 + G \cdot W_a^2 + J \cdot V_v^2 + K \cdot H^2$

Para proponer los siguientes modelos más complejos, se propone utilizar combinaciones de las siguientes variables:

- $T_d, T_d^2, T_d^3, \sqrt{T_d}, \sqrt[3]{T_d}$
- $W_a, W_a^2, W_a^3, \sqrt{W_a}, \sqrt[3]{W_a}$
- $V_v, V_v^2, V_v^3, \sqrt{V_v}, \sqrt[3]{V_v}$
- $H, H^2, H^3, \sqrt{H}, \sqrt[3]{H}$

Se procede posteriormente a hacer un estudio mediante el software estadístico, y del que se puede obtener como influye cada una de las variables en la calidad de la estimación de la correlación.

Del estudio preliminar se concluye lo siguiente:

1. La variable que más afecta a la irradiación equivalente, como era de esperar es la irradiación sobre superficie horizontal.
2. La temperatura media diaria (T_d), también se considera una variable de interés, ya que al incluirla se mejora considerablemente la precisión de la correlación.
3. Así como la temperatura media diaria, se considera utilizarla, los datos de velocidad media diaria del viento (V_v) y humedad media diaria (W_a), no influyen excesivamente en la bondad de ajuste.
4. Incluir los datos de las variables elevados al cubo o bien en su raíz cúbica, no supone una mejora apreciable para el coste computacional que supone emplearlas.

Visto lo anterior se plantea el uso de cinco correlaciones más, que son las citadas a continuación, para dar un total de **siete correlaciones**:

1. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot W_a + D \cdot V_v + E \cdot H$
2. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot W_a + D \cdot V_v + E \cdot H + F \cdot T_d^2 + G \cdot W_a^2 + J \cdot V_v^2 + K \cdot H^2$
3. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot H + D \cdot H^2 + E \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot H + D \cdot H^2$
5. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot H + D \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = A + B \cdot \sqrt{H}$

5.2 APLICACIÓN DE LAS CORRELACIONES

Una vez se tiene claro cuáles son las correlaciones que se van a utilizar y los parámetros implicados en cada una de ellas se establece el procedimiento de aplicación.

Dado que se dispone de datos de producción de las 16 instalaciones en el periodo Enero-2010 a Febrero-2016, se van a obtener diferentes grupos de correlaciones según el periodo de muestreo de datos meteorológicos que se tome para su cálculo.

5.2.1 Correlaciones anuales para cada instalación

El primer conjunto de correlaciones, se calculan teniendo en cuenta los datos meteorológicos y de producción real de cada año y cada instalación (en este grupo no se tiene en cuenta el año 2016 ya que sólo se dispone de datos de dos meses), de esta manera se tendrá para cada año de cada instalación siete correlaciones. Se calculan un total de 42 correlaciones por instalación como se muestra en la figura 11.



Figura 11: Esquema de aplicación.

Lo que se pretende es observar si alguno de los años tenidos en cuenta en el estudio proporciona datos que se diferencien mucho del resto de los años, en este caso dicho año quedaría excluido del estudio por considerarse un año atípico.

Con este tipo de muestreo también se puede ver si una instalación proporciona previsiones de datos moderadamente alejados de los reales para las correlaciones que se están utilizando y se estudiaría si mantenerla o no en el estudio.

Cálculo

Así pues a continuación se presentan cada una de las siete correlaciones calculadas para cada instalación en el año 2010, el resto de correlaciones dada la extensión que ocupan se pueden consultar en el Anexo 1: “Correlaciones anuales para cada instalación para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} .”

Instalación 1

(Año 2010):

$$1. H_{eq} = 31.6645 - 0.0981 \cdot T_d + 0.0360 \cdot W_a - 0.1150 \cdot V_v + 0.8470 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = -73.9356 + 0.6232 \cdot T_d + 0.0014 \cdot W_a - 0.4376 V_v +$$

$$\begin{aligned}
& +1.3781 \cdot H - 0.0012T_d^2 - 0.0003W_a^2 + 0.0474 \cdot V_v^2 - 0.0610 \cdot H^2 \\
3.H_{eq} &= 1708913 - 0.0674 \cdot T_d + 1.3038 \cdot H - 0.0613 \cdot H^2 + 0.9142 \cdot \sqrt{H} \\
4.H_{eq} &= 18.7775 - 0.0685 \cdot T_d + 1.6869 \cdot H - 0.0775 \cdot H^2 \\
5.H_{eq} &= 15.2122 - 0.0642 \cdot T_d - 0.0454 \cdot H + 3.9953 \cdot \sqrt{H} \\
6.H_{eq} &= 15.6409 - 0.0653 \cdot T_d + 3.8298 \cdot \sqrt{H} \\
7.H_{eq} &= -1.7827 + 3.2589 \cdot \sqrt{H}
\end{aligned}$$

Validación de resultados

Para comprobar que dichas correlaciones son válidas y no proporcionan resultados con grandes derivas del dato real de irradiación, se van a evaluar con tres parámetros.

R-cuadrado

El primero de ellos es el coeficiente de determinación, denominado R^2 es un estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.

El resultado de R-cuadrado oscila entre los valores 0 y 1. Las correlaciones que proporcionen los valores más cercanos a 1, serán las precisas.

Mbe y Rmse

Con el fin de validar las correlaciones también se medirá el error existente entre el valor real y el estimado, para ello se utilizarán dos estimadores, la desviación cuadrática media relativa (root mean square error, rmse) y la desviación media relativa (mean bias error, mbe). Se ha decidido utilizar estos estimadores y no otros por ser estos los más ampliamente utilizados en estudios del tipo del que se está tratando aquí.

$$rmse = \frac{100}{\overline{H_\beta}} \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\hat{H}_\beta - H_\beta)^2}{N}}$$

$$mbe = \frac{100}{\overline{H_\beta}} \sum_{i=1}^N \frac{(\hat{H}_\beta - H_\beta)}{N}$$

Donde:

- N es el número de datos que intervienen en el cálculo del error.
- H_β es el valor real de la radiación sobre el plano inclinado proporcionado por las bases de datos de Cenit Solar.
- \hat{H}_β es el valor estimado según la correlación que corresponda para la radiación en sobre el plano inclinado.

- $\overline{H_\beta}$ es el valor medio de H_β .

En la siguiente tabla se muestra los tres parámetros calculados, para cada una de las correlaciones de la instalación 1:

Tabla 9: Parámetros estadísticos para las correlaciones de la instalación 1.

Correlación	1			2		
AÑO	R ²	Rmse	Mbe	R ²	Rmse	Mbe
2010	88,83	15,67896	-0,00029	91,54	13,64521	0,00599
2011	78	22,51887	0,001695	80,02	21,28441	0,009243
2012	83,97	16,98443	0,763969	87,15	13,59978	-0,29605
2013	83,7	18,77205	0,000999	87,67	16,32696	0,000291
2014	87,12	16,81104	0,000636	91,66	13,52986	0,001716
2015	82,46	32,6471	-0,12902	88,99	15,43044	0,001418

Correlación	3			4		
AÑO	R ²	Rmse	Mbe	R ²	Rmse	Mbe
2010	89,98	14,85396	0,000394	89,96	14,86523	-0,00052
2011	79,35	21,63879	-0,00018	78,68	21,98625	0,000614
2012	86,21	14,37753	-0,39164	86,06	14,4437	-0,46355
2013	86,85	16,86262	-0,00029	86,81	16,8887	-0,00073
2014	90,78	14,2257	0,000428	90,65	14,32651	-0,00115
2015	88,37	15,85411	-0,0007	88,24	15,94252	-0,00054

Correlación	5			6		
AÑO	R ²	Rmse	Mbe	R ²	Rmse	Mbe
2010	89,79	14,99669	0,0005	89,78	15,00026	0,0007
2011	79,27	21,67919	0,000872	79,02	21,81304	-0,00133
2012	86,16	14,49029	-0,33258	85,94	14,87165	-0,19853
2013	86,64	16,99771	4,77E-05	86,3	17,20943	-0,00019
2014	90,63	14,34278	-0,00064	90,1	14,74342	0,00069
2015	88,18	15,9867	0,000252	87,13	16,68388	-0,00108

Correlación	7		
AÑO	R ²	Rmse	Mbe
2010	87,42	16,64172	8,43E-05
2011	75	23,80707	4,79E-06
2012	82,92	16,87346	-0,70112
2013	84,87	18,08439	0,000103
2014	88,37	15,97451	-9,2E-05
2015	82,95	19,20255	-4,6E-06

Para poder visualizar mejor los resultados de estos tres parámetros, se procede a graficarlos para cada instalación en tres tipos de gráficos:

1. En el primero de ellos se va a representar el valor de R^2 obtenido (en %) por cada una de las siete correlaciones calculadas (se muestran en el eje de abscisas) y para cada uno de los años contemplados en el estudio.
2. En el segundo gráfico lo que se muestra es el Rmse, en el eje de ordenadas, para cada una de las correlaciones calculadas (en el eje de abscisas) y para cada uno de los años contemplados en el estudio.
3. En el tercer gráfico lo que se muestra es el Mbe, en el eje de ordenadas, para cada una de las correlaciones calculadas (en el eje de abscisas) y para cada uno de los años contemplados en el estudio.

Instalación 1:

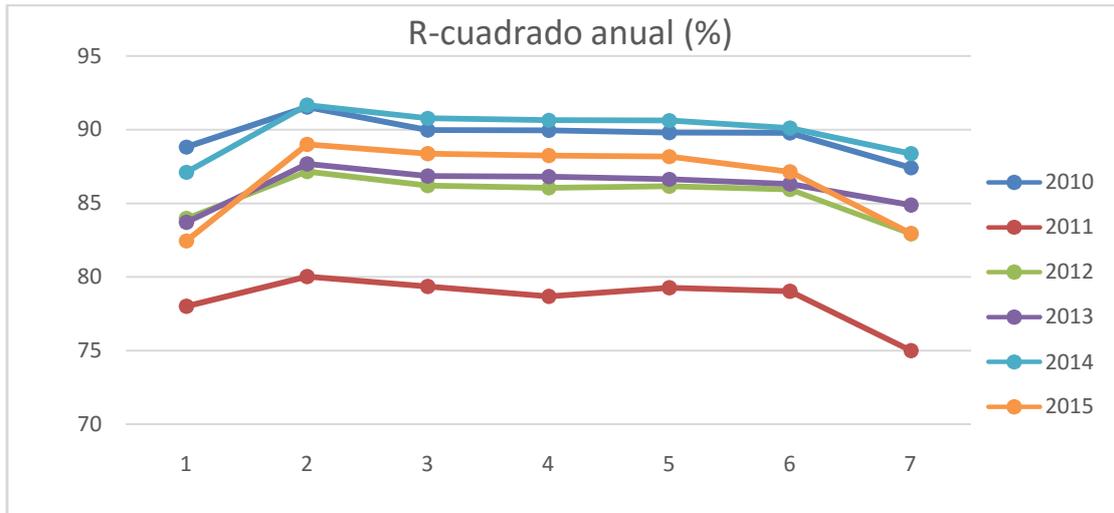


Gráfico 1: R- cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 1 en cada año.

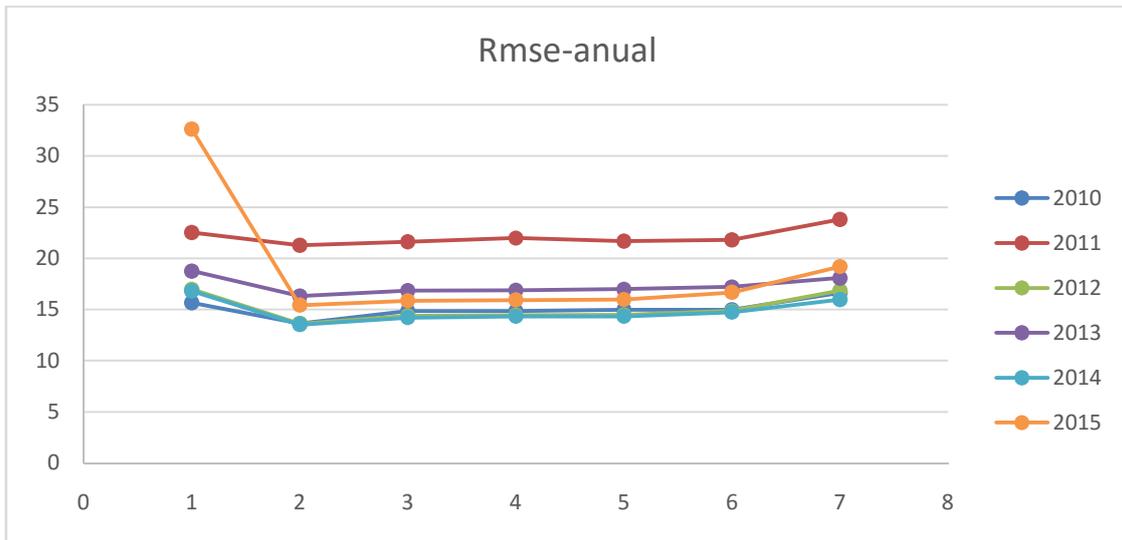


Gráfico 2: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 1 en cada año.

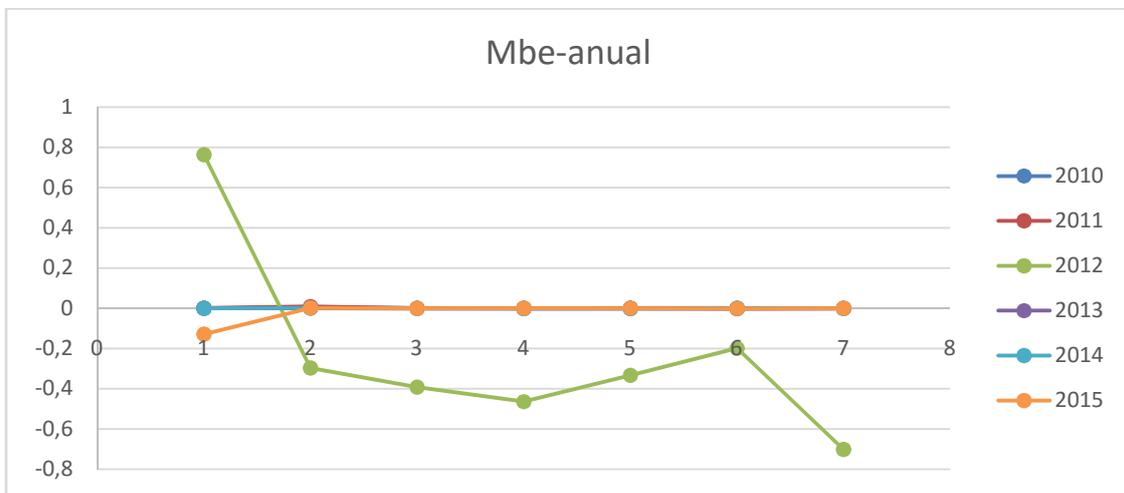


Gráfico 3: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 1 en cada año.

Instalación 2:

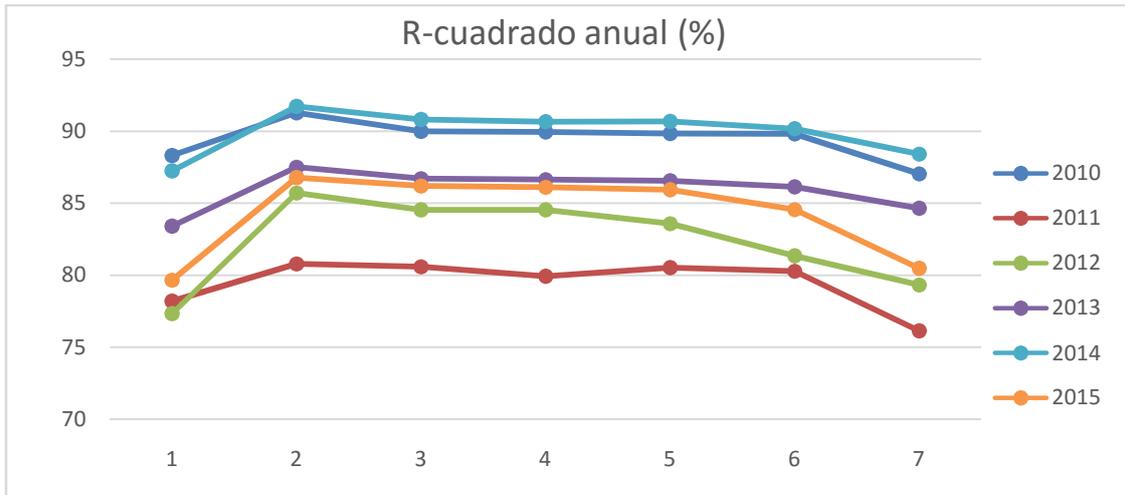


Gráfico 4: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 2 en cada año.

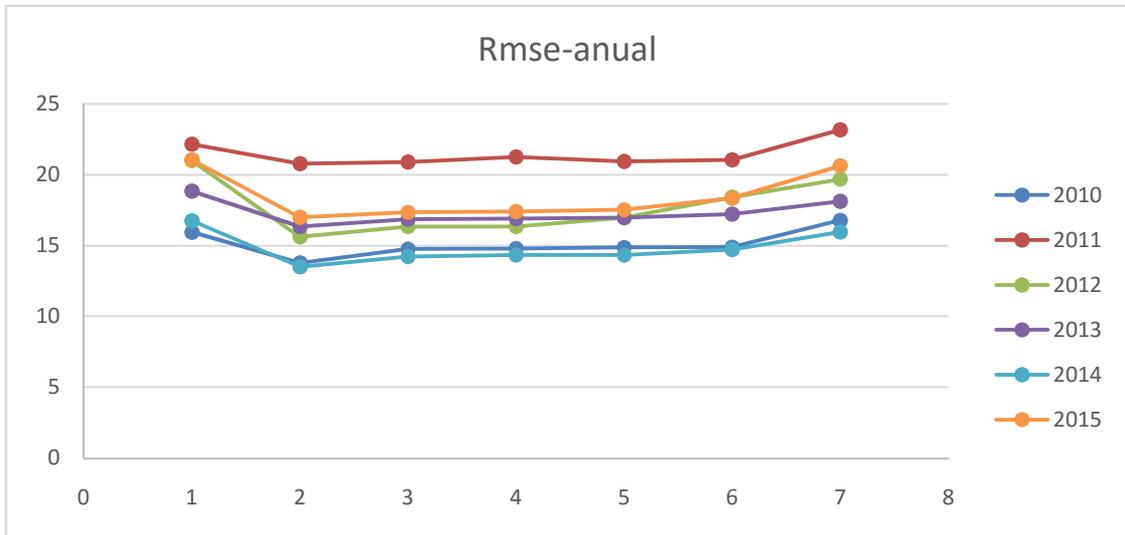


Gráfico 5: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 2 en cada año.

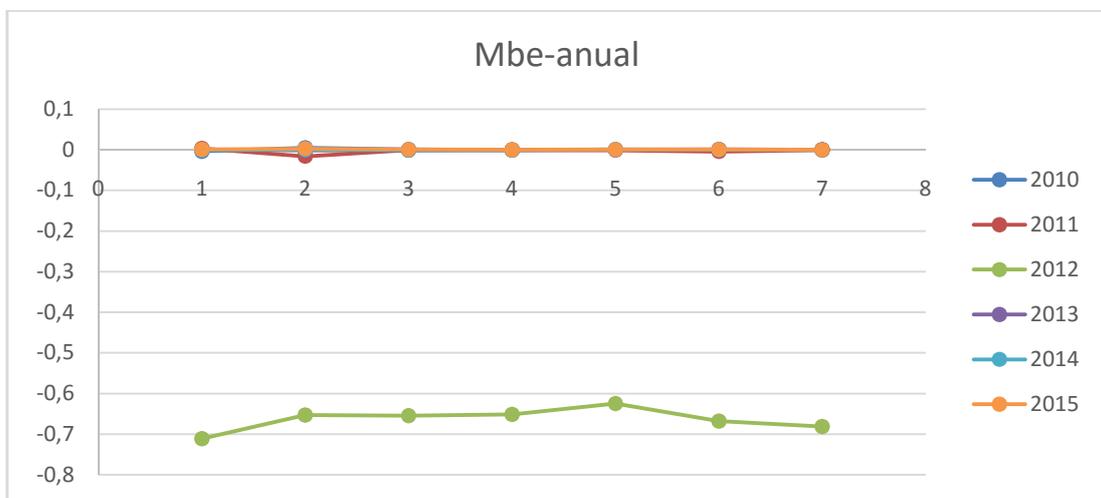


Gráfico 6: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 2 en cada año.

Instalación 3:

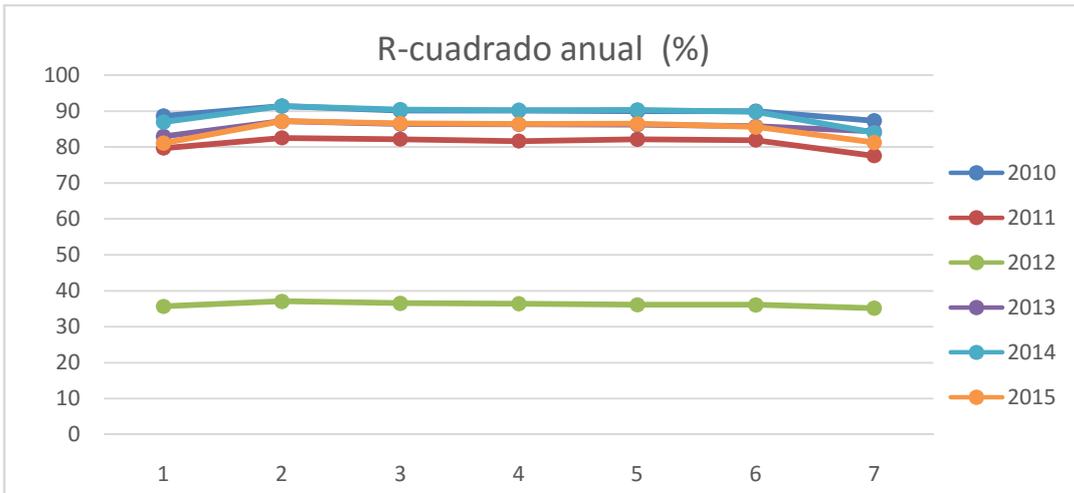


Gráfico 7: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 3 en cada año.

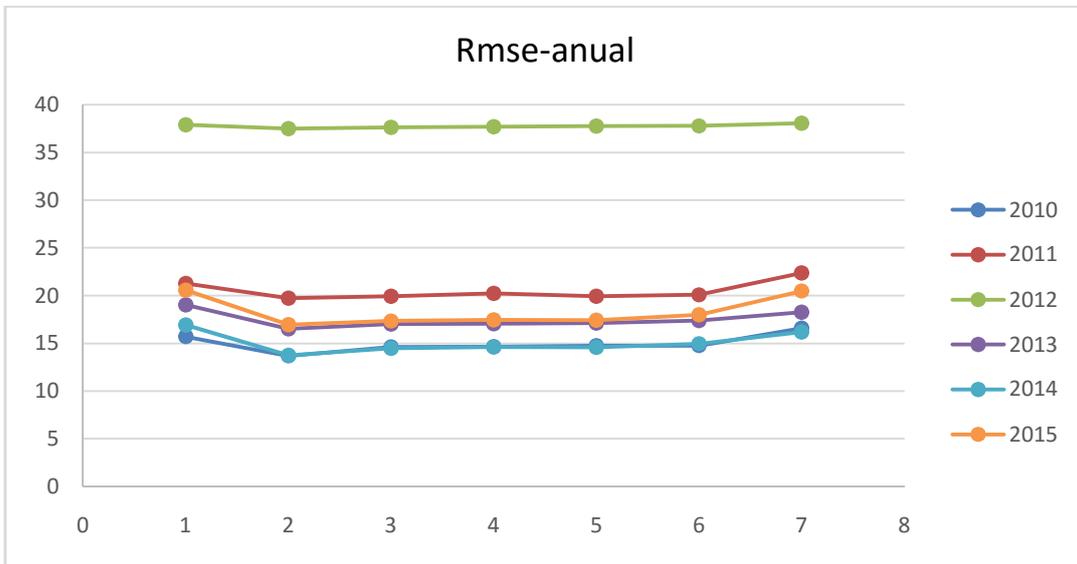


Gráfico 8: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 3 en cada año.

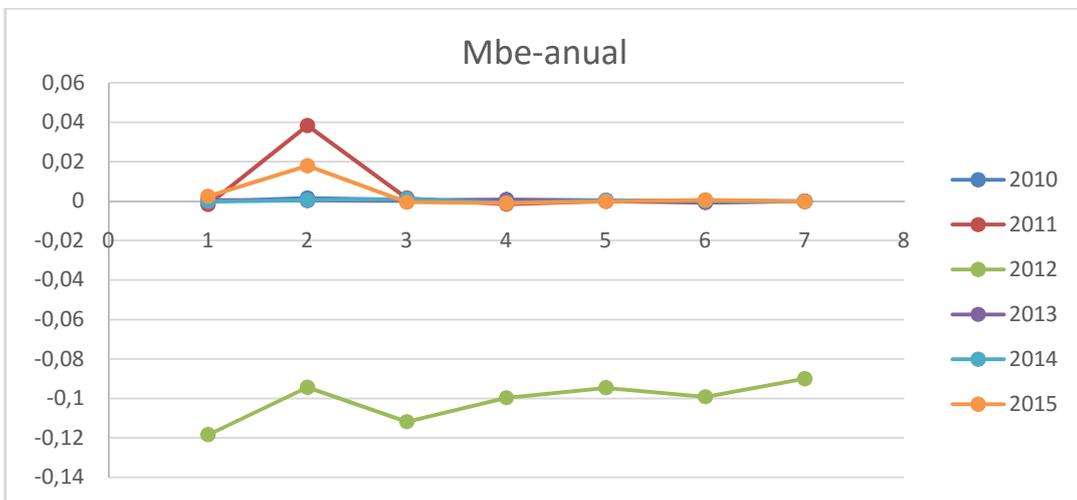


Gráfico 9: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 3 en cada año.

Instalación 4:

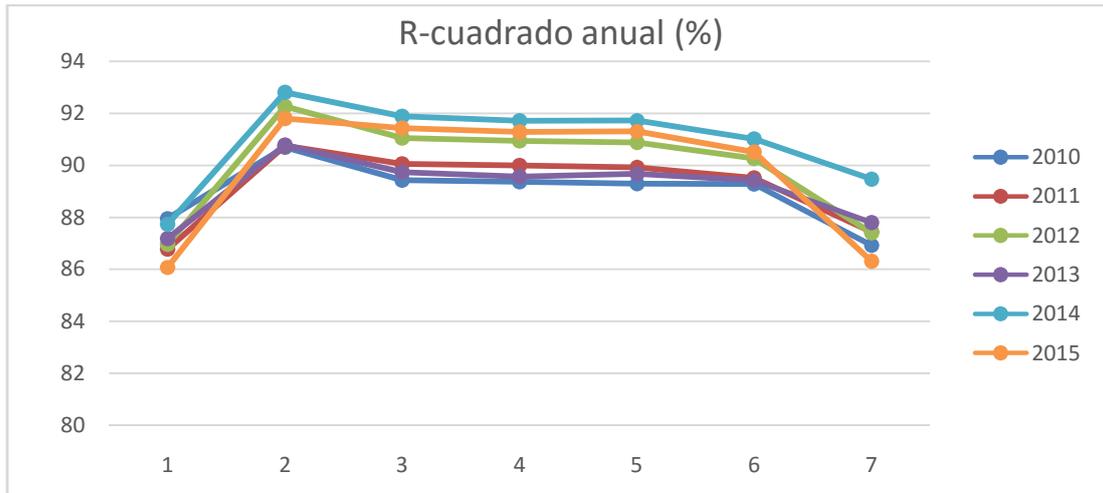


Gráfico 10: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 4 en cada año.

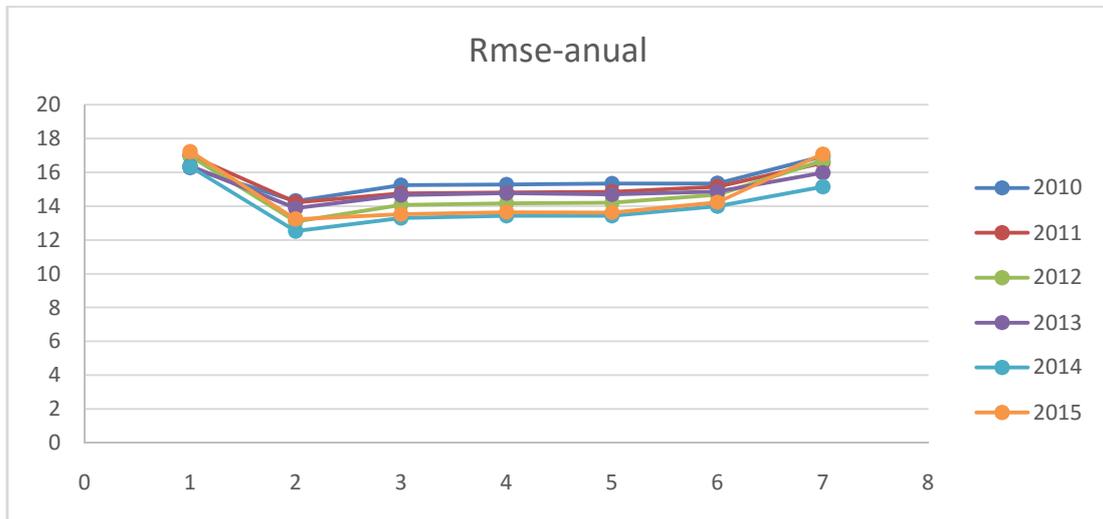


Gráfico 11: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 4 en cada año.

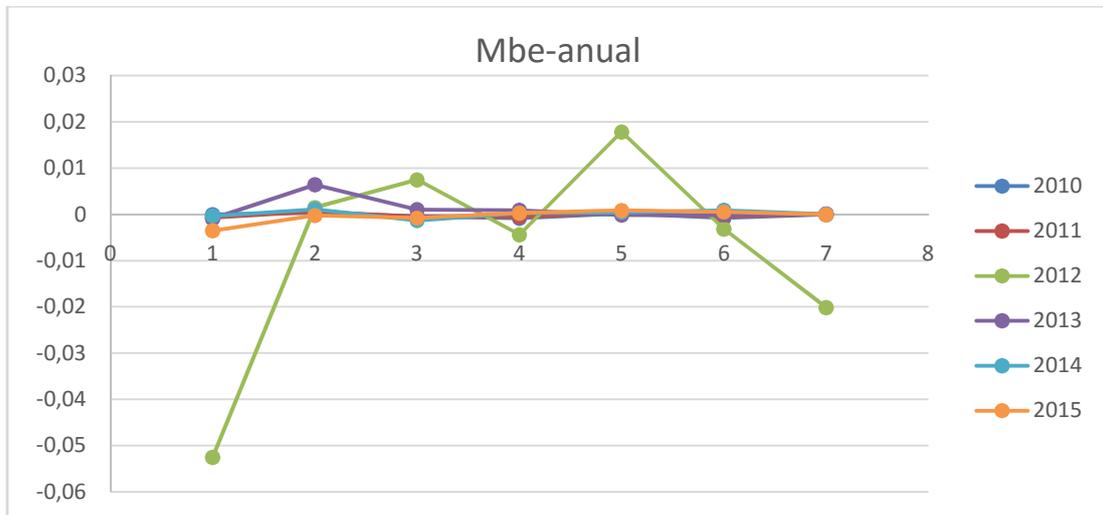


Gráfico 12: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 4 en cada año.

Instalación 5:

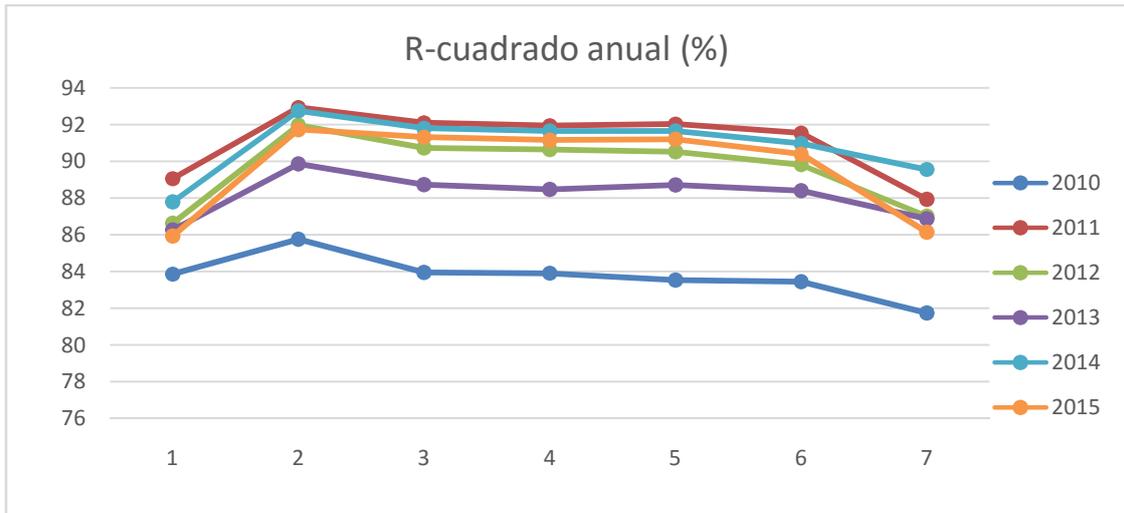


Gráfico 13: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 5 en cada año.

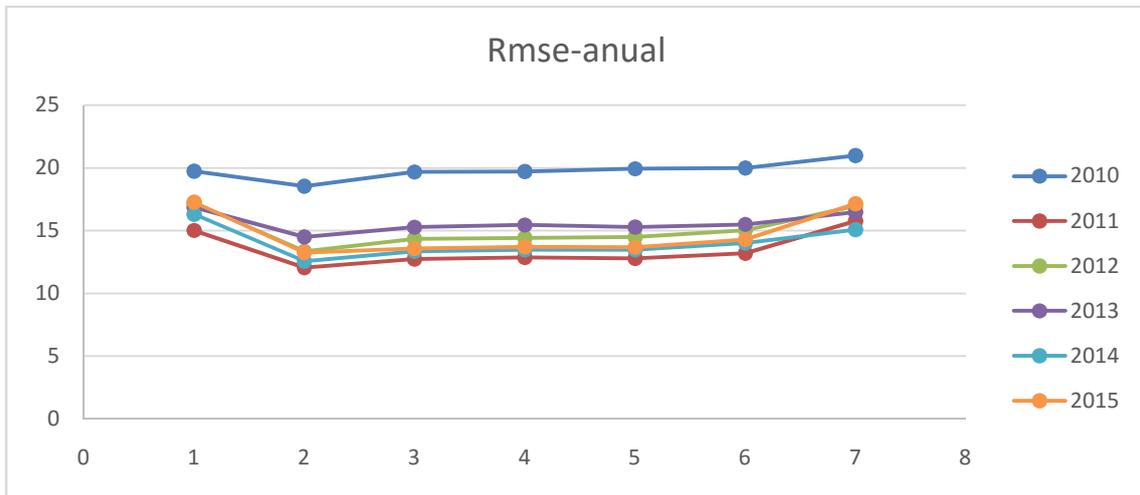


Gráfico 14: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 5 en cada año.

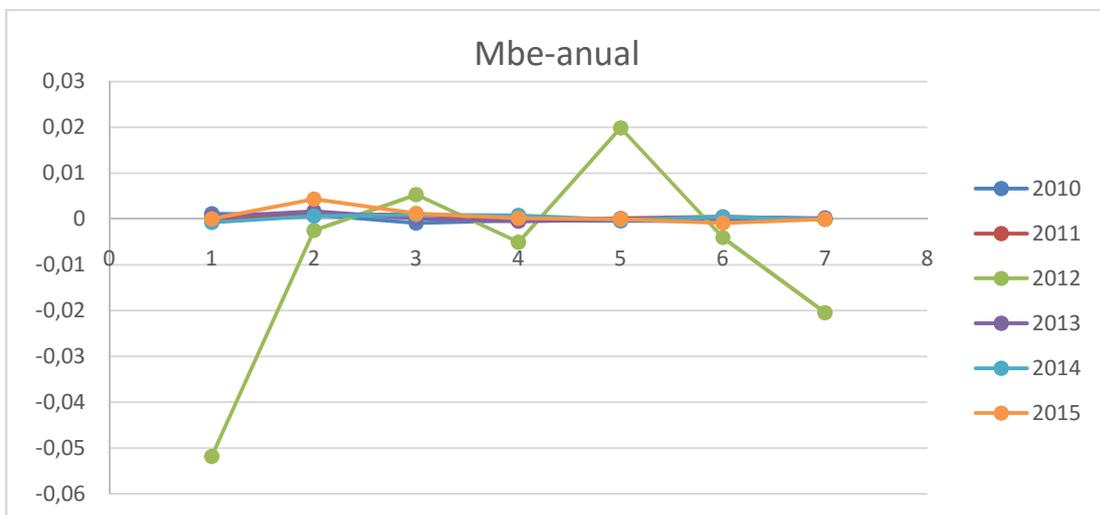


Gráfico 15: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 5 en cada año.

Instalación 6:

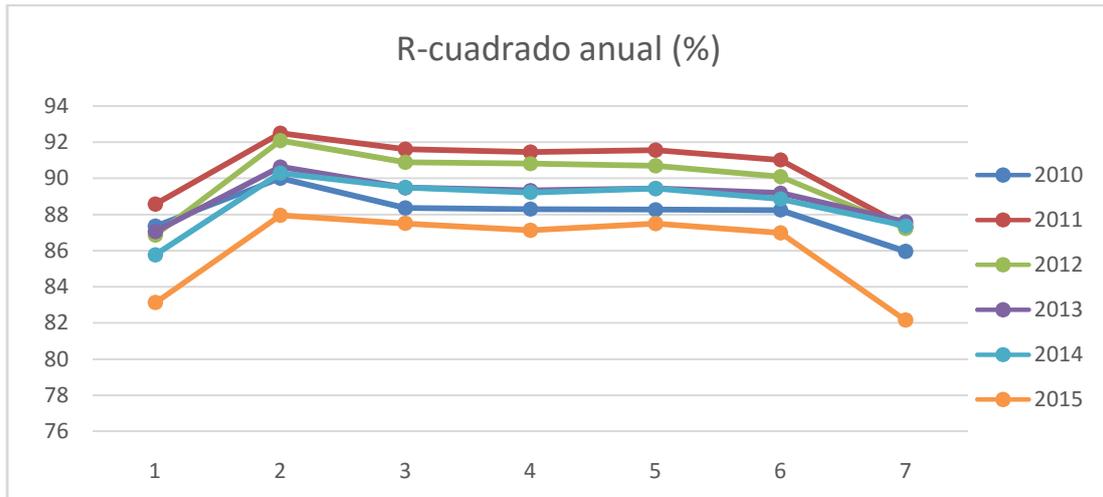


Gráfico 16: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 6 en cada año.

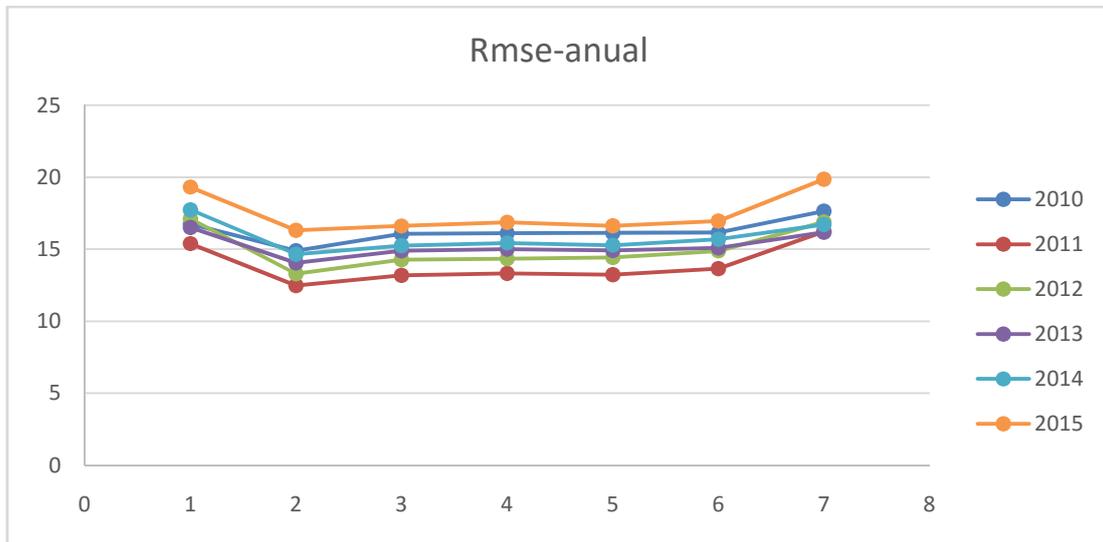


Gráfico 17: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 6 en cada año.

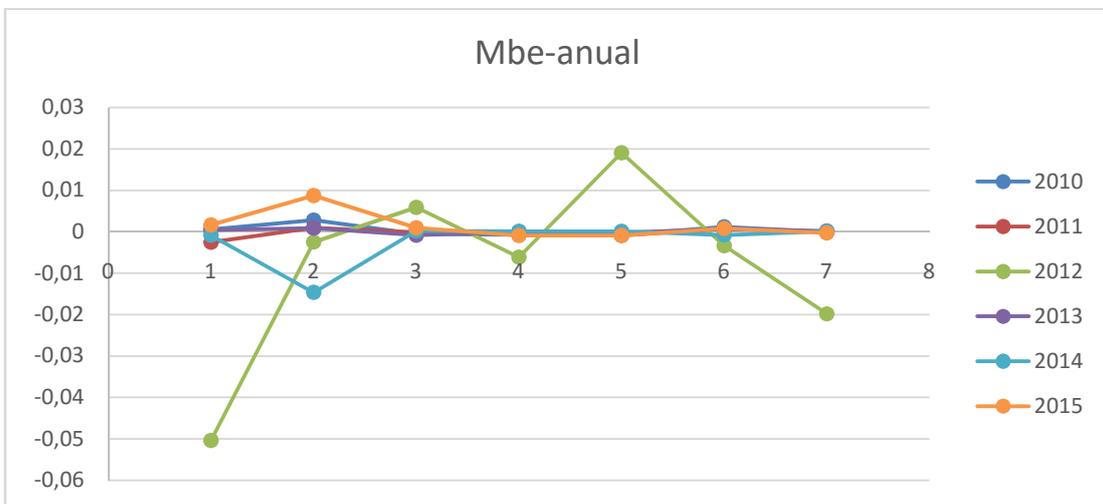


Gráfico 18: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 6 en cada año.

Instalación 7:

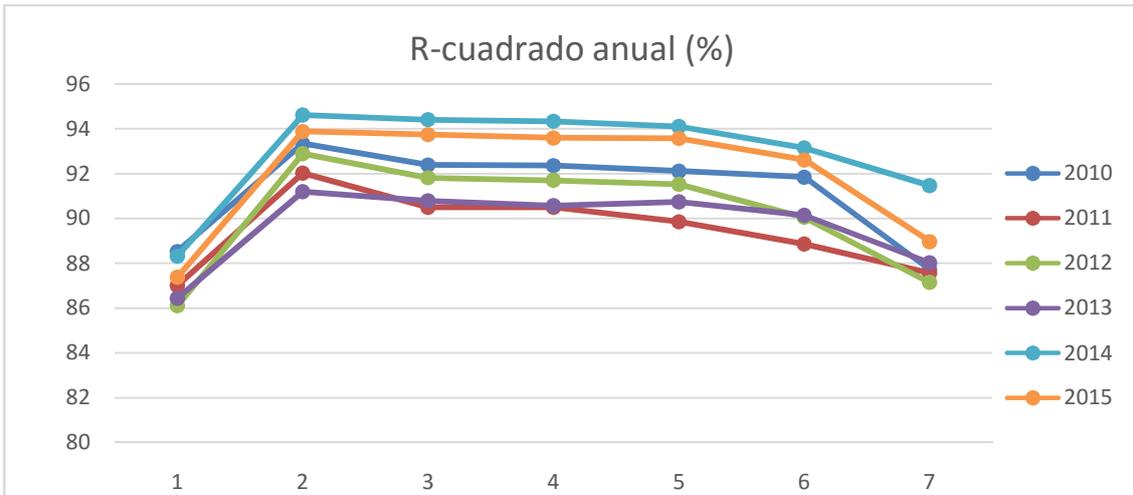


Gráfico 19: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 7 en cada año.

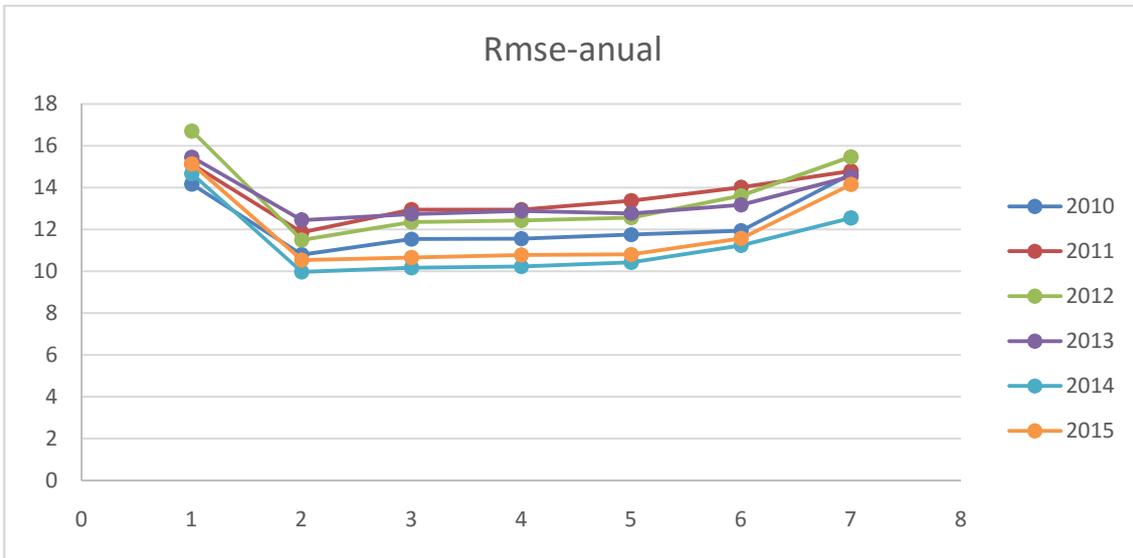


Gráfico 20: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 7 en cada año.

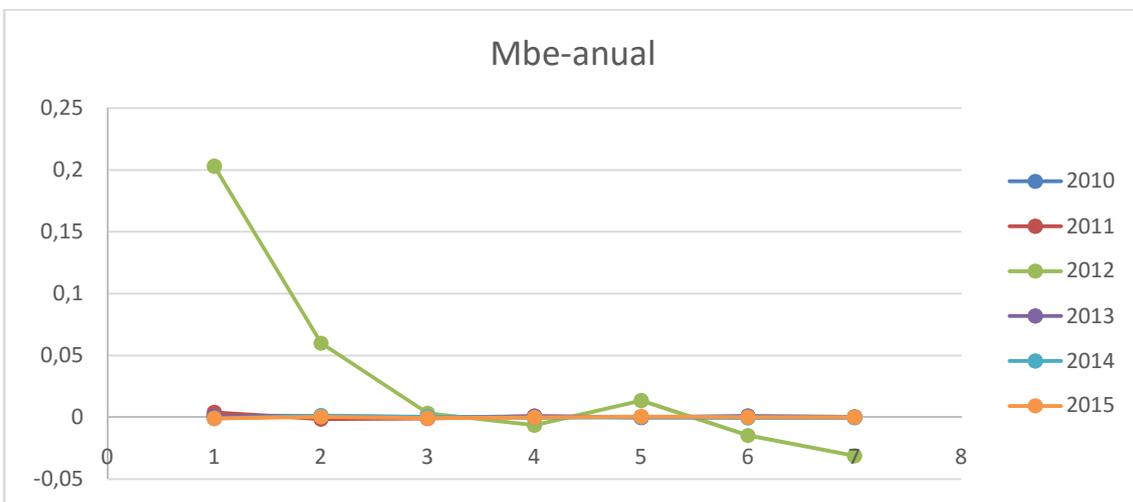


Gráfico 21: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 7 en cada año.

Instalación 8:

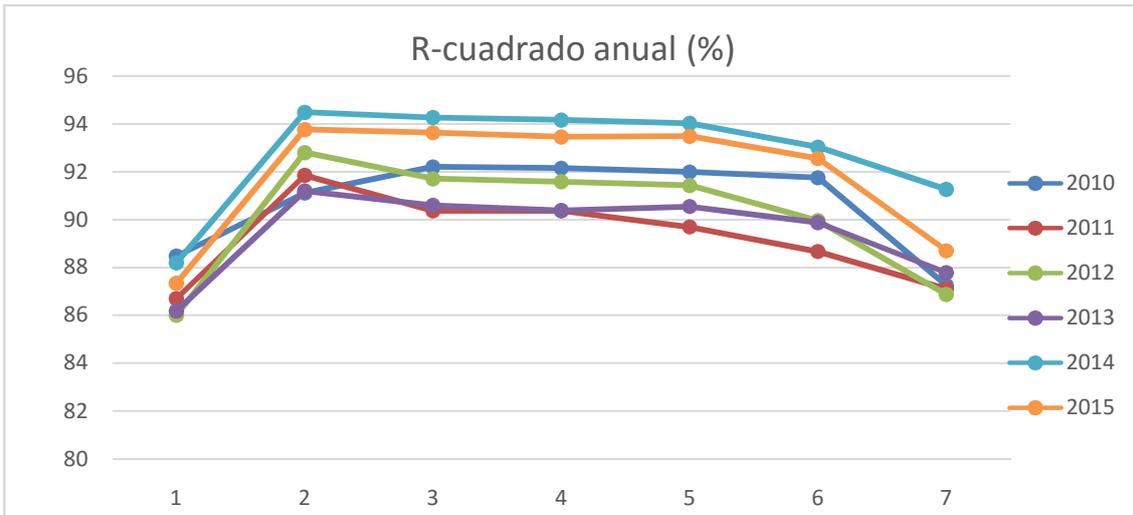


Gráfico 22: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 8 en cada año.

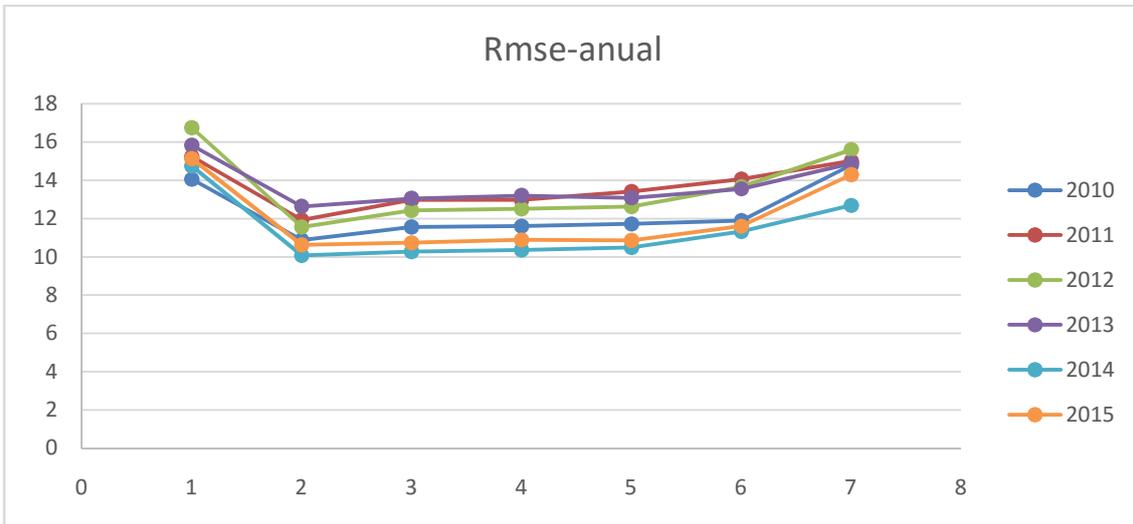


Gráfico 23: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 8 en cada año.

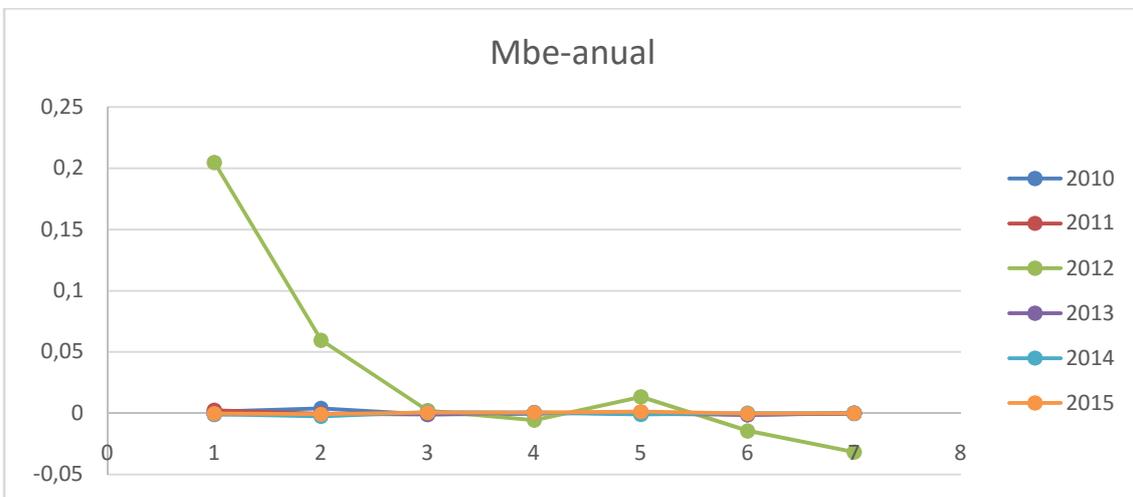


Gráfico 24: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 8 en cada año.

Instalación 9:

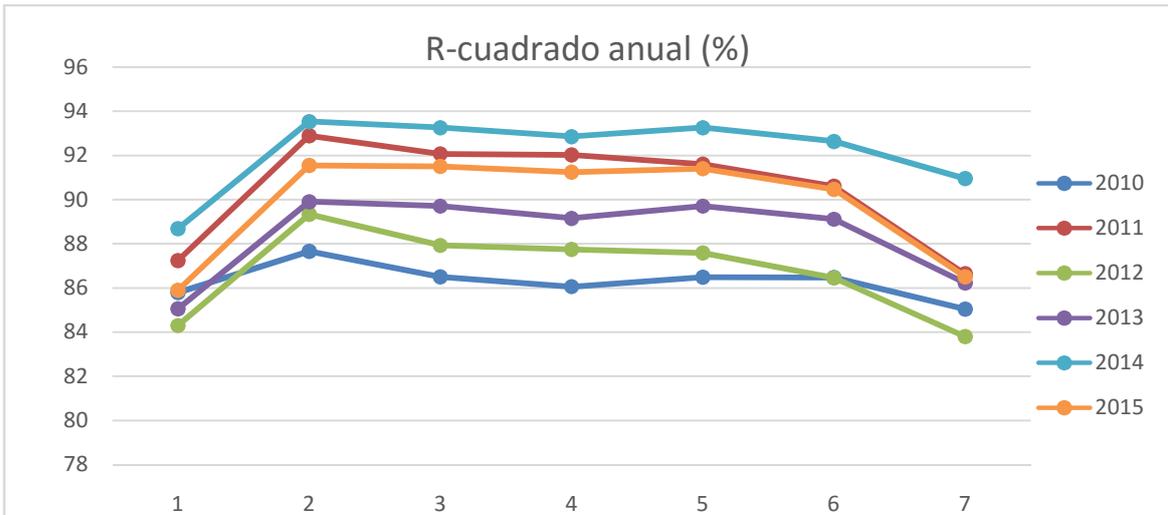


Gráfico 25: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 9 en cada año.

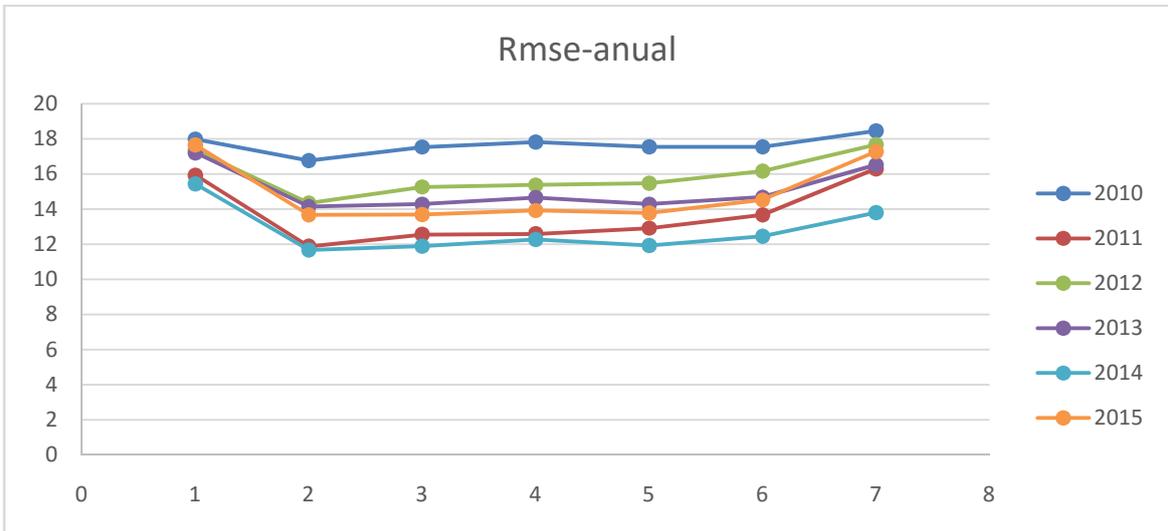


Gráfico 26: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 9 en cada año.

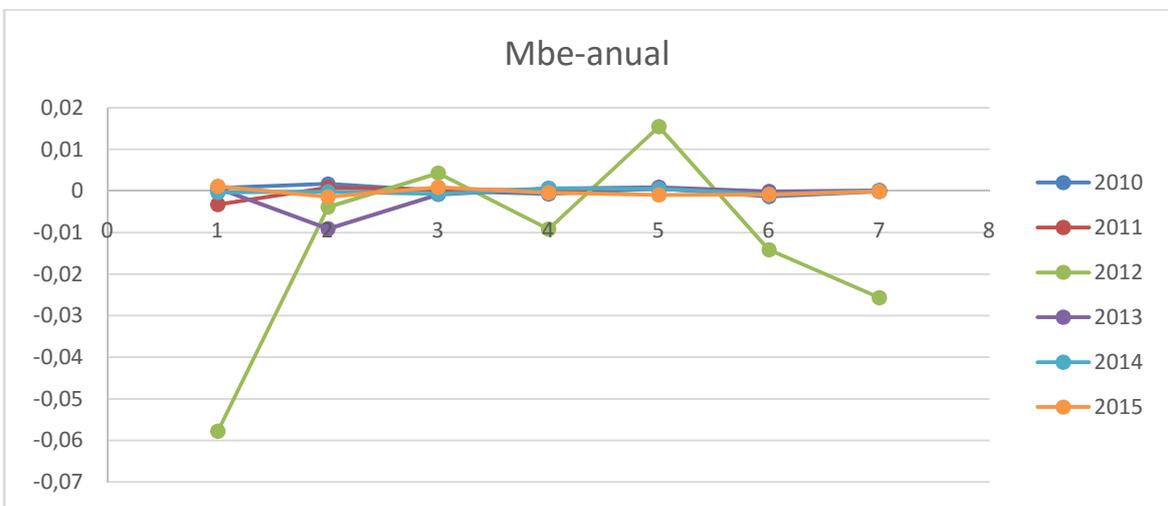


Gráfico 27: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 9 en cada año.

Instalación 10:

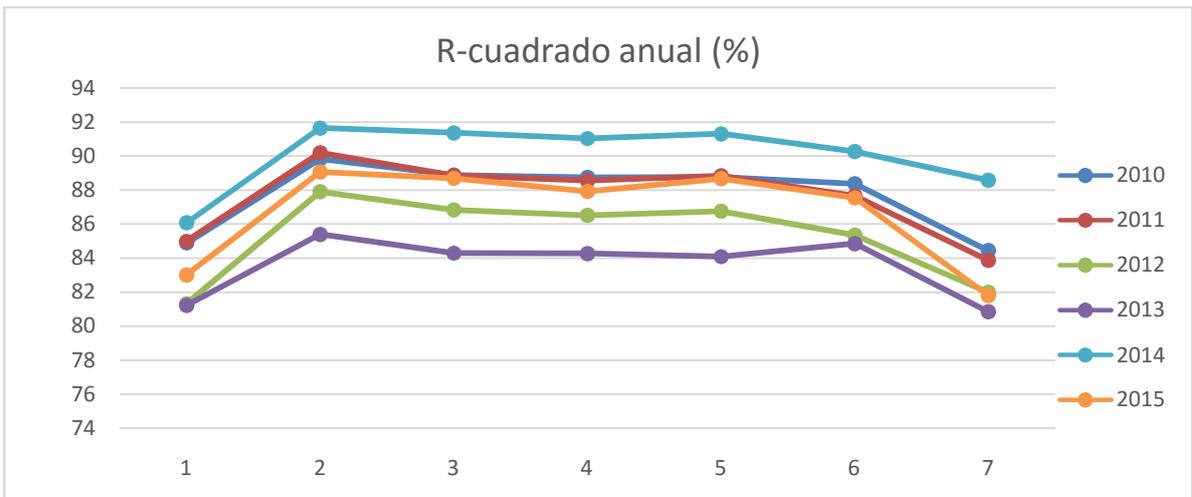


Gráfico 28: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 10 en cada año.

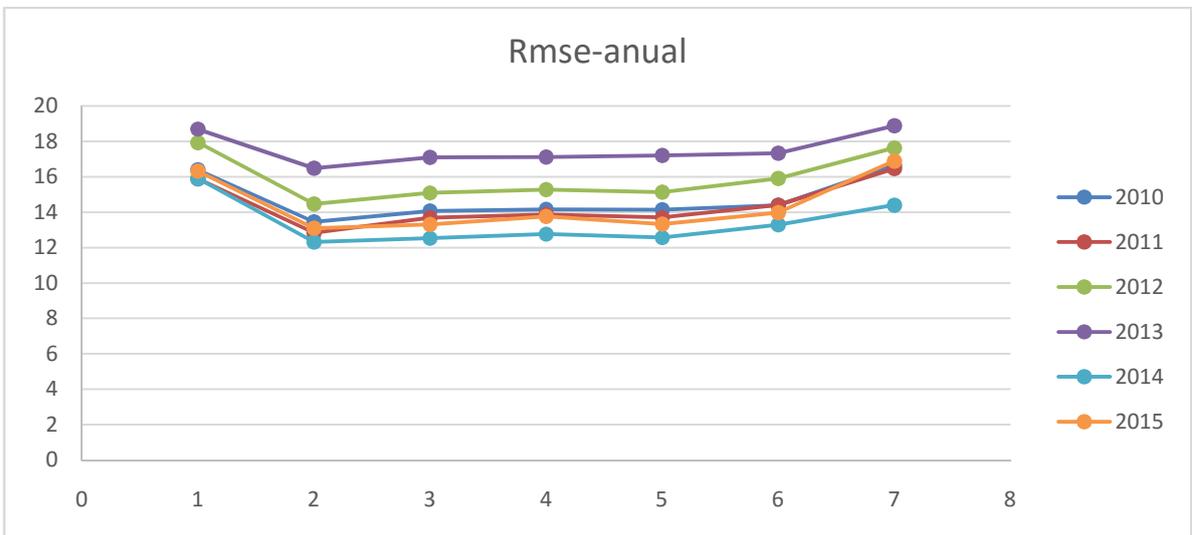


Gráfico 29: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 10 en cada año.

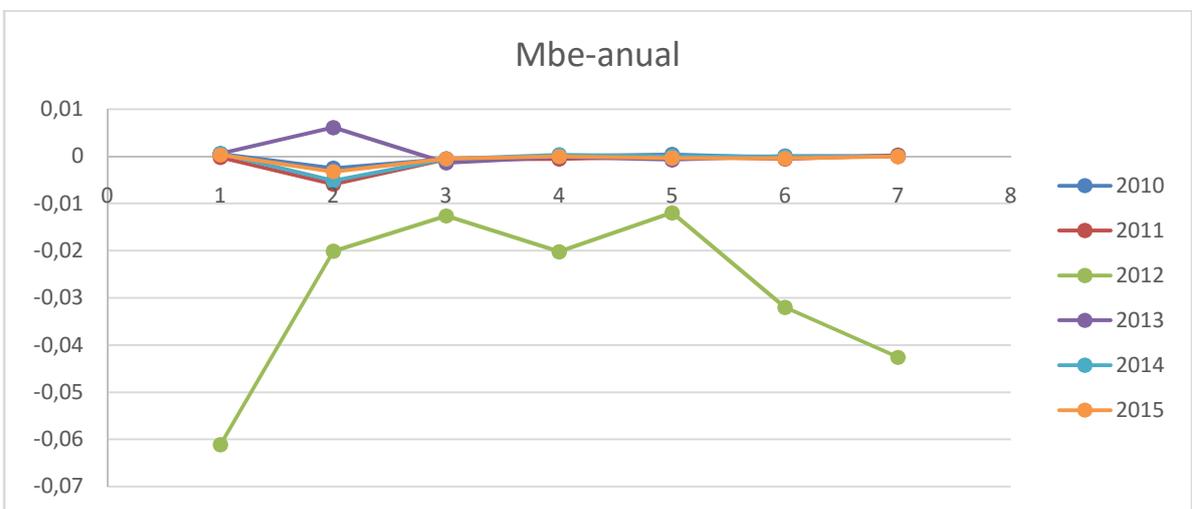


Gráfico 30: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 10 en cada año.

Instalación 11:

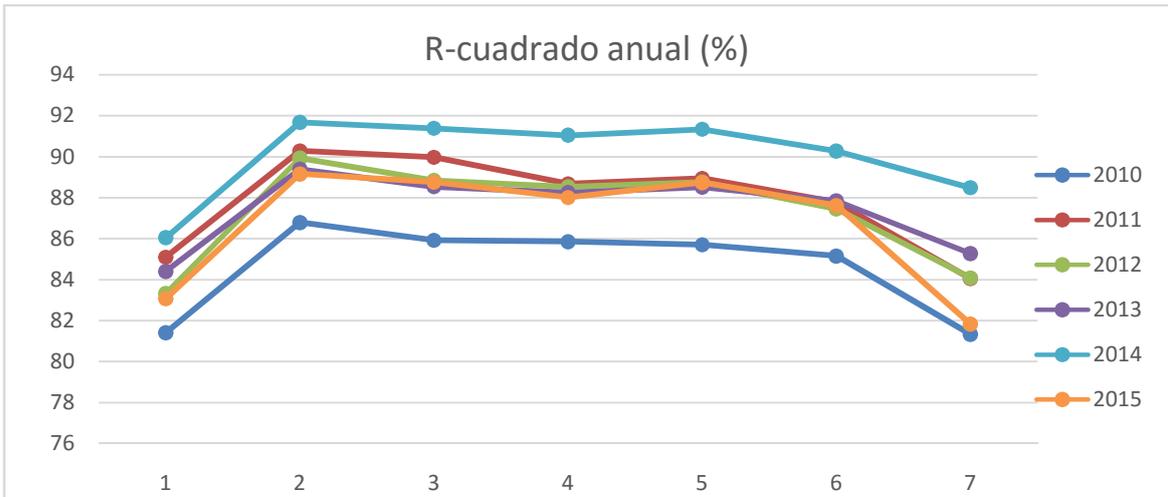


Gráfico 31: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 11 en cada año.

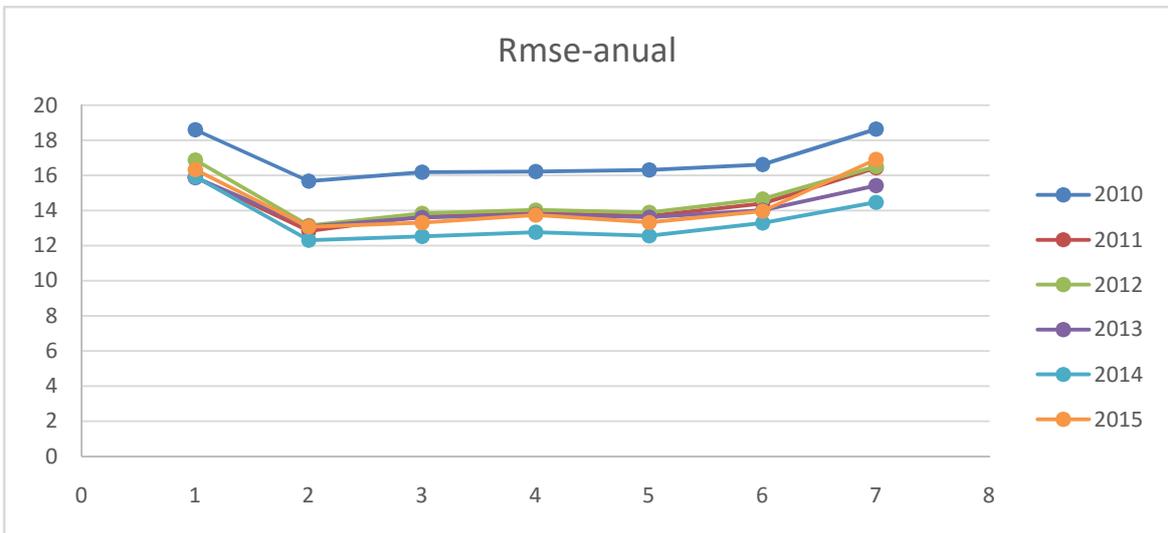


Gráfico 32: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 11 en cada año.

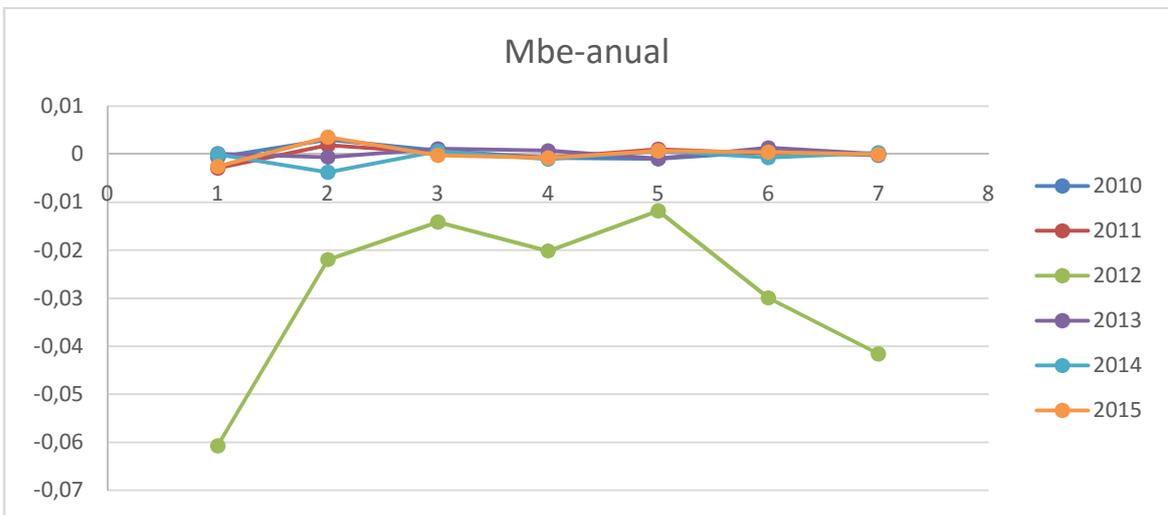


Gráfico 33: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 11 en cada año.

Instalación 12:

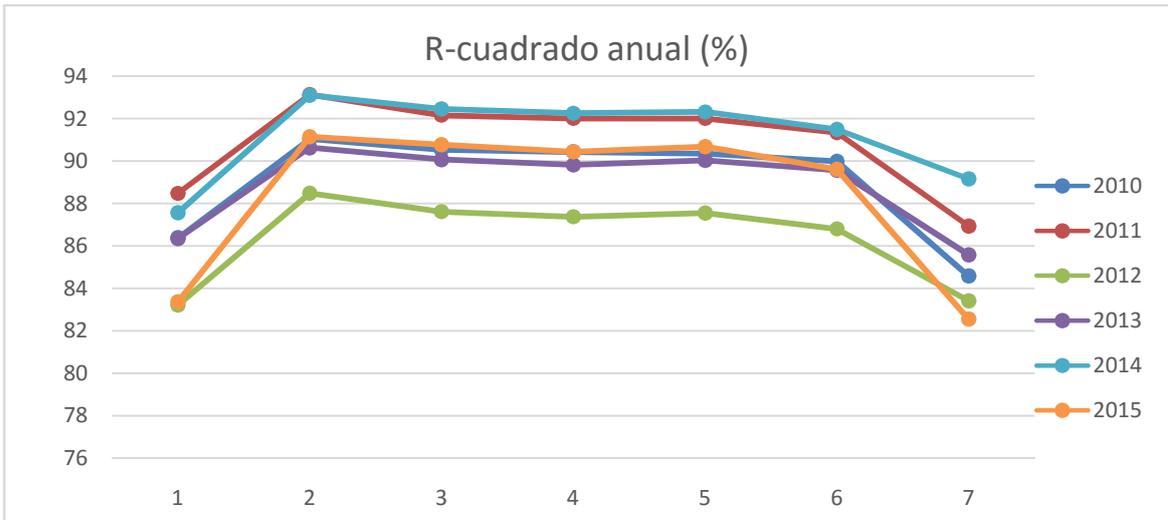


Gráfico 34: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 12 en cada año.

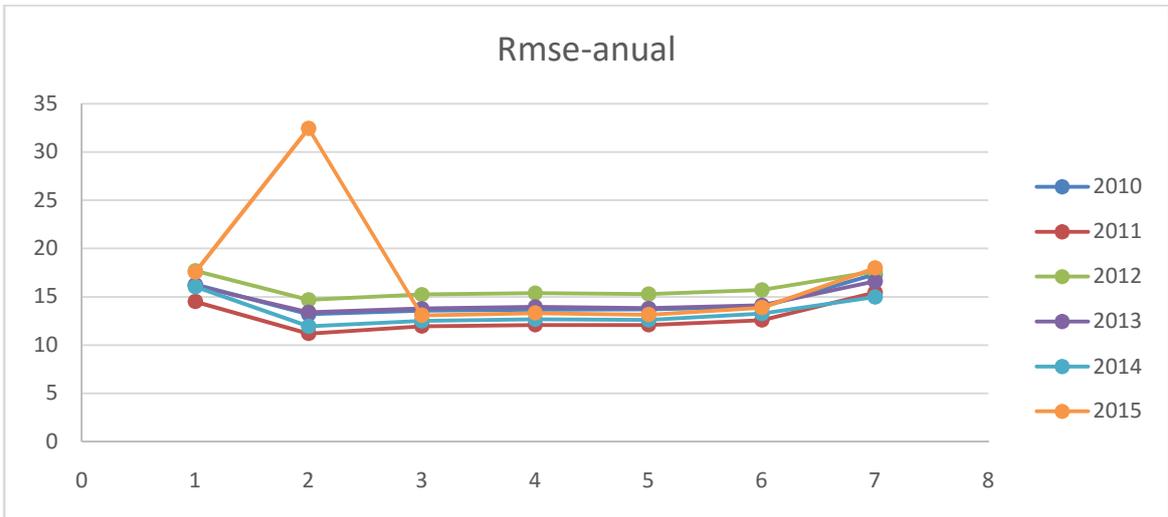


Gráfico 35: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 12 en cada año.

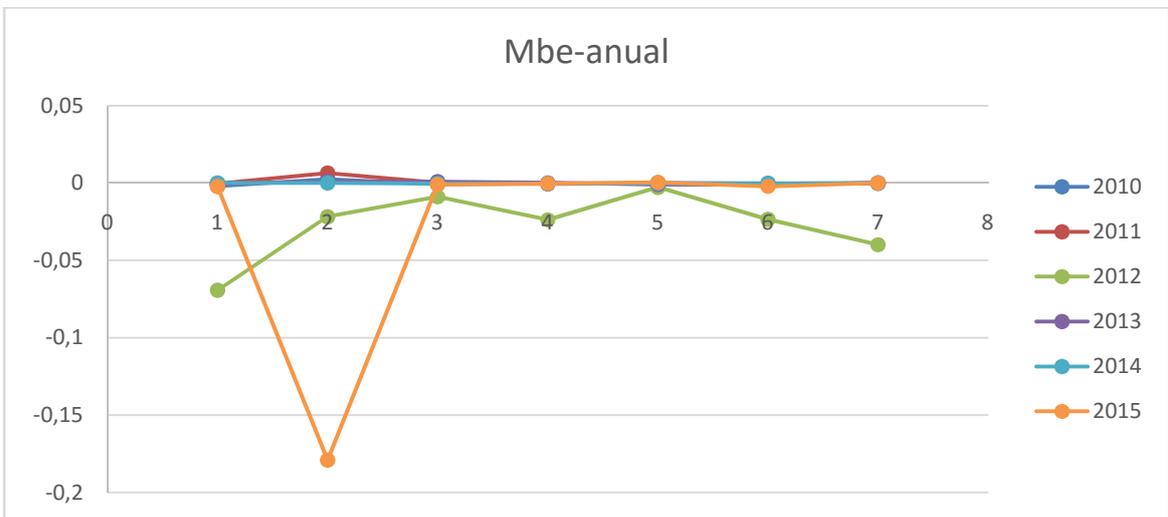


Gráfico 36: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 12 en cada año.

Instalación 13:

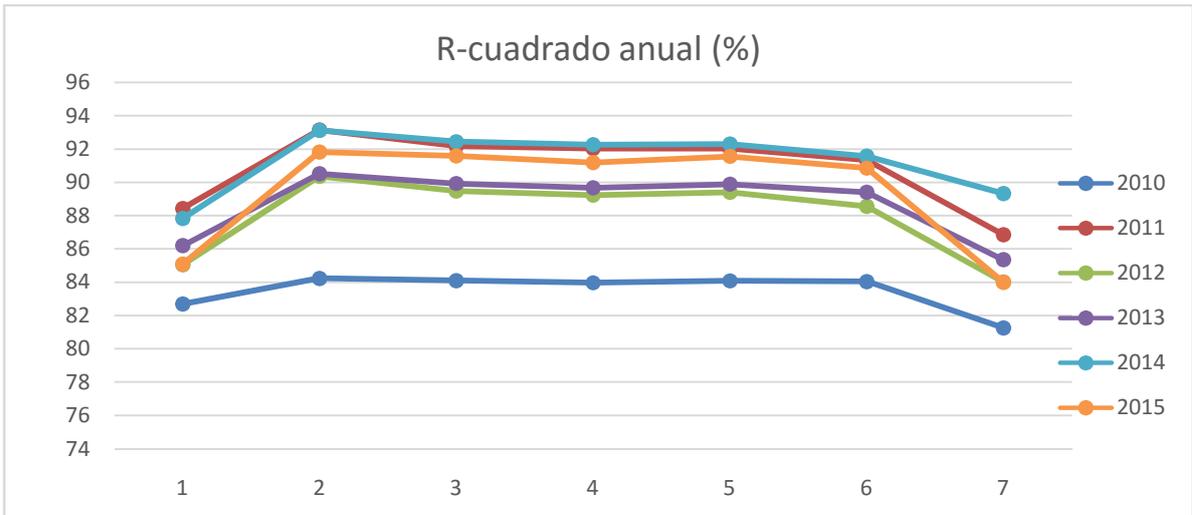


Gráfico 37: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 13 en cada año.

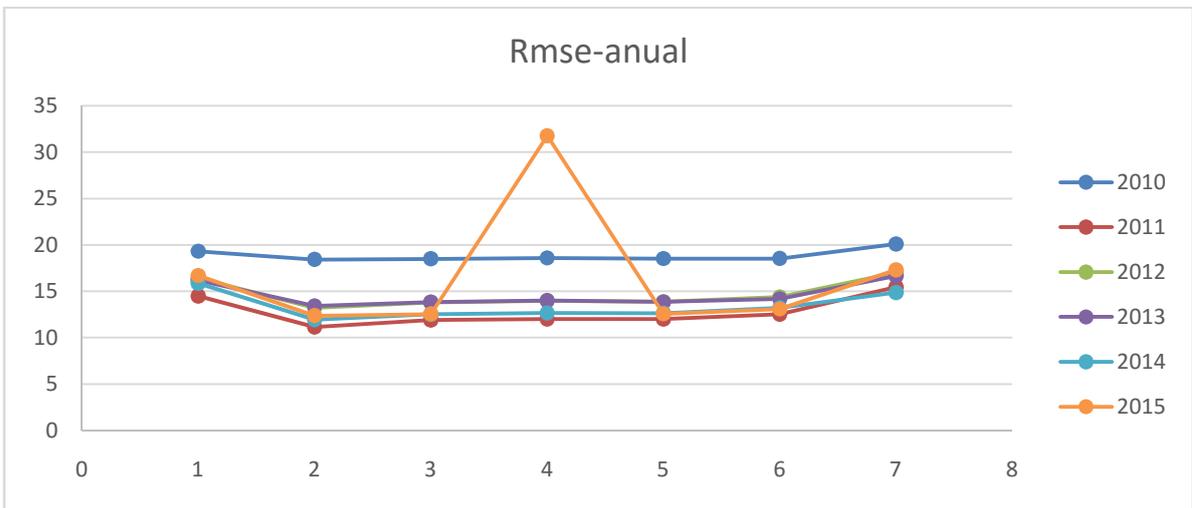


Gráfico 38: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 13 en cada año.

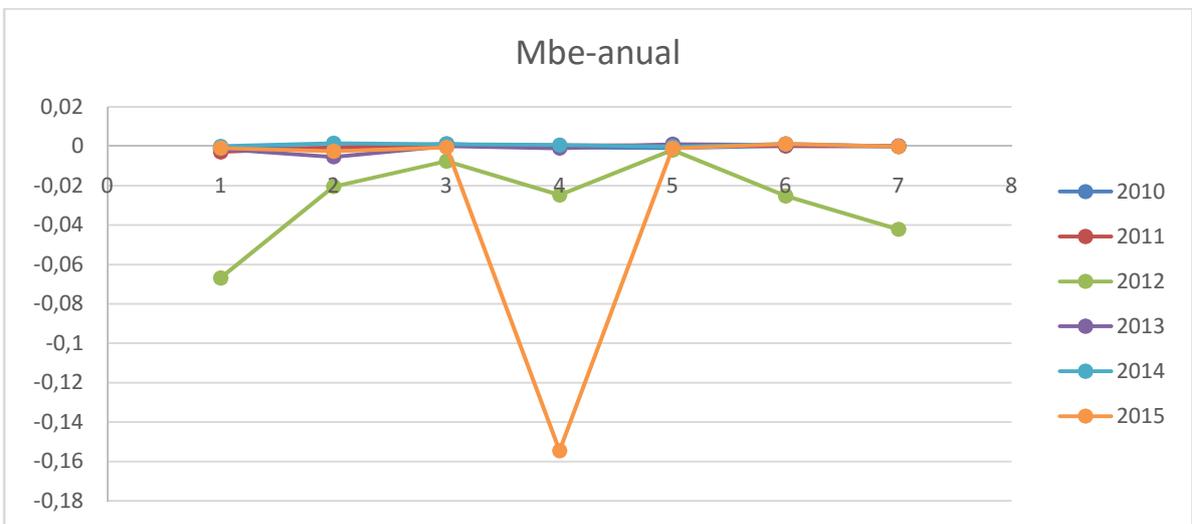


Gráfico 39: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 13 en cada año.

Instalación 14:

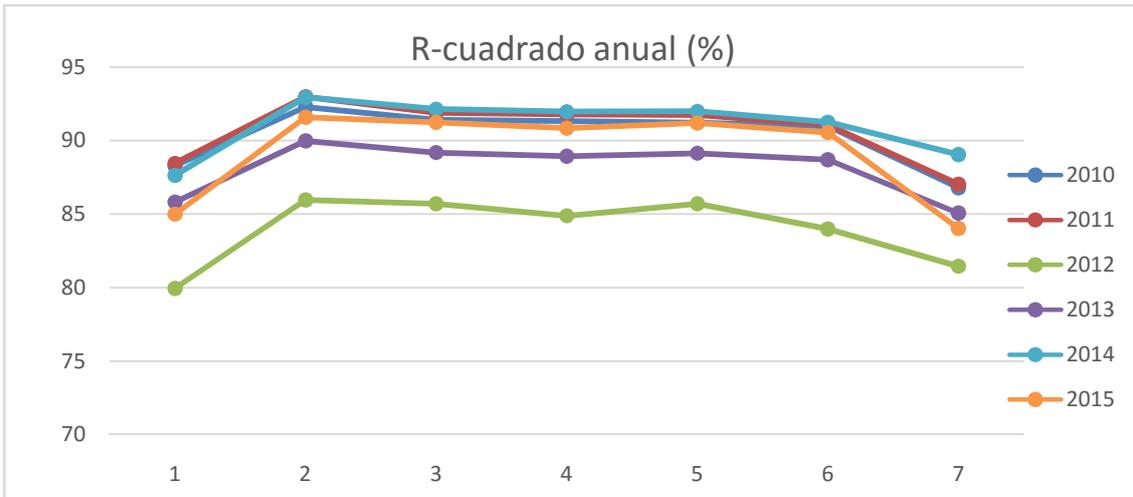


Gráfico 40: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 14 en cada año.

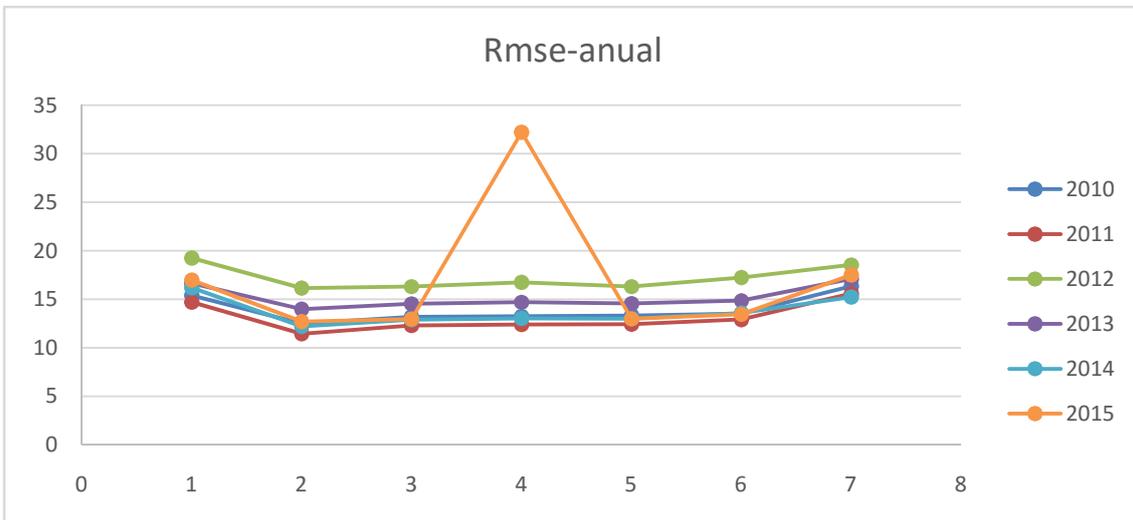


Gráfico 41: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 14 en cada año.

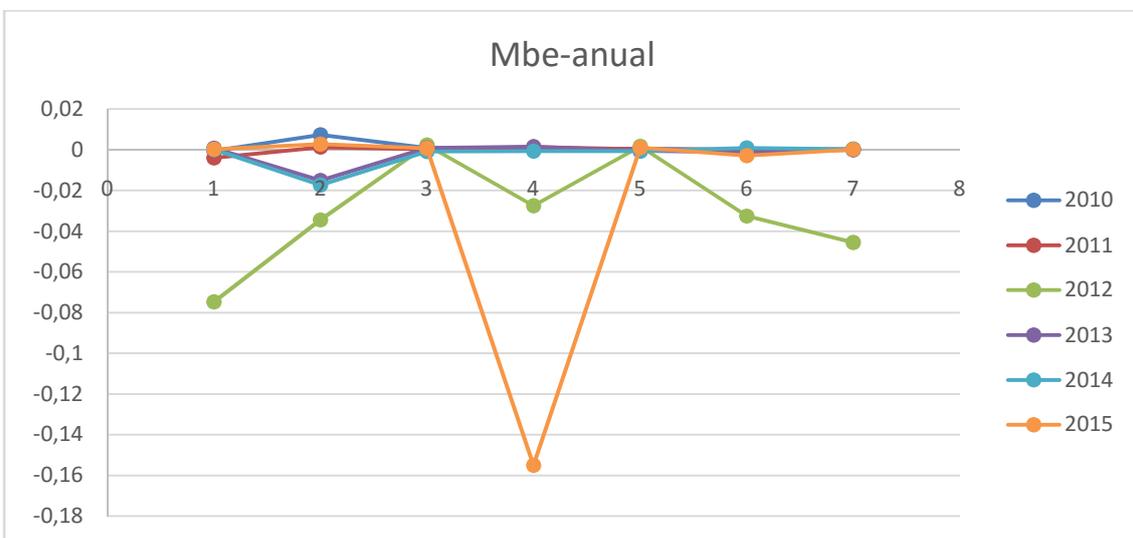


Gráfico 42: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 14 en cada año.

Instalación 15:

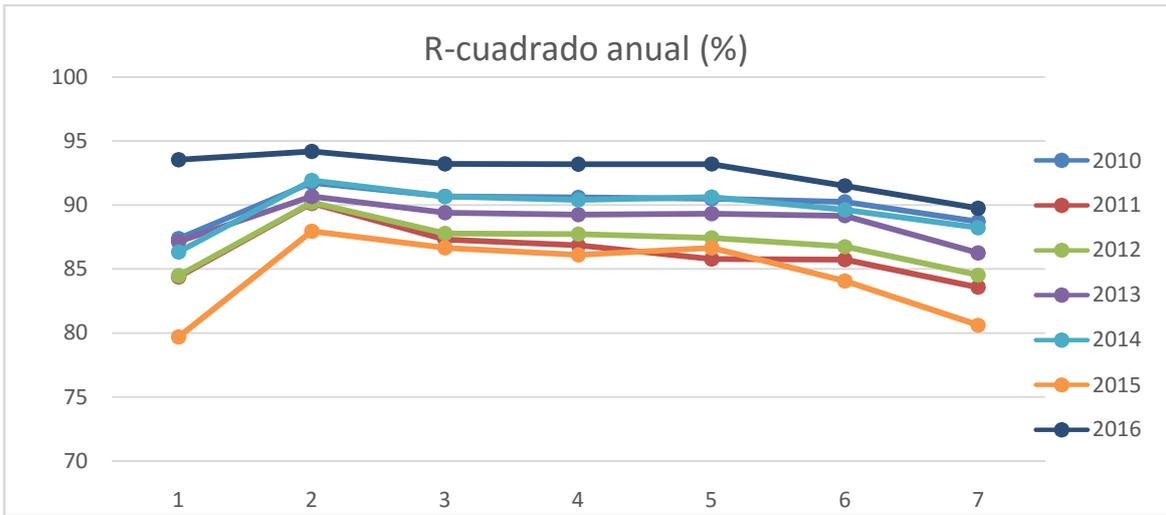


Gráfico 43: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 15 en cada año.

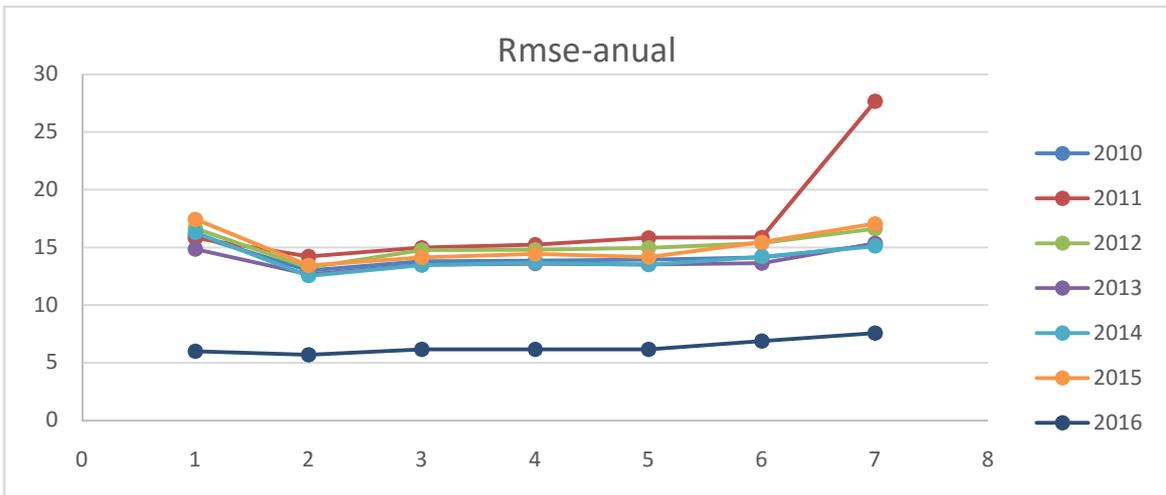


Gráfico 44: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 15 en cada año.

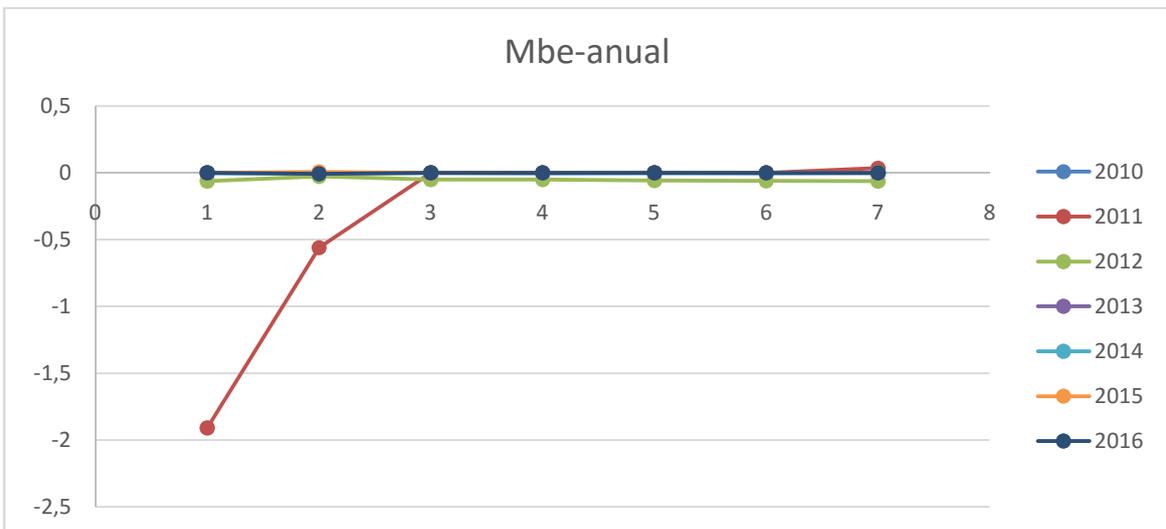


Gráfico 45: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 15 en cada año.

Instalación 16:

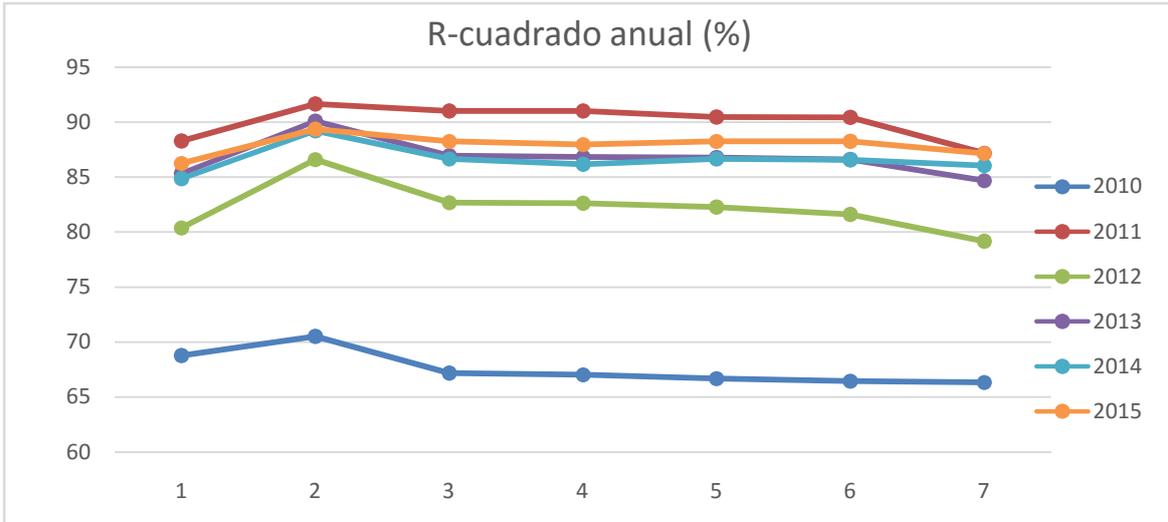


Gráfico 46: R-cuadrado (%) para las correlaciones de la instalación 16 en cada año.

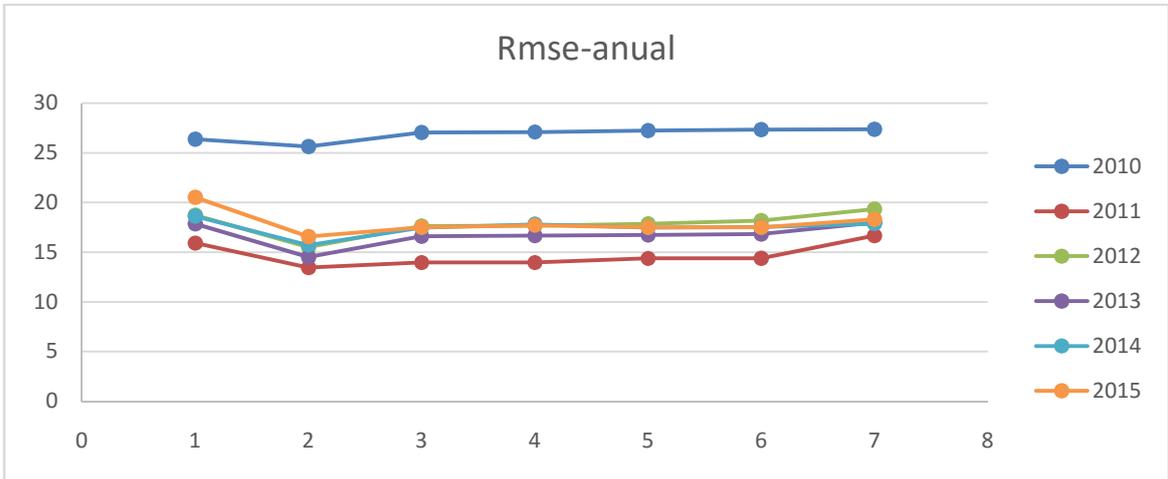


Gráfico 47: Rmse (%) para las correlaciones de la instalación 16 en cada año.

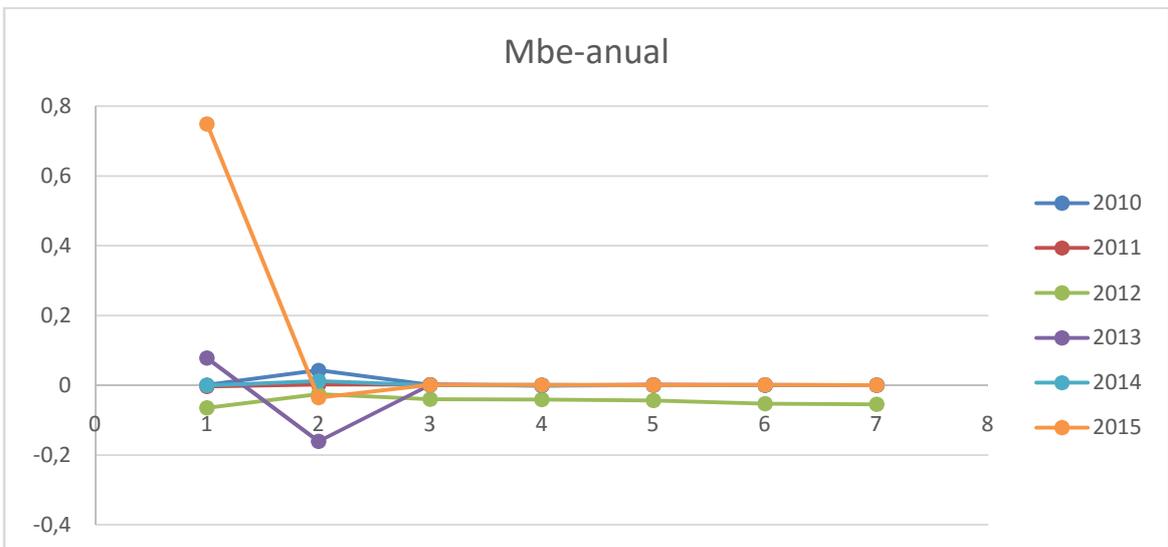


Gráfico 48: Mbe (%) para las correlaciones de la instalación 16 en cada año.

5.2.2 Correlaciones específicas para cada instalación

El segundo conjunto de correlaciones, se calculan teniendo en cuenta conjuntamente los datos meteorológicos y de producción real del periodo Enero de 2010 a Febrero de 2016 para cada instalación. Se obtiene así una serie de siete correlaciones específicas para cada instalación, según se muestra en la figura 12.



Figura 12: Esquema de aplicación.

El objetivo de este muestreo es tener correlaciones que puedan ser útiles para el estudio de una instalación en particular.

De esta manera se obtienen las siguientes correlaciones específicas, para la instalación 1. Para el resto de instalaciones consultar el Anexo 2: “Correlaciones específicas para cada instalación para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} .”

1. $H_{eq} = 31.3056 - 0.0982 \cdot T_d - 0.0298 \cdot W_a - 0.1300 \cdot V_v + 0.8285 \cdot H$
2. $H_{eq} = -6.4428 + 0.1312 \cdot T_d + 0,0185 \cdot W_a - 0,3762V_v +$
 $+1.5780 \cdot H - 0,0003T_d^2 - 0,0003W_a^2 + 0,0420 \cdot V_v^2 - 0,0788 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.3367 - 0.0697 \cdot T_d + 0.8081 \cdot H - 0.0521 \cdot H^2 + 2.4778 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.7746 - 0.0729 \cdot T_d + 1.8285 \cdot H - 0.0941 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.7644 - 0.0664 \cdot T_d - 0.3819 \cdot H + 5.2539 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.0967 - 0.0741 \cdot T_d + 3.8332 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7523 + 3.2125 \cdot \sqrt{H}$

Siguiendo la tónica del muestreo anterior, se va a proceder a evaluar la bondad de las correlaciones con los parámetros R-cuadrado, Rmse y Mbe.

En este caso las gráficas se representan en grupos de instalaciones.

Instalación 1-4:

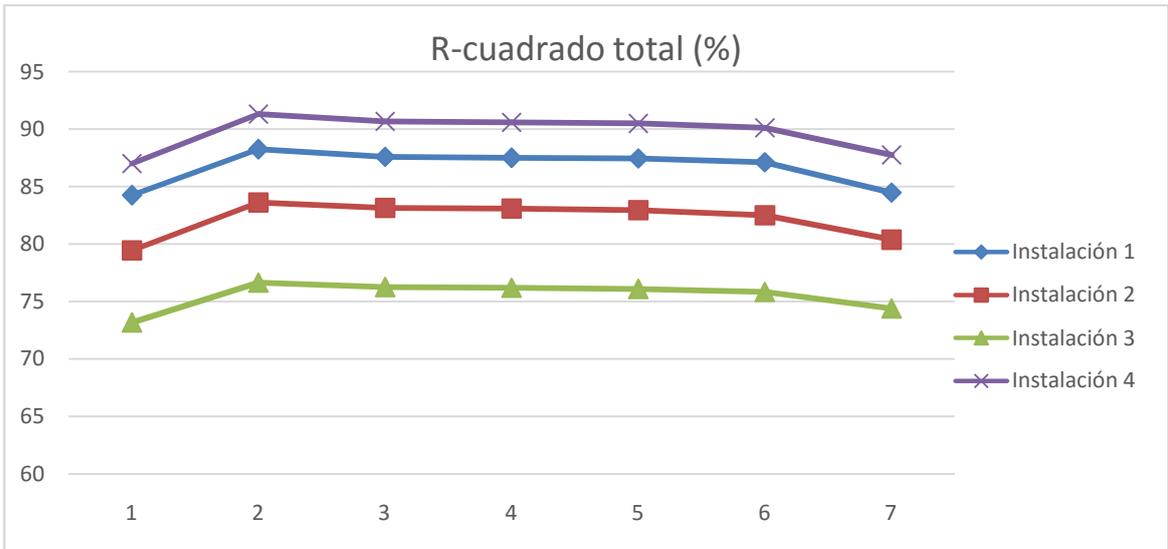


Gráfico 49: R-cuadrado (%) de las instalaciones 1, 2, 3 y 4.

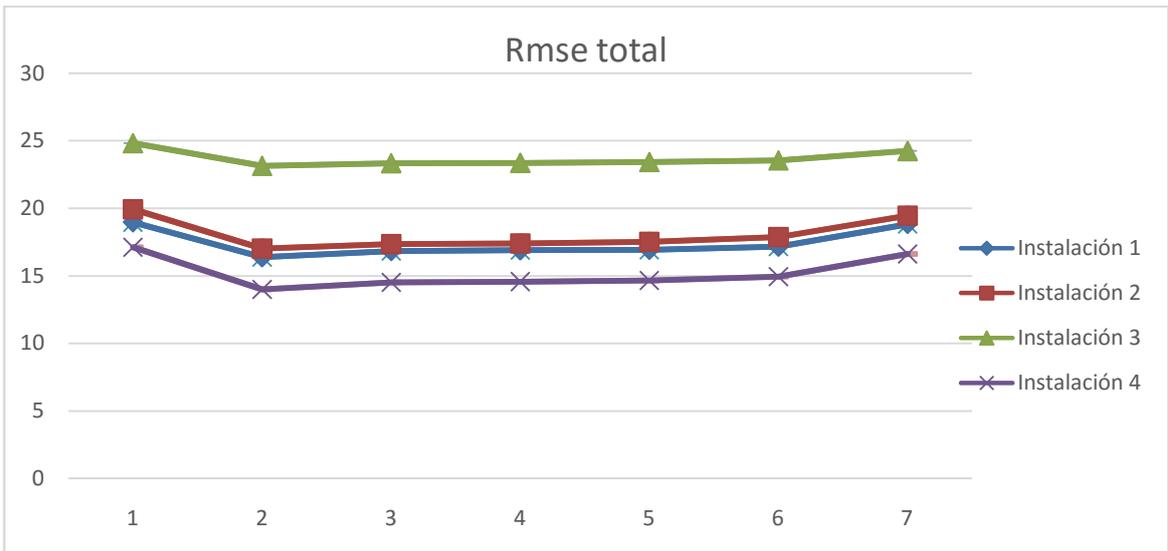


Gráfico 50: Rmse (%) de las instalaciones 1, 2, 3 y 4.

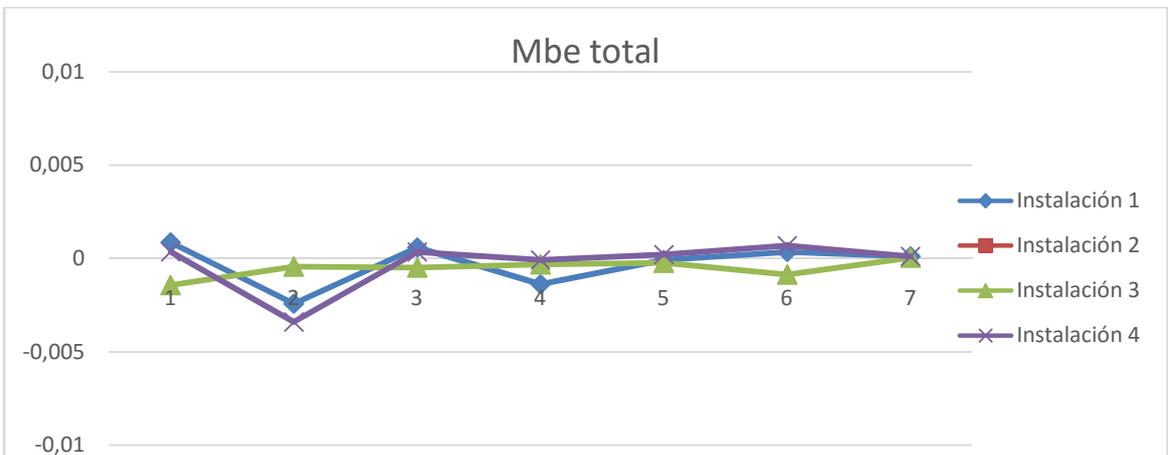


Gráfico 51: Mbe (%) de las instalaciones 1, 2, 3 y 4. (La instalación 2 se sale de escala).

Instalación 5-8:

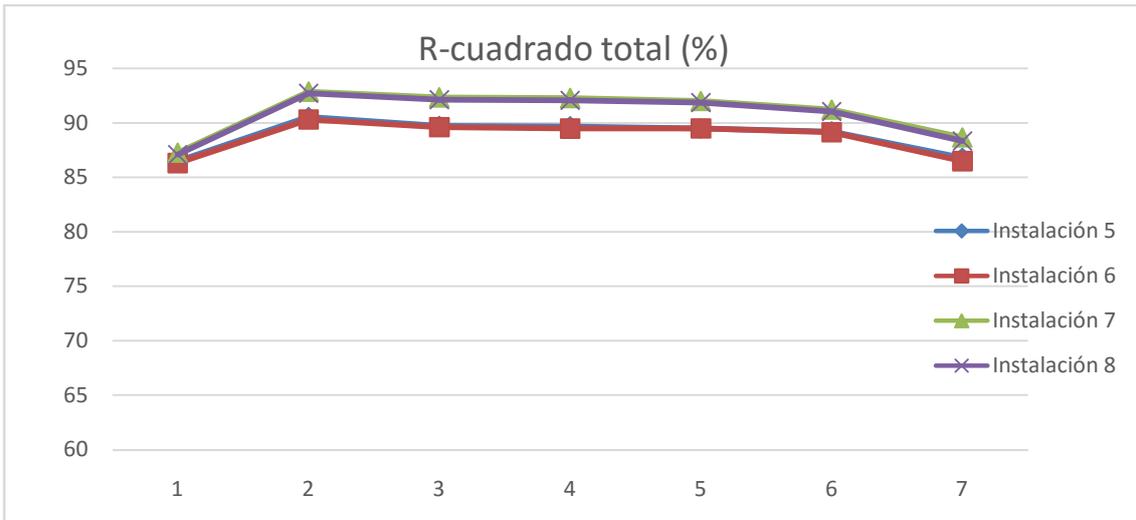


Gráfico 52: R-cuadrado (%) de las instalaciones 5, 6, 7 y 8.

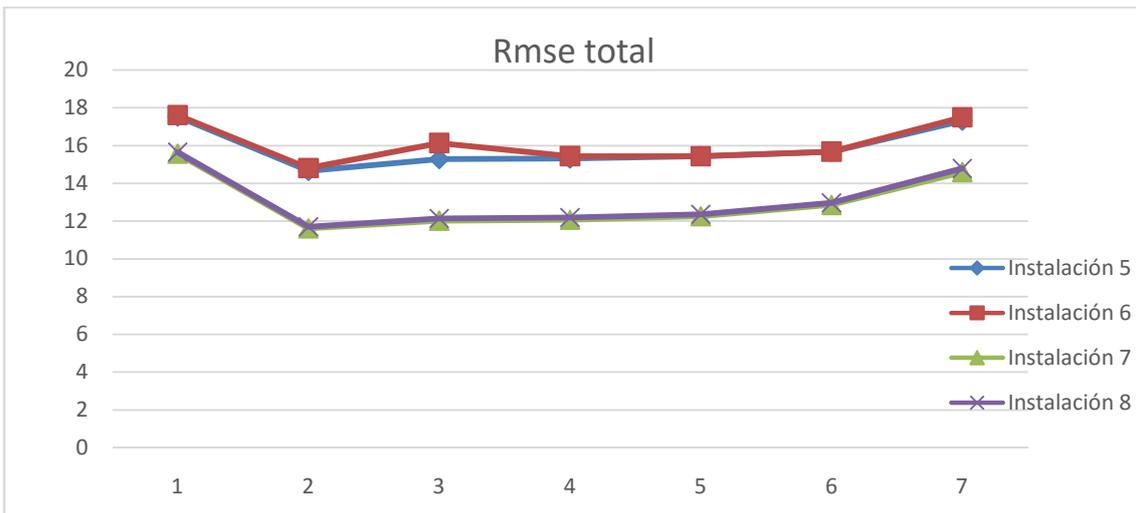


Gráfico 53: Rmse (%) de las instalaciones 5, 6, 7 y 8.

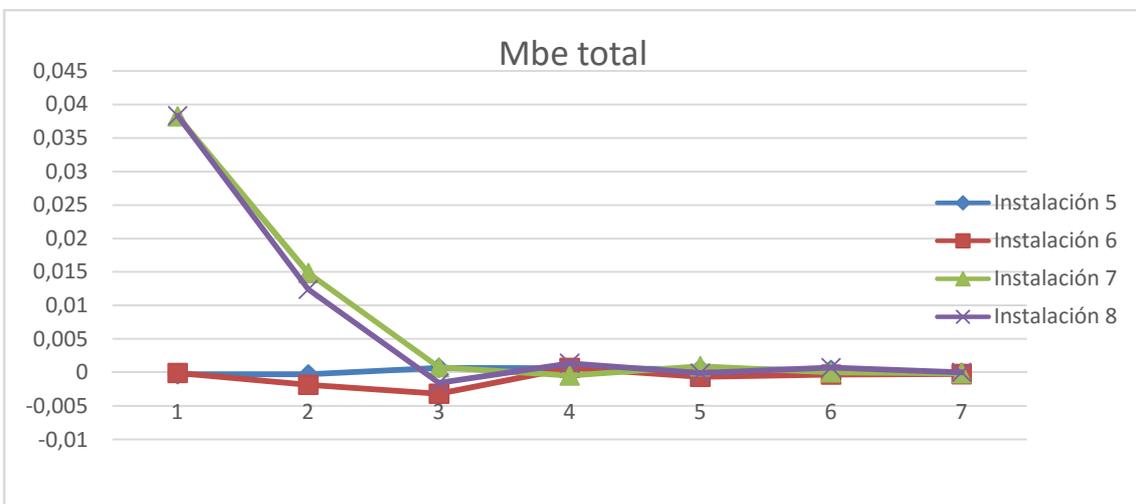


Gráfico 54: Mbe (%) de las instalaciones 5, 6, 7 y 8.

Instalación 9-12:

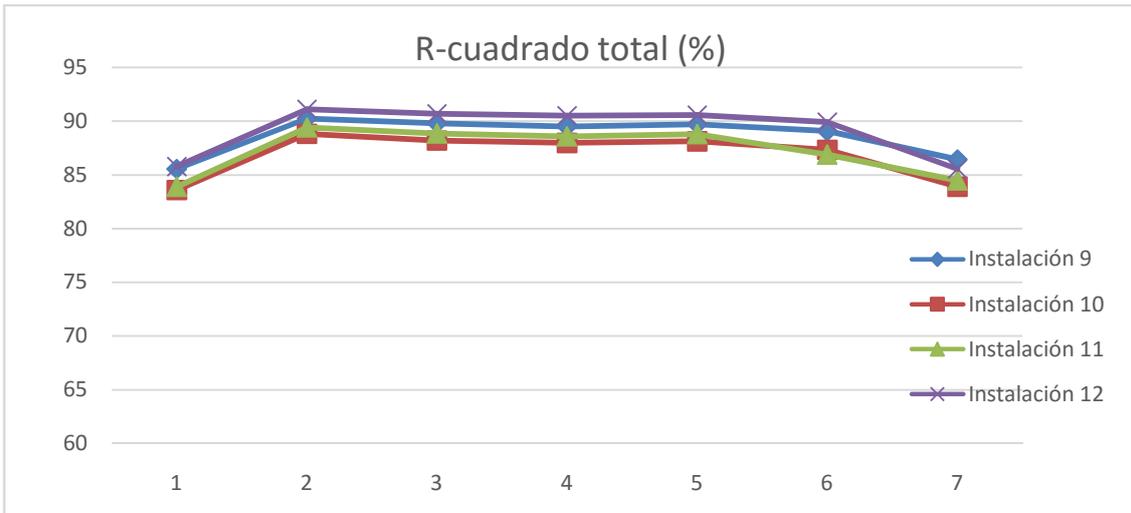


Gráfico 55: R-cuadrado (%) de las instalaciones 9, 10, 11 y 12.

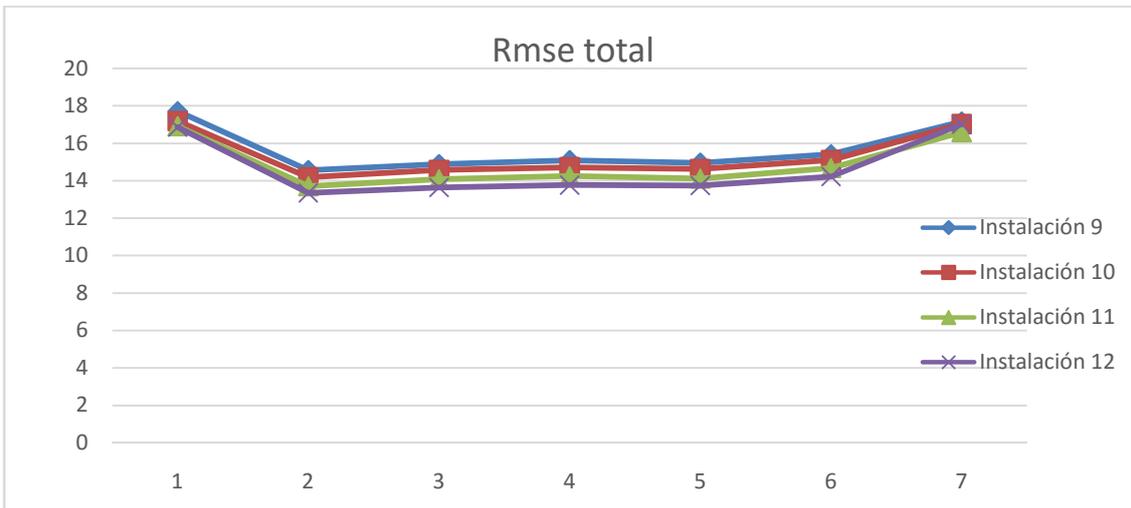


Gráfico 56: Rmse (%) de las instalaciones 9, 10, 11 y 12.

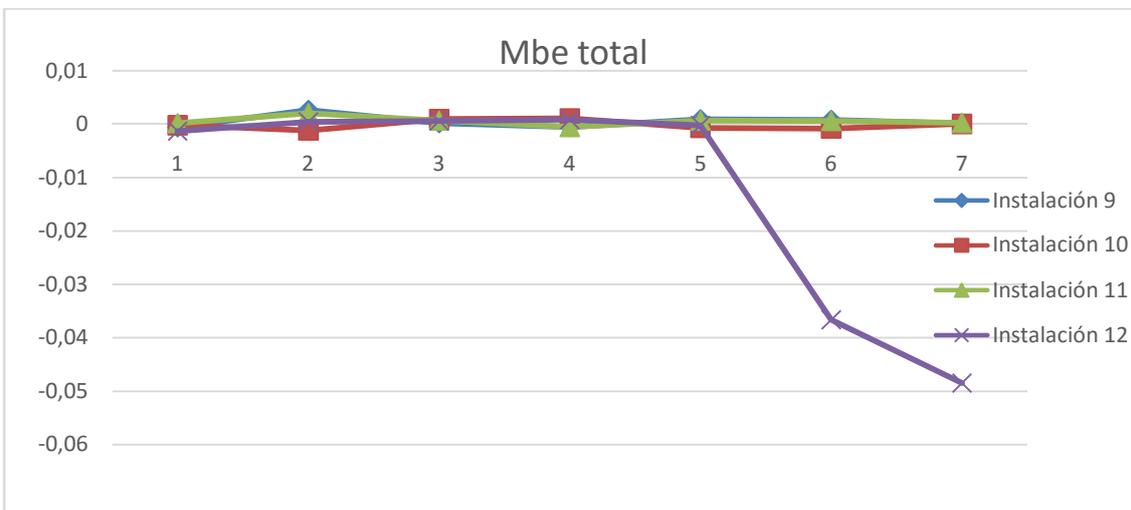


Gráfico 57: Mbe (%) de las instalaciones 9, 10, 11 y 12.

Instalación 13-16:

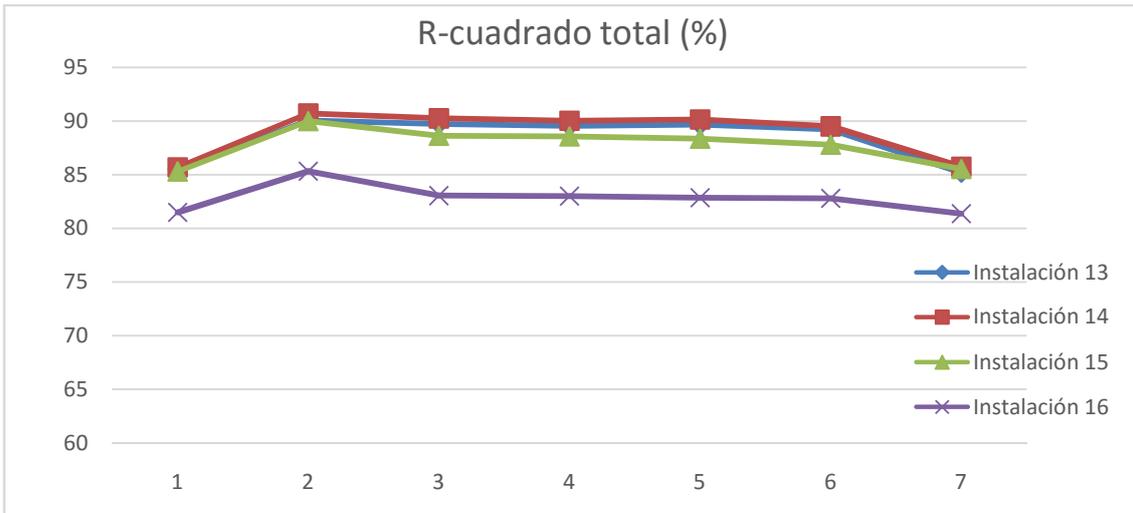


Gráfico 58: R-cuadrado (%) de las instalaciones 13, 14, 15 y 16.

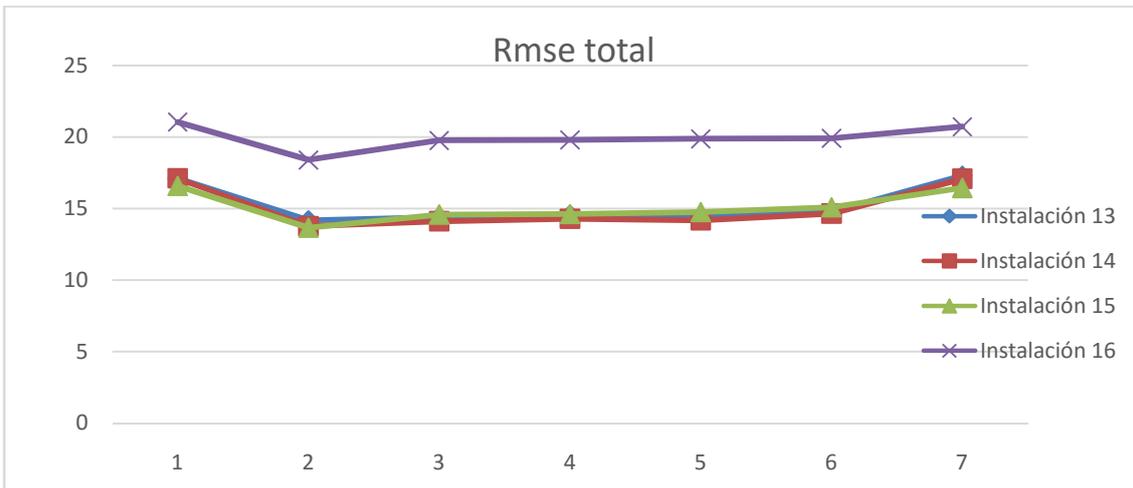


Gráfico 59: Rmse (%) de las instalaciones 9, 10, 11 y 12.

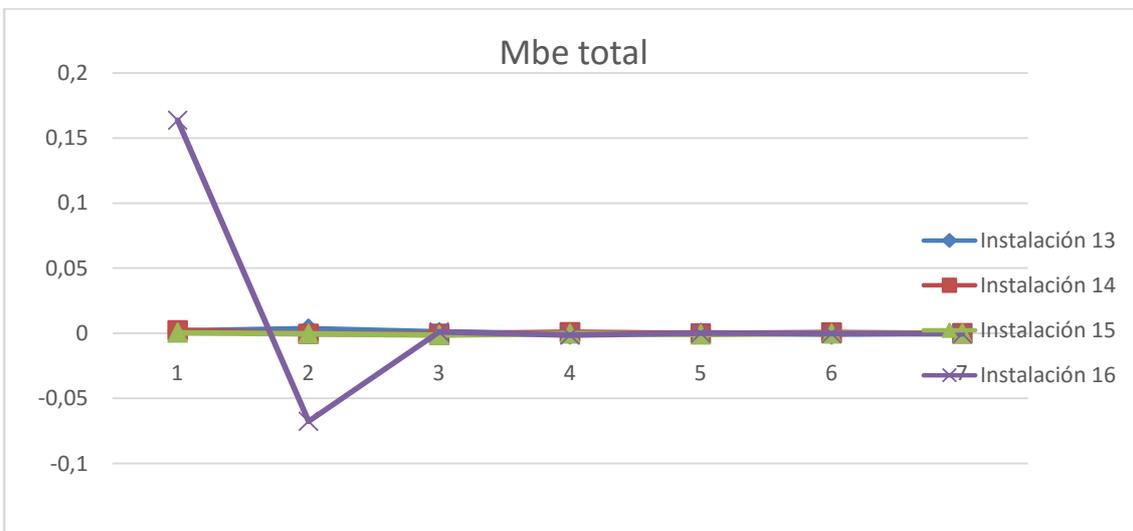


Gráfico 60: Mbe (%) de las instalaciones 9, 10, 11 y 12.

5.2.3 Correlaciones generales

El tercer conjunto de correlaciones, se calculan teniendo en cuenta conjuntamente los datos meteorológicos y reales de producción del periodo Enero de 2010 a Febrero de 2016, pero en este caso se tratarán de forma conjunta todas las instalaciones. Así se obtienen siete correlaciones que serán válidas para cualquier instalación y cualquier periodo de tiempo.

Una vez calculadas las siete correlaciones de este conjunto, se elegirá una correlación que combine precisión y simplicidad.

Las correlaciones generales obtenidas son las siguientes:

$$1. H_{eq} = 29.7417 - 0.0928 \cdot T_d - 0.0287 \cdot W_a - 0.1051 \cdot V_v + 0.7692 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = 27.3065 - 0.1090 \cdot T_d - 0,0006 \cdot W_a - 0.2552 \cdot V_v +$$

$$+1,5582 \cdot H + 0,0001T_d^2 - 0,0001W_a^2 + 0,0271 \cdot V_v^2 - 0,0819 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 15.461 - 0.0622 \cdot T_d + 0.7716 \cdot H - 0.0518 \cdot H^2 + 2.3347 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 17.7508 - 0.0652 \cdot T_d + 1.7325 \cdot H - 0.0912 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 12.9484 - 0.0591 \cdot T_d - 0.4128 \cdot H + 5.0937 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 16.7031 - 0.0679 \cdot T_d + 3.5561 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H}$$

Se procede a graficar los 3 parámetros de evaluación de las estimaciones y se obtiene:

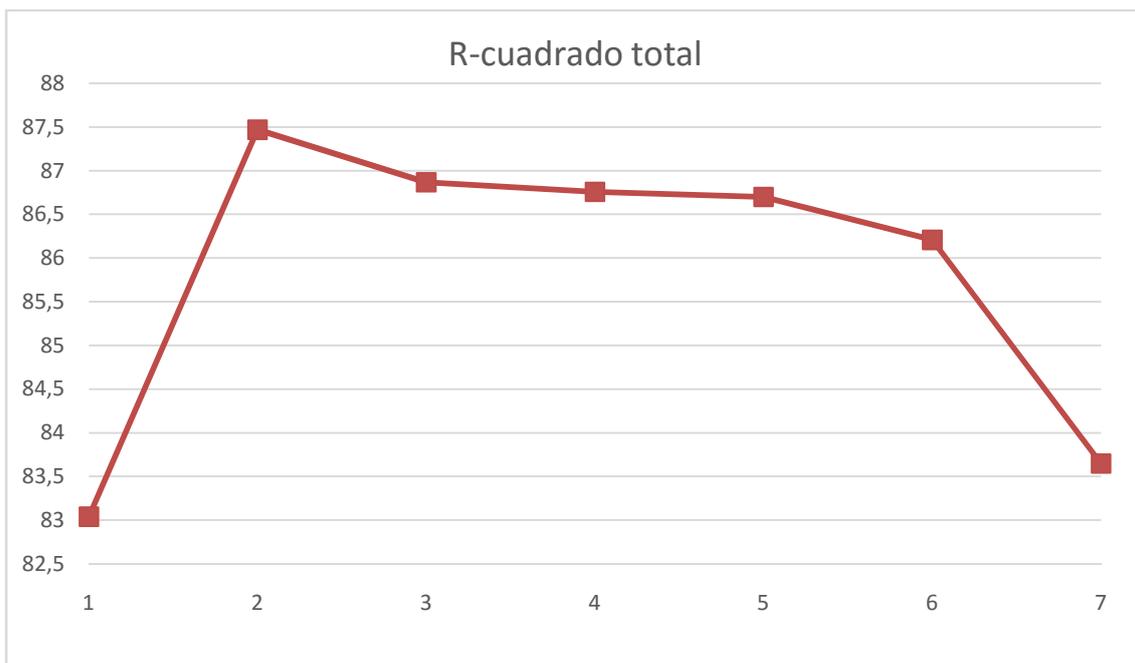


Gráfico 61: R-cuadrado (%) para las correlaciones generales.

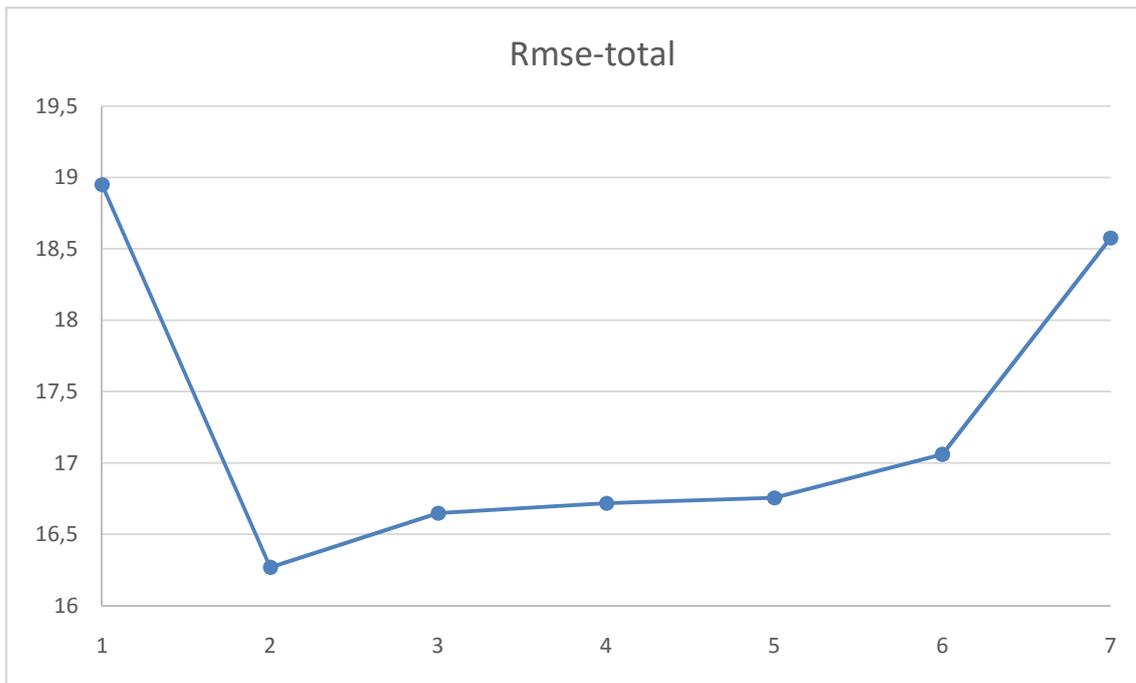


Gráfico 62: Rmse (%) para las correlaciones generales.

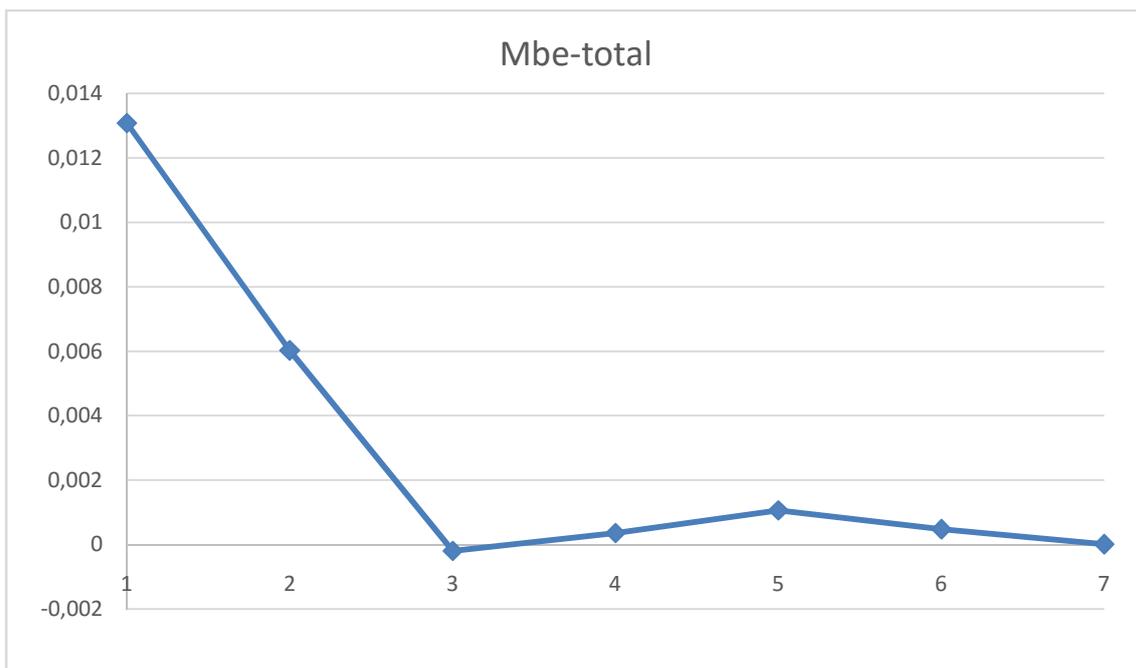


Gráfico 63: Mbe (%) para las correlaciones generales.

5.2.4 Conclusiones

Evaluando detenidamente los gráficos obtenidos en los apartados anteriores, se puede concluir:

Correlaciones anuales para cada instalación

Los estadísticos indican que generalmente dichas correlaciones van a funcionar bien en la mayoría de los casos, con valores de R-cuadrado elevados en torno al 90%, valores de Rmse que se sitúan alrededor del 20% y valores muy bajos de Mbe. Al ser estos

últimos cercanos a cero, el error que se va a cometer al utilizar la correlación va a ser muy pequeño, dado que dicho estadístico evalúa el error aritmético medio, esto quiere decir que los valores en exceso de un día se combinan con valores en defecto de otro, pero la suma de irradiación equivalente estimada a lo largo de un periodo de tiempo se va a acercar a la suma de irradiación equivalente real.

Hay que destacar en este apartado que el año 2012 da valores no tan satisfactorios en las primeras instalaciones utilizadas, dichas desviaciones pueden deberse a que el año 2012 fue un año que tiene unos parámetros meteorológicos poco comunes.

Correlaciones específicas para cada instalación

Las correlaciones específicas para cada instalación obtienen buenos resultados del parámetro R-cuadrado, en torno al 90%, errores Rmse no demasiado elevados al situarse en torno al 18% y valores cercanos a 0 en cuanto al estadístico Mbe.

Con dichas correlaciones se pueden establecer buenas predicciones de irradiación, según los estadísticos y van a funcionar bien cuando se quiera estimar la irradiación en un periodo de tiempo debido al bajo valor de Mbe que presentan todas ellas.

Correlaciones generales

Evaluando los estadísticos en las correlaciones generales se comprueba que todas ellas pueden ser útiles para predecir la irradiación.

Como se dijo anteriormente en este apartado se quiere seleccionar una correlación entre las siete calculadas, que sea sencilla y pueda ser utilizada fácilmente para predecir la irradiación sea cual sea la instalación o el periodo de tiempo.

Dado que la correlación número 7 no proporciona valores que nos hagan descartar su utilización, y ser ésta la más simple de todas ellas al tener en cuenta sólo una variable, se toma dicha correlación como válida para el conjunto de las instalaciones en el periodo de estudio:

$$H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H_h}$$

Donde los valores de las irradiaciones se expresan en $\frac{\text{kW}_{\text{rad}}}{\text{m}^2_{\text{panel}} \cdot \text{día}}$.

Además por el mismo motivo que las anteriores, se sabe que los errores de predicción para un cierto periodo de tiempo van a ser bajos.

6. COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES CALCULADAS.

6.1 VALIDACIÓN DE LAS CORRELACIONES.

Dado los buenos resultados obtenidos, al emplear tan sólo la irradiación sobre superficie horizontal como parámetro para predecir la irradiación en superficie inclinada, y con ello la producción eléctrica de una central fotovoltaica, se pretende analizar más a fondo este resultado.

Para ello se va a calcular para cada año y para cada mes, la irradiación predicha por las correlaciones en las que sólo se incluye el término de la irradiación horizontal para la instalación 7.

Entre esas correlaciones están: las seis correlaciones que se calcularon para cada año, la correlación específica de la instalación 7 y por último la correlación general válida para todas las instalaciones:

Correlaciones anuales para la instalación 7:

1. $H_{eq} = -1.4939 + 2.8761 \cdot \sqrt{H_h}$
2. $H_{eq} = -1.5102 + 2.8774 \cdot \sqrt{H_h}$
3. $H_{eq} = -1.5162 + 2.9187 \cdot \sqrt{H_h}$
4. $H_{eq} = -1.5345 + 2.8688 \cdot \sqrt{H_h}$
5. $H_{eq} = -1.7020 + 2.9731 \cdot \sqrt{H_h}$
6. $H_{eq} = -1.5316 + 2.8804 \cdot \sqrt{H_h}$

Correlación específica de la instalación 7:

7. $H_{eq} = -1.5633 + 2.9069 \cdot \sqrt{H_h}$

Correlación general:

8. $H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H_h}$

Se compara así la irradiación real mensual para cada año con la irradiación predicha por las correlaciones anteriormente citadas.

Posteriormente en las tablas mostradas a continuación se calcula la suma anual de irradiaciones, y se calcula el error porcentual cometido en cada una de las correlaciones para cada año.

Se procede también a graficar los resultados obtenidos, incluyendo en dicha gráfica las irradiaciones acumuladas a lo largo del año.

Tabla 10: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2010.

2010	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2010 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	1,77	54,77	73,17	71,32	72,20	76,96
Febrero	2,57	71,94	91,34	86,70	87,26	92,49
Marzo	3,78	117,12	128,74	126,69	126,99	134,06
Abril	5,79	173,73	166,40	162,96	162,82	171,34
Mayo	6,54	202,79	173,55	182,02	181,73	191,11
Junio	7,10	212,86	166,03	185,39	185,01	194,47
Julio	8,04	249,26	189,80	207,06	206,51	216,93
Agosto	7,15	221,77	182,90	192,56	192,16	201,97
Septiembre	5,40	161,91	159,73	155,70	155,63	163,85
Octubre	3,83	118,68	137,66	127,85	128,14	135,25
Noviembre	2,27	68,07	89,07	84,46	85,15	90,41
Diciembre	1,84	57,15	76,43	73,89	74,75	79,62
TOTAL	4,67	1710,05	1634,82	1656,60	1658,35	1748,47
Error %				1,33%	1,44%	5,55%

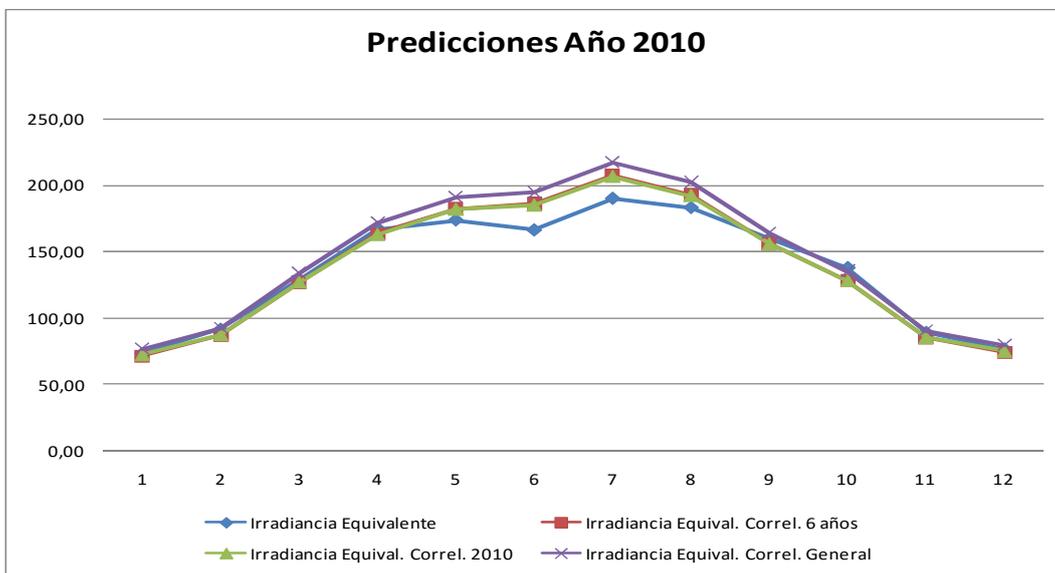


Gráfico 64: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2010.

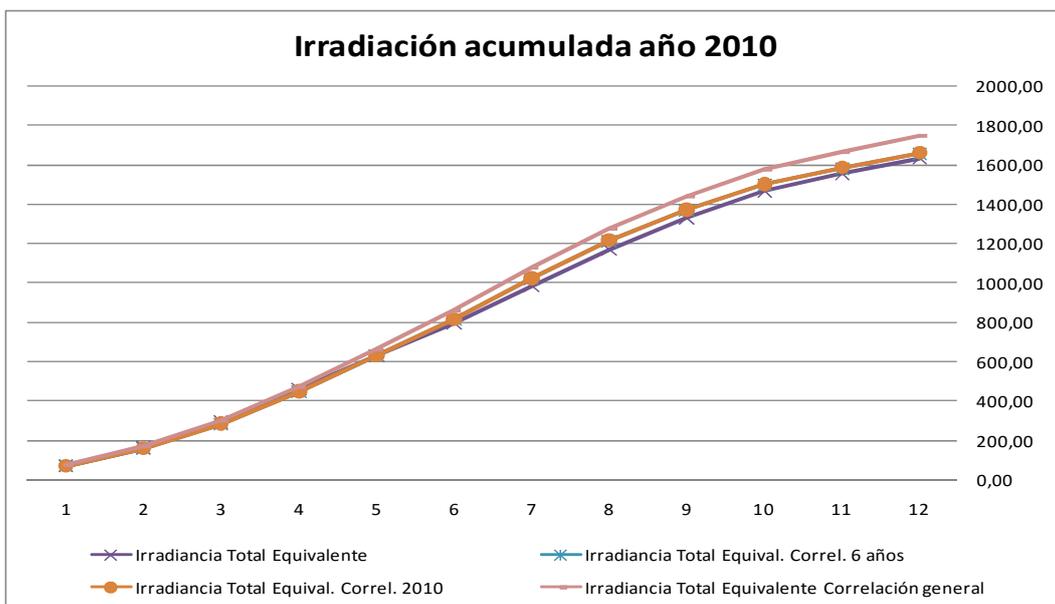


Gráfico 65: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2010.

Tabla 11: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2011.

2011	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2011 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	1,78	55,29	65,13	71,88	72,31	77,55
Febrero	3,48	97,46	115,45	108,08	108,03	114,54
Marzo	4,14	128,27	126,46	134,84	134,63	142,46
Abril	6,01	180,43	160,08	166,97	166,40	175,48
Mayo	7,13	221,07	176,75	192,18	191,39	201,58
Junio	8,21	246,40	182,83	203,02	202,08	212,65
Julio	8,26	256,05	200,55	210,52	209,54	220,49
Agosto	6,29	194,93	176,47	177,50	176,86	186,45
Septiembre	5,67	170,21	171,06	160,82	160,31	169,14
Octubre	4,13	127,98	146,49	134,63	134,42	142,24
Noviembre	1,91	57,22	72,69	73,54	73,91	79,14
Diciembre	1,90	58,99	87,81	75,85	76,24	81,64
TOTAL	4,91	1794,29	1681,76	1709,83	1706,12	1803,36
Error %				1,67%	1,45%	5,47%

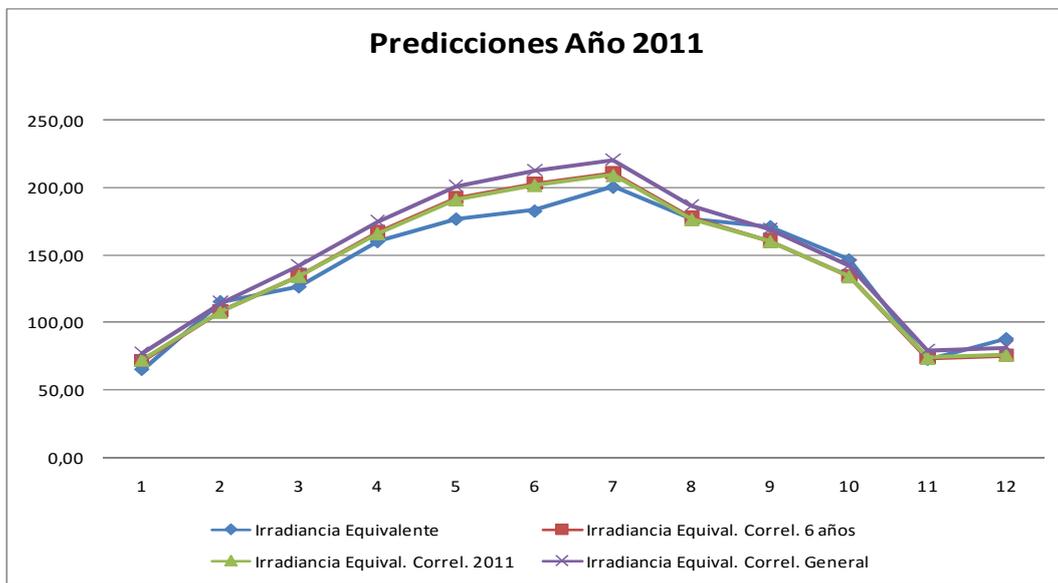


Gráfico 66: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2011.

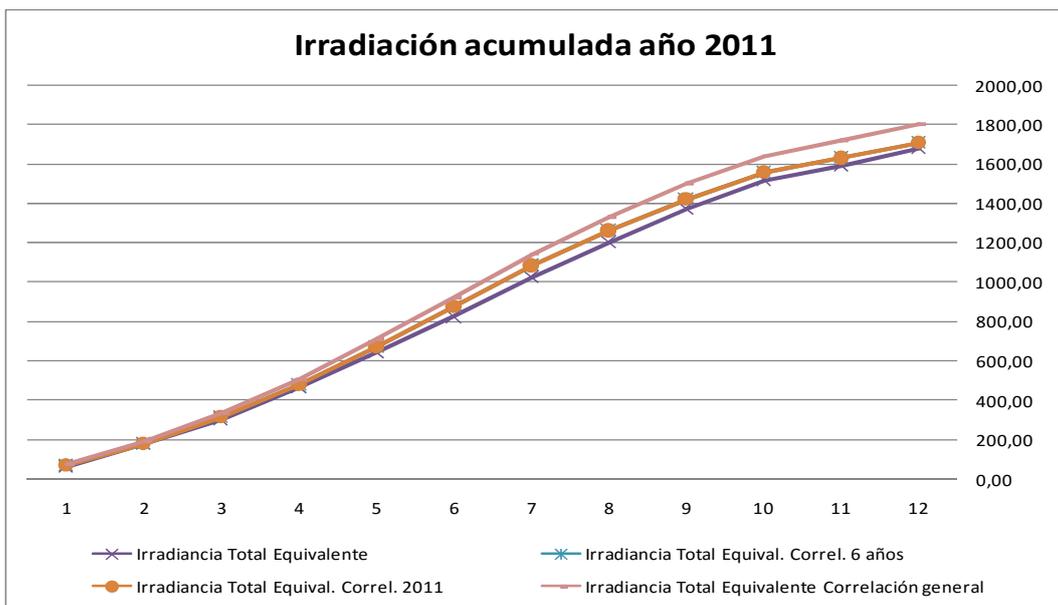


Gráfico 67: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2011.

Tabla 12: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2012.

2012	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2012 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	1,71	53,10	67,42	69,48	71,42	75,06
Febrero	3,35	97,24	137,89	109,03	111,03	115,63
Marzo	4,96	153,63	169,12	152,15	154,42	160,30
Abril	4,53	135,84	128,17	138,67	140,83	146,29
Mayo	7,23	224,19	181,33	193,87	196,32	203,33
Junio	7,53	225,80	173,27	192,35	194,74	201,65
Julio	8,14	252,43	195,73	208,68	211,19	218,60
Agosto	7,04	218,31	190,90	190,67	193,11	200,03
Septiembre	5,10	153,08	155,22	150,09	152,31	158,08
Octubre	3,38	104,83	126,11	117,25	119,38	124,32
Noviembre	2,09	62,71	81,41	79,18	81,11	84,96
Diciembre	1,62	50,28	62,25	66,30	68,23	71,79
TOTAL	4,72	1731,45	1668,82	1667,73	1694,08	1760,05
Error %				0,07%	1,51%	5,54%

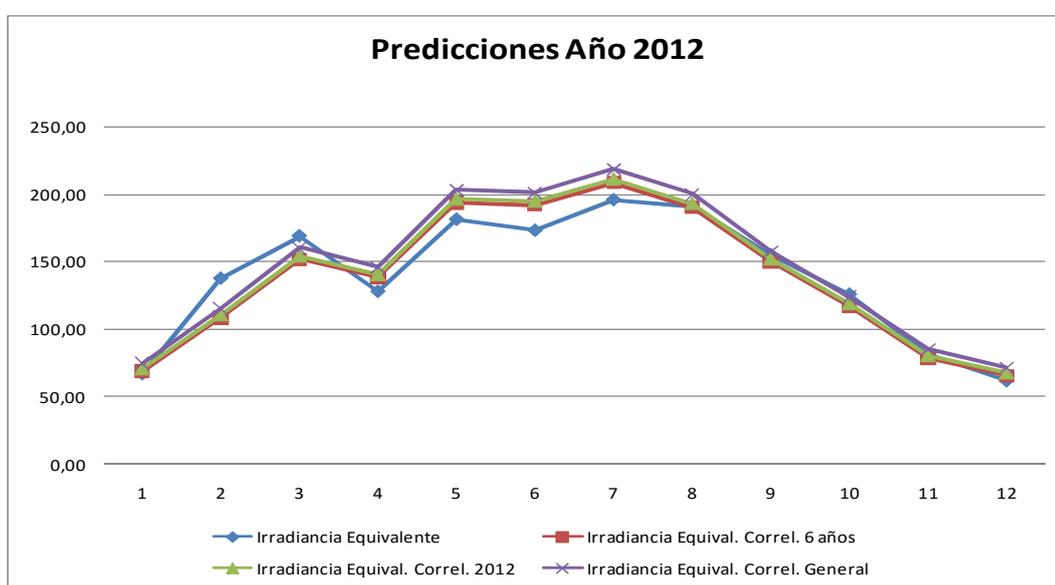


Gráfico 68: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2012.

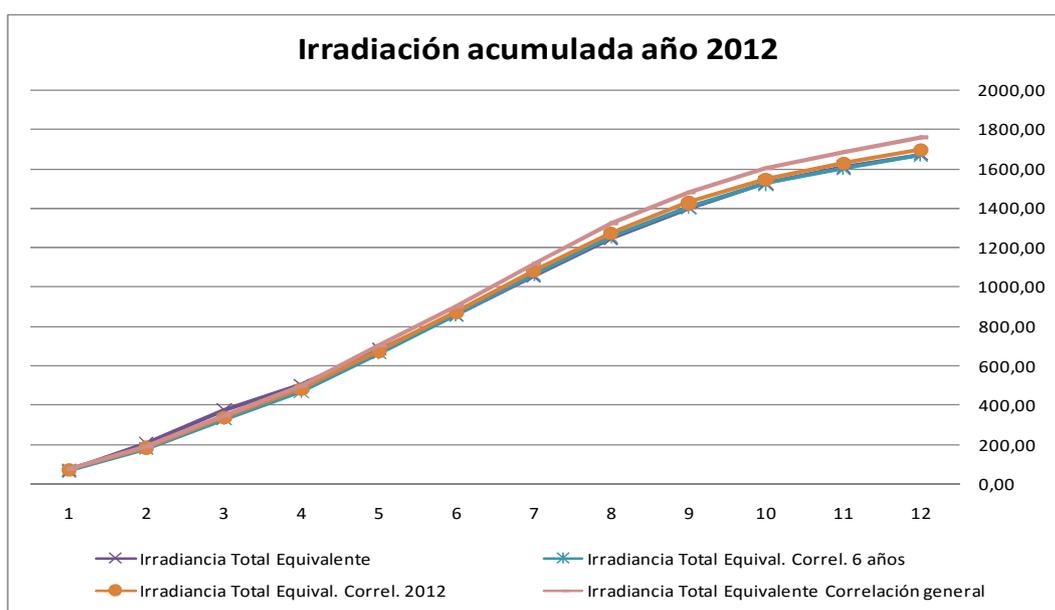


Gráfico 69: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2012.

Tabla 13: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2013.

2013	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2013 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	2,02	62,63	83,14	79,63	78,84	85,53
Febrero	3,16	88,55	110,76	100,97	99,88	111,04
Marzo	3,64	112,92	115,43	123,52	122,16	130,79
Abril	5,59	167,66	153,84	159,26	157,42	167,53
Mayo	6,79	210,51	171,84	186,36	184,18	195,58
Junio	7,75	232,50	177,47	195,87	193,56	205,28
Julio	8,12	251,63	188,99	208,28	205,81	218,18
Agosto	7,58	234,92	194,13	199,60	197,25	209,24
Septiembre	5,66	169,89	161,56	160,63	158,77	168,94
Octubre	3,70	114,56	128,92	124,77	123,39	132,08
Noviembre	2,43	72,85	97,68	88,99	88,08	95,08
Diciembre	1,70	52,57	69,09	68,88	68,24	74,45
TOTAL	4,84	1771,19	1652,84	1696,77	1677,59	1793,71
Error %				2,66%	1,50%	5,71%

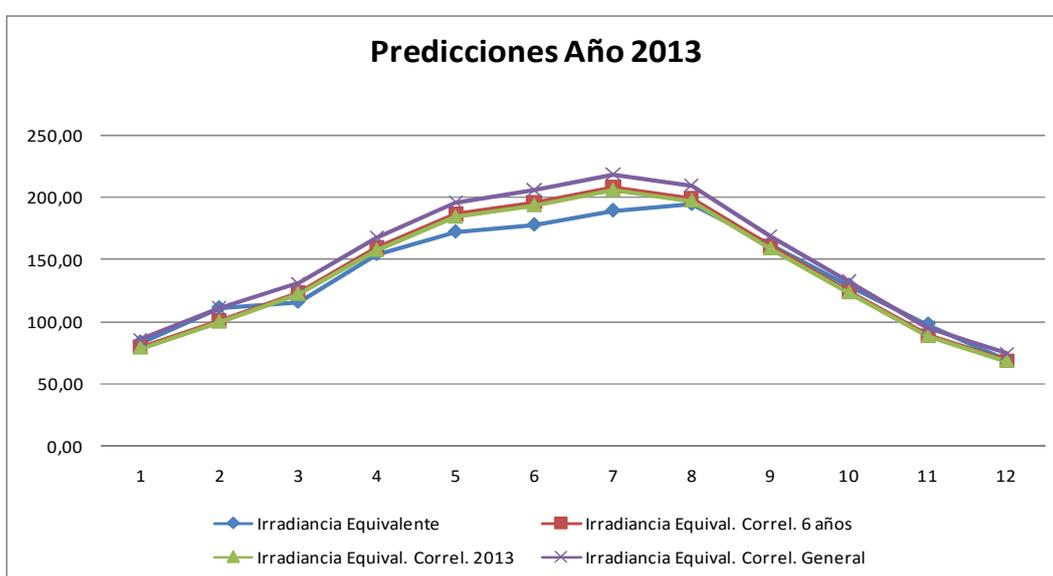


Gráfico 70: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2013.

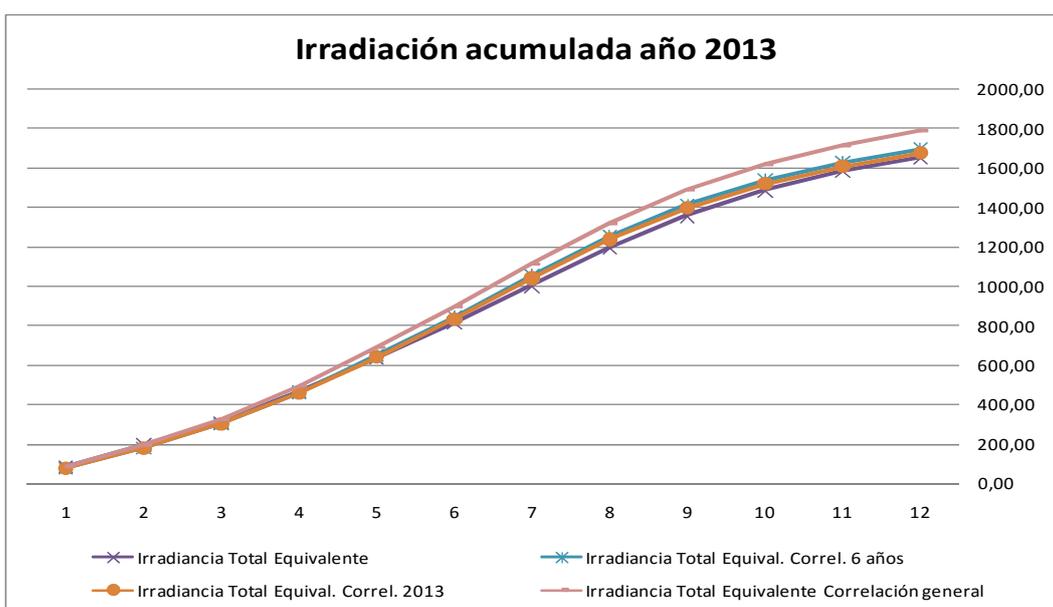


Gráfico 71: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2013.

Tabla 14: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2014.

2014	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2014 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	1,77	54,83	66,90	71,38	69,81	77,03
Febrero	2,80	78,44	93,02	92,46	91,68	101,95
Marzo	4,61	143,01	153,74	145,09	145,20	153,03
Abril	5,66	169,67	158,48	160,49	161,05	168,80
Mayo	7,27	225,51	193,39	194,58	195,82	204,06
Junio	8,00	240,01	188,49	199,76	201,22	209,29
Julio	7,56	234,41	183,81	199,34	200,68	208,96
Agosto	7,02	217,59	184,84	190,28	191,42	199,62
Septiembre	4,98	149,43	149,83	147,73	148,00	155,64
Octubre	3,85	119,42	137,73	128,40	128,13	135,82
Noviembre	1,87	56,09	66,94	72,34	70,90	77,91
Diciembre	1,74	53,99	73,50	70,46	68,87	76,08
TOTAL	4,76	1742,40	1650,68	1672,31	1672,79	1768,19
Error %				1,31%	1,34%	5,73%

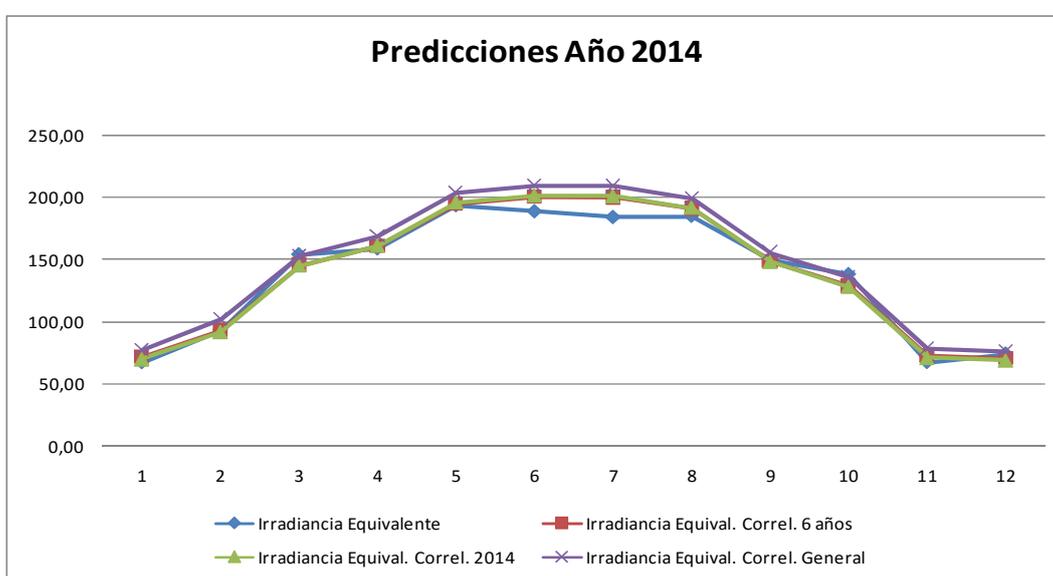


Gráfico 72: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2014.

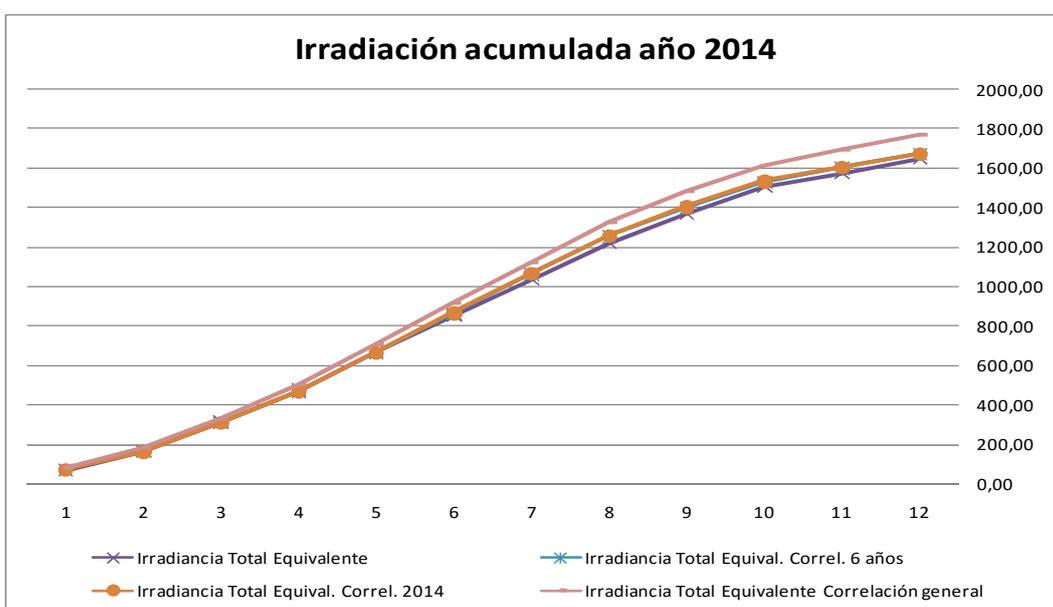


Gráfico 73: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2014.

Tabla 15: Errores con las correlaciones al estimar irradiación en el año 2015.

2015	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.d) [horizontal]	Irradiancia SIAR interpolada media mensual kWh/(m2.mes) [horizontal]	Irradiancia equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación Global 6 años kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación 2015 kWh/(m2.mes) [inclinada]	Irradiancia equivalente Correlación general kWh/(m2.mes) [inclinada]
Enero	2,02	62,56	87,33	79,55	79,37	85,46
Febrero	2,87	80,29	98,34	94,05	93,69	103,65
Marzo	4,61	142,89	153,57	145,01	144,23	152,94
Abril	5,29	158,78	149,86	153,72	152,85	161,82
Mayo	7,49	232,28	187,88	198,20	196,94	207,80
Junio	7,15	214,53	167,08	186,30	185,13	195,41
Julio	7,82	242,57	187,07	203,61	202,30	213,37
Agosto	6,81	211,13	176,51	186,71	185,55	195,94
Septiembre	5,29	158,65	156,65	153,64	152,77	161,74
Octubre	3,33	103,27	119,37	116,01	115,49	123,04
Noviembre	2,15	64,38	85,06	80,85	80,64	86,69
Diciembre	1,49	46,09	57,21	61,41	61,39	66,75
TOTAL	4,69	1717,41	1625,94	1659,08	1650,35	1754,60
Error %				2,04%	1,50%	5,76%

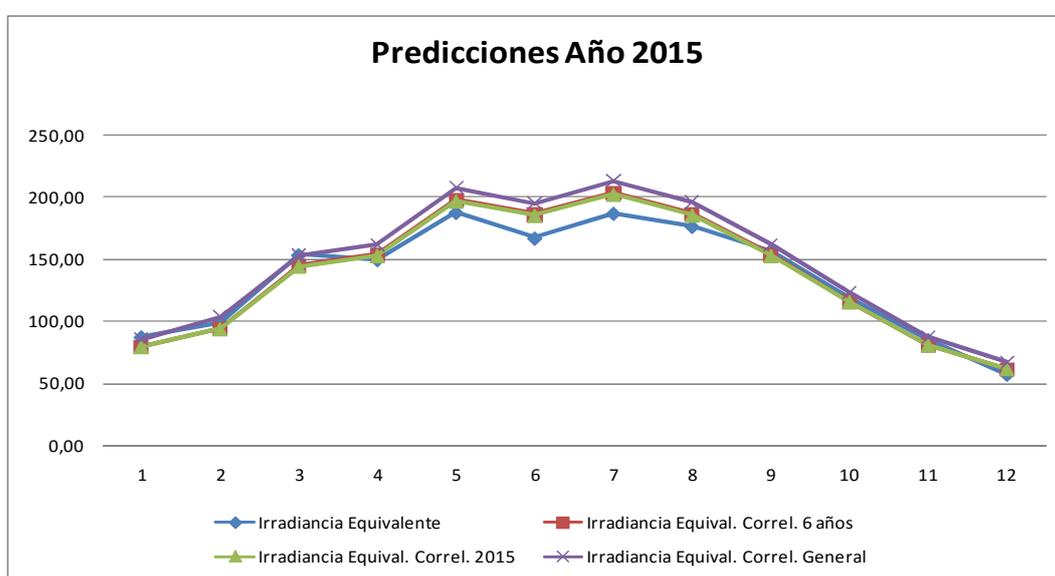


Gráfico 74: Estimaciones de la irradiación equivalente año 2015.

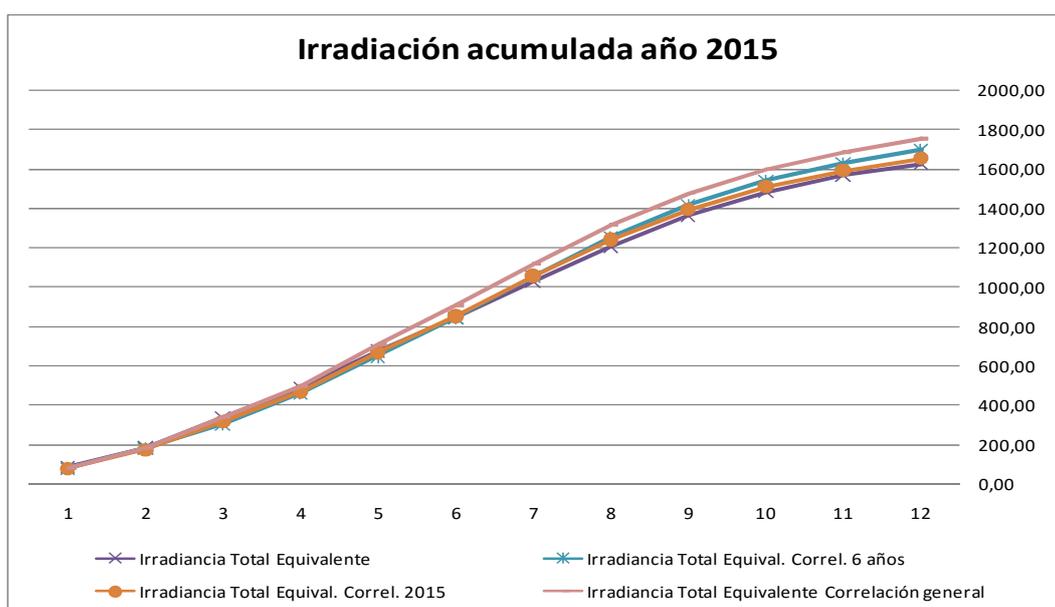


Gráfico 75: Estimaciones de la irradiación equivalente acumulada año 2015.

6.1 CONCLUSIONES

Para evaluar los errores cometidos por las diferentes correlaciones utilizadas en las predicciones se muestra el siguiente gráfico:

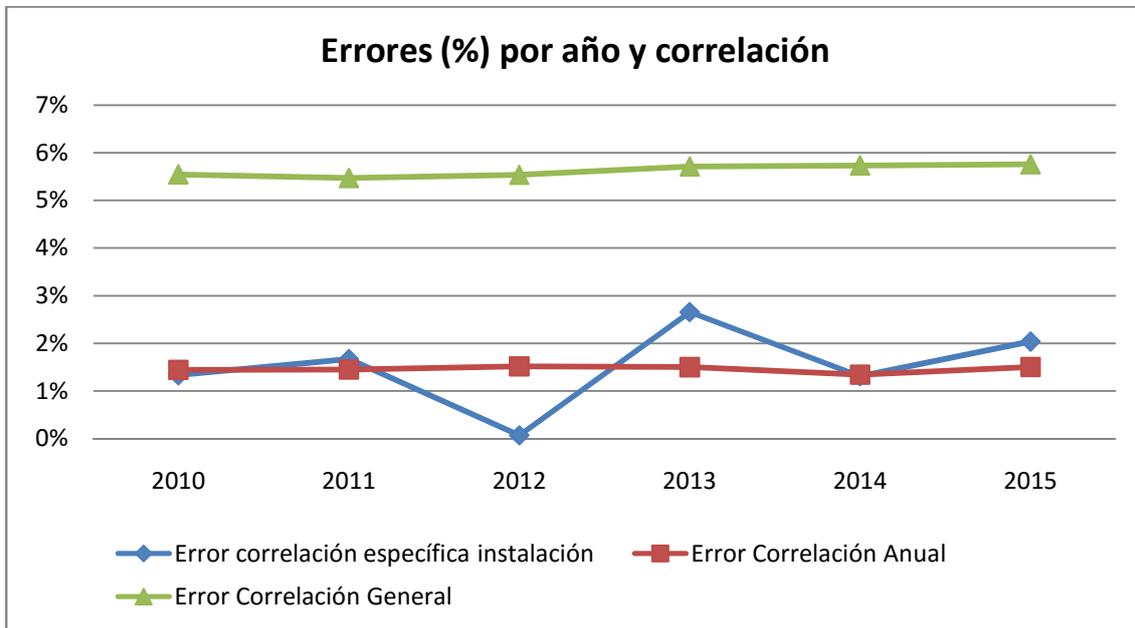


Gráfico 76: Resumen de errores en las estimaciones.

Como se puede observar en el gráfico las correlaciones anuales de la instalación y la correlación específica de la instalación, predicen muy bien la irradiación equivalente, ya que cometen errores de estimación no superiores al 1,5 % en la mayoría de los casos.

Si se evalúan los errores cometidos al utilizar la correlación general, se observa que estos se mantienen constantes a lo largo del tiempo, y se sitúan siempre en torno al 5%. Errores que no son elevados, por lo que queda demostrado con un ejemplo real, al margen de los parámetros estadísticos vistos en el capítulo anterior que dicha correlación puede ser muy útil para predecir la irradiación equivalente.

7. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA.

La finalidad de este trabajo es poder predecir la **producción real de una central fotovoltaica (E_p)**, para ello se desarrolló una metodología en la que se define una **irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq}** , que permita obtener el valor de la producción eléctrica, considerando los **valores de referencia de los rendimientos del inversor y de las células**, así como superficie útil del panel, medida sobre el plano de inclinación de los paneles. De esa manera resultaba la expresión:

$$E_p \left[\frac{kWh_{e\ inv}}{día} \right] = \eta_{inv\ ref} \left[\frac{kW_{e\ inv}}{kW_{e\ panel}} \right] \cdot \eta_{cél\ ref} \left[\frac{kW_{e\ panel}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq} \left[\frac{kW_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \quad [1]$$

En capítulos anteriores se han propuesto varias correlaciones para calcular la irradiación equivalente. Se han obtenido correlaciones específicas para cada año en cada instalación, correlaciones específicas para el total de años en cada instalación y una correlación, a la que se ha denominado correlación general, que es apta para cualquier año y cualquier instalación.

De todas ellas, esta última ha demostrado predecir razonablemente bien la irradiación equivalente, aún siendo una correlación sencilla que utiliza sólo el parámetro de **irradiación diaria sobre superficie horizontal H_h** , para ello.

7.1 IRRADIACIÓN MEDIA EQUIVALENTE Y PRODUCCIÓN REAL

Se pretende en este capítulo dar el paso de la predicción de la **irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq}** , a la **producción real de una central fotovoltaica E_p** .

Para ello se va a tomar la correlación general calculada, que permite obtener la irradiación equivalente sobre superficie inclinada:

$$H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H_h}$$

Una vez predicha la irradiación equivalente, bastará con tener en cuenta siguientes datos específicos de cada instalación, para poder calcular la producción:

- $\eta_{inv\ ref}$: rendimiento del inversor en condiciones de referencia nominales (constante).
- $\eta_{cél\ ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante).
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación).

Se recogen a continuación dichos datos para cada una de las instalaciones tratadas en este trabajo:

Tabla 16: Parámetros característicos de cada instalación para el cálculo de la producción.

Instalación	$\eta_{\text{(cél ref)}}$	$\eta_{\text{(inv ref)}}$	Superficie útil total (m ²)
Instalación 1	13,50%	96,00%	759,28
Instalación 2	13,50%	96,00%	759,28
Instalación 3	13,70%	96,00%	797,25
Instalación 4	14,30%	96,00%	759,28
Instalación 5	14,30%	96,00%	759,28
Instalación 6	14,30%	96,00%	759,28
Instalación 7	14,74%	94,90%	674,59
Instalación 8	14,74%	94,90%	674,59
Instalación 9	13,87%	94,90%	787,50
Instalación 10	13,70%	94,90%	735,92
Instalación 11	13,70%	94,90%	735,92
Instalación 12	14,80%	94,90%	665,83
Instalación 13	14,80%	94,90%	665,83
Instalación 14	14,29%	94,90%	693,75
Instalación 15	13,70%	94,90%	735,92
Instalación 16	14,65%	94,30%	360,00

Sustituyendo en la fórmula [1], tanto la irradiación equivalente calculada con la correlación general, como los datos característicos de la instalación citados en la tabla anterior, se puede predecir la producción para cualquiera de las 16 instalaciones.

7.2 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN PARA UNA INSTALACIÓN

A modo de ejemplo, se continúa con la instalación 7, que ya ha sido analizada en un capítulo anterior.

Para esta instalación se tiene:

- $\eta_{\text{inv ref}} = 94.90\%$
- $\eta_{\text{cél ref}}: 14.74\%$
- $S_{\text{panel}}: 674.59 \text{ m}^2$

Sustituyendo en la fórmula [1] se tiene obtiene la expresión [2]:

$$E_p \left[\frac{\text{kWh}_{\text{e inv}}}{\text{día}} \right] = 0.949 \left[\frac{\text{kW}_{\text{e inv}}}{\text{kW}_{\text{e panel}}} \right] \cdot 0.1474 \left[\frac{\text{kW}_{\text{e panel}}}{\text{kW}_{\text{rad}}} \right] \cdot (-1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H_h}) \left[\frac{\text{kW}_{\text{rad}}}{\text{m}^2_{\text{panel}} \cdot \text{día}} \right] 674.59 [\text{m}^2] \quad [2]$$

Por lo tanto, ya que se dispone de los datos reales de producción de la instalación proporcionados por la empresa Sermanint HISPANIA, se procede a comparar con la producción real de la instalación.

Si se realiza el análisis para el año 2010 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 17: Producción real y estimada en el año 2010.

2010	Producción real mensual kWh/mes	Producción estimada kWh/mes
Enero	6905,00	6860,31
Febrero	8619,00	8576,25
Marzo	12148,00	11903,05
Abril	15702,00	16047,52
Mayo	16377,00	17802,86
Junio	15667,00	18135,98
Julio	17910,00	20434,02
Agosto	17259,00	19016,11
Septiembre	15073,00	14866,40
Octubre	12990,00	12529,35
Noviembre	8405,00	8307,74
Diciembre	7212,00	7262,83
TOTAL	154267,00	161742,42
Error %	4,85%	

Para poder visualizar mejor la predicción y evitar manejar gran cantidad de datos, se presenta la producción real media acumulada de cada mes y la producción estimada media acumulada de cada mes.

Como se puede observar, si se conocen los rendimientos de célula e inversor, así como la superficie útil del panel, gracias a la correlación general que permitía calcular la irradiación equivalente sobre superficie inclinada, se puede llegar a predecir la producción real de una instalación fotovoltaica.

Graficando los datos anteriores se obtienen:

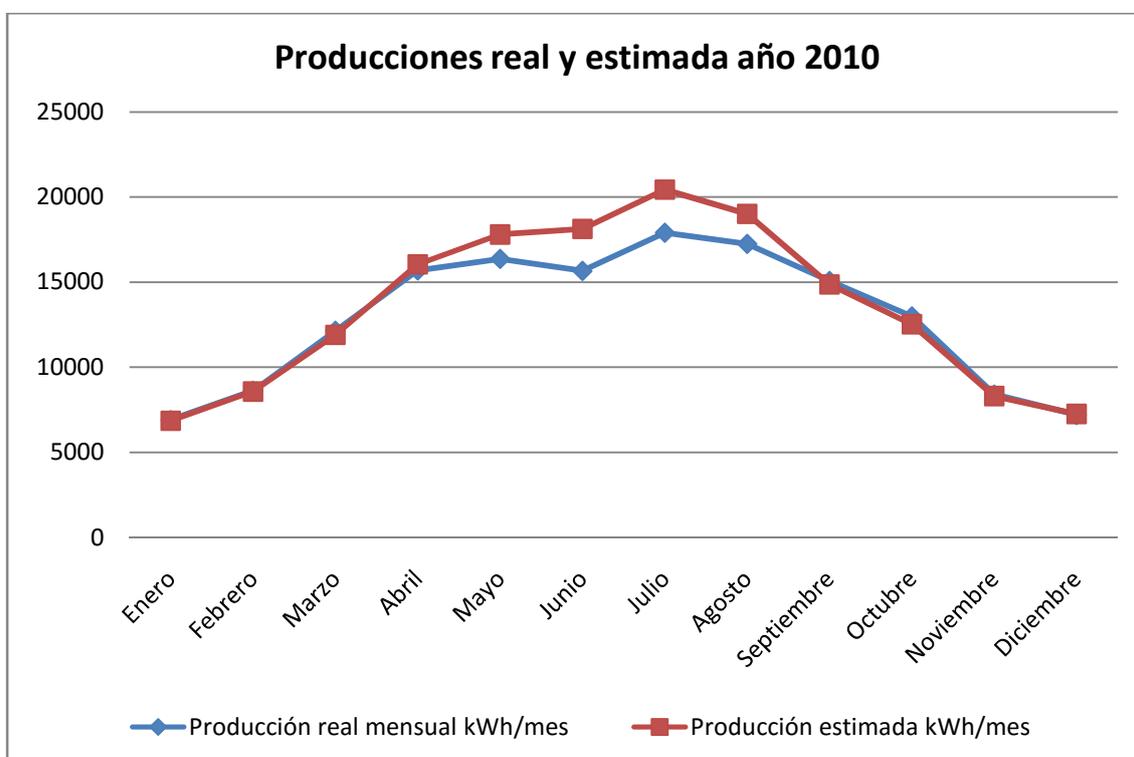


Gráfico 77: Producciones real y estimada año 2010.

Donde se puede observar que los datos menos exactos de predicción se sitúan en los meses centrales del año. De la misma manera que ocurría con la predicción de la irradiación equivalente, se produce una sobreestimación de la producción, como es lógico al ser esta función de la irradiación equivalente.

Para comparar los valores totales anuales, se comparan en la siguiente gráfica tanto el real como el obtenido a partir de la irradiación equivalente.

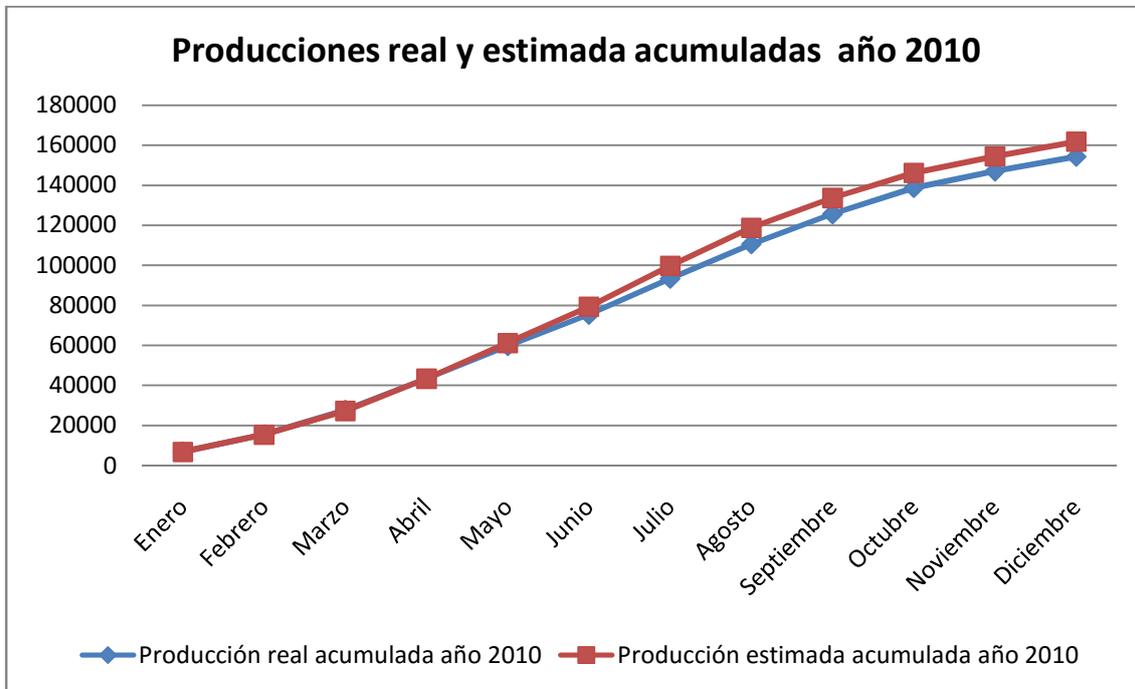


Gráfico 78: Producciones real y estimada acumuladas año 2010.

La diferencia entre los valores acumulados en el año coincide con el resultado del error total de la tabla (4,85%)

De la misma manera se puede proceder con el resto de instalaciones ya que se dispone de:

- $\eta_{inv\ ref}$: rendimiento del inversor en condiciones de referencia nominales (constante).
- $\eta_{cél\ ref}$: rendimiento de las células en condiciones de referencia nominales (constante).
- S_{panel} : superficie útil del panel (con su inclinación).
- H_h : irradiación diaria sobre superficie horizontal.

Cabe destacar que si se quiere una estimación de la producción aún más precisa en una determinada instalación, habría que tomar alguna de las correlaciones específicas o anuales para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} , de la propia instalación.

Para ello ver correlaciones detalladas en el Anexo 1: "Correlaciones anuales para cada instalación para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} ." y Anexo 2: "Correlaciones específicas para cada instalación para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} ."

También se puede aumentar el número de parámetros de predicción (H_h, T_{amb}, V_v, HR) usando las diferentes correlaciones generales resumidas en el Anexo 3: "Correlaciones generales para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} ."

Si se calcula ahora una media de la producción estimada de cada mes, y la media de la producción real de cada mes, las diferencias obtenidas se representan en los siguientes gráficos.

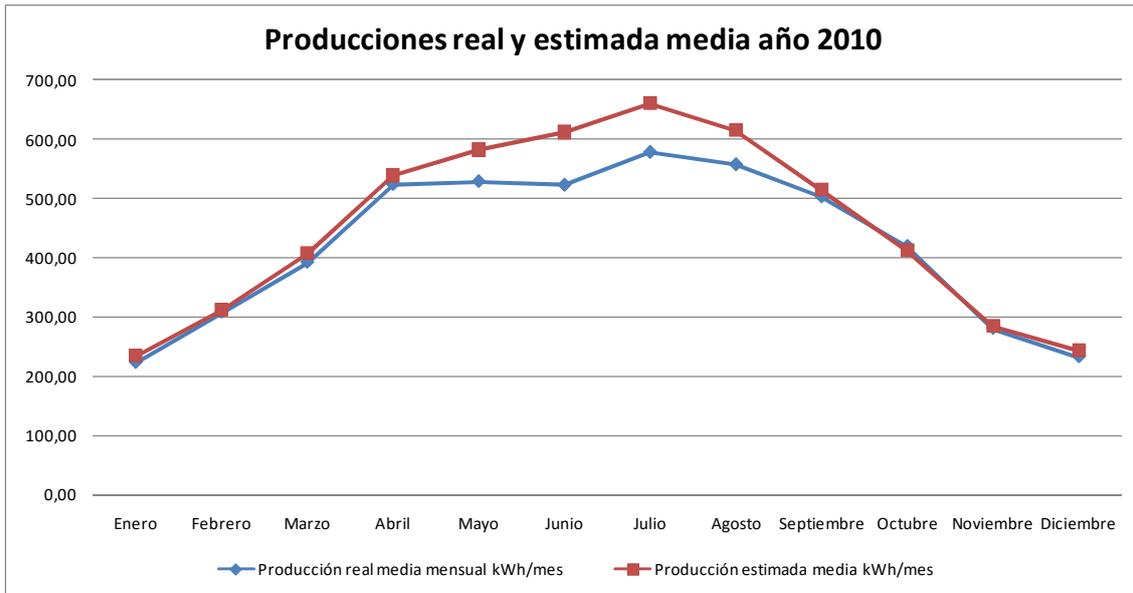


Gráfico 79: Producciones real y estimada media año 2010.

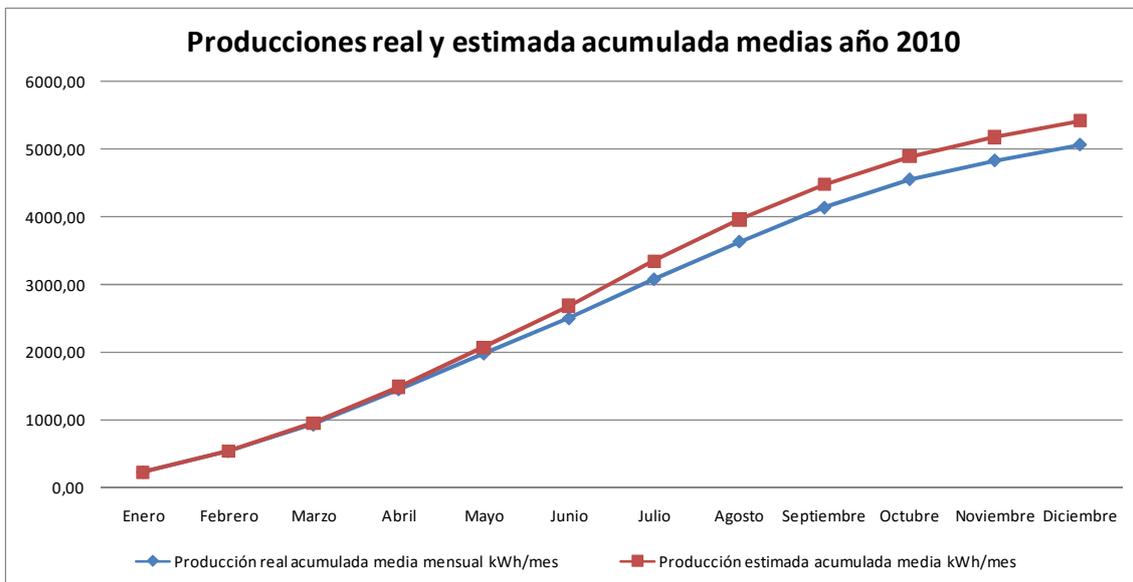


Gráfico 80: Producciones real y estimada acumulada medias año 2010.

Operando de esta forma el error cometido en la estimación tampoco supera el 5%, lo que pone de manifiesto la utilidad de dicha correlación para predecir la producción.

8. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS PARA OTRO TIPO DE INSTALACIONES

8.1 METODOLOGÍA

Se quiere comprobar en este capítulo si la correlación para la predicción de la irradiación de las instalaciones estudiadas hasta ahora, es decir las instalaciones que tienen módulos de silicio policristalino e inclinación de estos respecto a la superficie horizontal de 30° , se puede generalizar para otro tipo de instalaciones con características diferentes a estas.

Para ello se va a aplicar la correlación a dos instalaciones fotovoltaicas, que difieren de las estudiadas en una de las características citadas anteriormente. El objetivo de evaluar dichas características por separado, es ver la importancia que tienen sobre la correlación, evaluando así el error cometido en cada uno de los casos.

A modo de resumen de las instalaciones tomadas como objeto de estudio se presenta la siguiente tabla:

Tabla 18: Características de las instalaciones 17 y 18.

Características	Instalación 17	Instalación 18
Nº módulos	228	476
Superficie módulo (m ²)	1,68	1,25
Rendimiento panel (%)	12,00%	16,90%
Rendimiento inversor (%)	96,80%	94,90%
Tipo de módulos	Policristalino	Monocristalino
Inclinación módulos (°)	20	30

Para ello el procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se interpola el dato meteorológico de la irradiación obtenida del SiAR, para conseguir así la irradiación en el lugar de estudio.
2. Se aplica la correlación general calculada anteriormente y válida para instalaciones con módulos de silicio policristalino e inclinados 30° respecto a la horizontal.
3. Se evalúan los resultados por comparación con la irradiación real equivalente que estima la correlación general.

Dicho procedimiento se fundamenta en datos medios mensuales, para simplificar la cantidad de datos que se tratarían si se operara de forma diaria.

Dado la cantidad de datos de los que se dispone, y al ver anteriormente que el error producido en las instalaciones anteriores, no difería mucho en el tiempo, estudio aquí realizado toma como datos para la comparativa, los comprendidos entre el 01/01/2014 y el 31/12/2014.

8.1.1 Instalación con módulos a 20° y con silicio policristalino

La comparativa de los resultados medios mensuales de irradiación predichos con la correlación general, así como los reales obtenidos a través de la producción real de una instalación cuyos módulos están inclinados 20° y construidos con silicio policristalino se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19: Predicción con la correlación general para la instalación 17.

2014	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]
Enero	1,42	43,89	53,84	64,02
Febrero	2,34	65,52	71,43	86,34
Marzo	4,52	140,14	140,86	151,01
Abril	5,63	168,92	151,44	168,33
Mayo	7,13	220,93	187,23	201,50
Junio	7,56	226,82	183,40	202,20
Julio	7,41	229,79	187,79	206,43
Agosto	6,94	215,25	184,73	198,30
Septiembre	4,95	148,50	141,74	155,02
Octubre	3,61	111,79	119,49	129,91
Noviembre	1,83	54,75	56,93	76,43
Diciembre	1,54	47,73	61,46	68,75
TOTAL	4,57	1674,05	1540,34	1708,24
Error %				10,90%

Graficando la media de irradiaciones de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

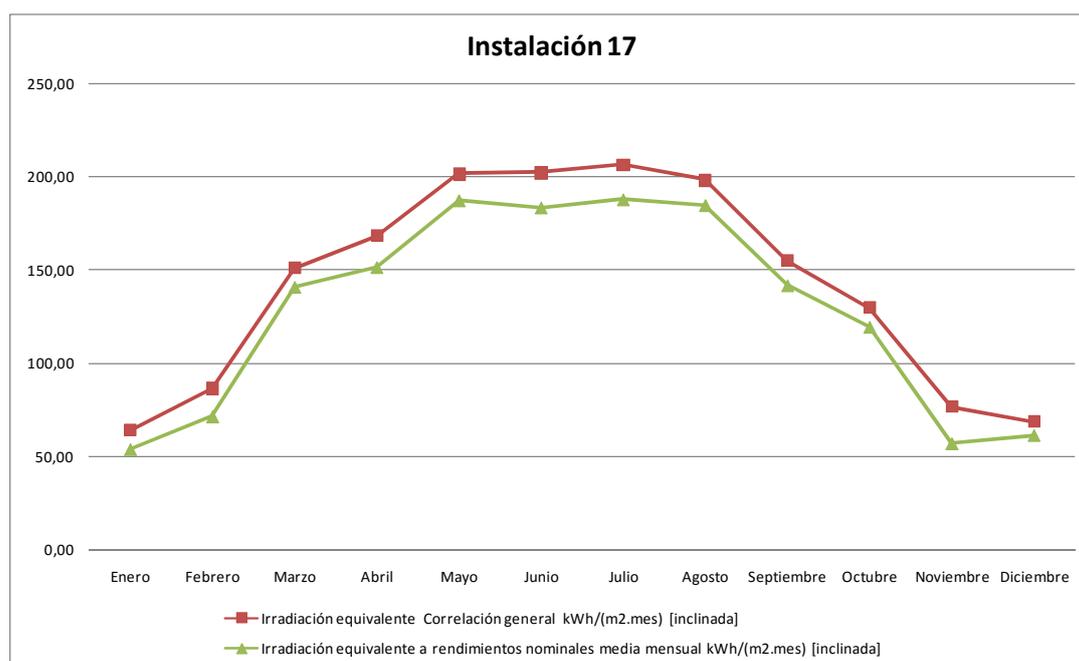
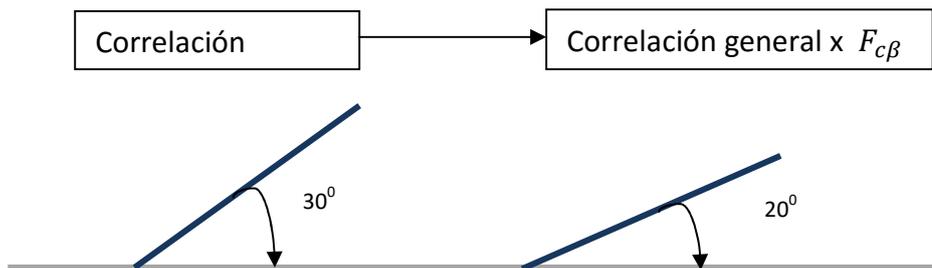


Gráfico 81: Predicción de la irradiación equivalente en la instalación 17 con la correlación general.

Como se puede observar, en este caso el error es mayor que para las instalaciones con inclinación de módulos de 30° , llegando este hasta el +10,90%. De la gráfica se deduce que se produce una sobreestimación de la irradiación.

Surge en este momento la necesidad de preguntarse a que se debe esta sobreestimación constante.

Como se ha dicho el único parámetro que se ha modificado de la instalación 17 al resto de instalaciones, es la inclinación, por lo tanto se va a plantear una relación entre los ángulos de inclinación de cada una de las instalaciones y se va a incluir en la correlación como **factor de corrección adicional** $F_{c\beta}$ para ver si se consigue mejorar la estimación, y de esa manera reducir el error.



El factor de corrección propuesto es el siguiente:

$$F_{c\beta} = \frac{\cos 30^{\circ}}{\cos 20^{\circ}} = 0,9216$$

De tal manera que si se repite el proceso de evaluación los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 20: Predicción con la correlación general para la instalación 17, utilizando el factor de corrección.

2014	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada] * $F_{c\beta}$
Enero	1,42	43,89	53,84	64,02	59,01
Febrero	2,34	65,52	71,43	86,34	79,58
Marzo	4,52	140,14	140,86	151,01	139,18
Abril	5,63	168,92	151,44	168,33	155,14
Mayo	7,13	220,93	187,23	201,50	185,72
Junio	7,56	226,82	183,40	202,20	186,36
Julio	7,41	229,79	187,79	206,43	190,26
Agosto	6,94	215,25	184,73	198,30	182,76
Septiembre	4,95	148,50	141,74	155,02	142,87
Octubre	3,61	111,79	119,49	129,91	119,73
Noviembre	1,83	54,75	56,93	76,43	70,44
Diciembre	1,54	47,73	61,46	68,75	63,37
TOTAL	4,57	1674,05	1540,34	1708,24	1574,42
Error %				10,90%	2,21%

Graficando la media de irradiaciones de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

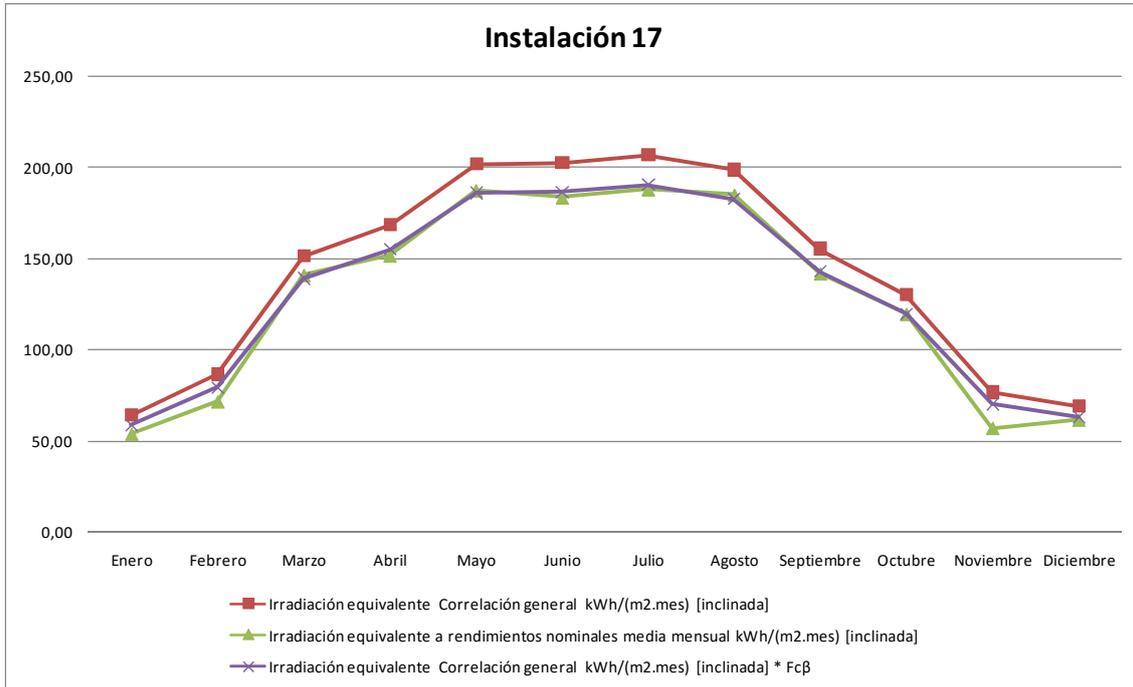


Gráfico 82: Predicción de la irradiación equivalente en la instalación 17 con la correlación general, utilizando el factor de corrección.

Teniendo en cuenta la irradiación acumulada a lo largo del año 2014:

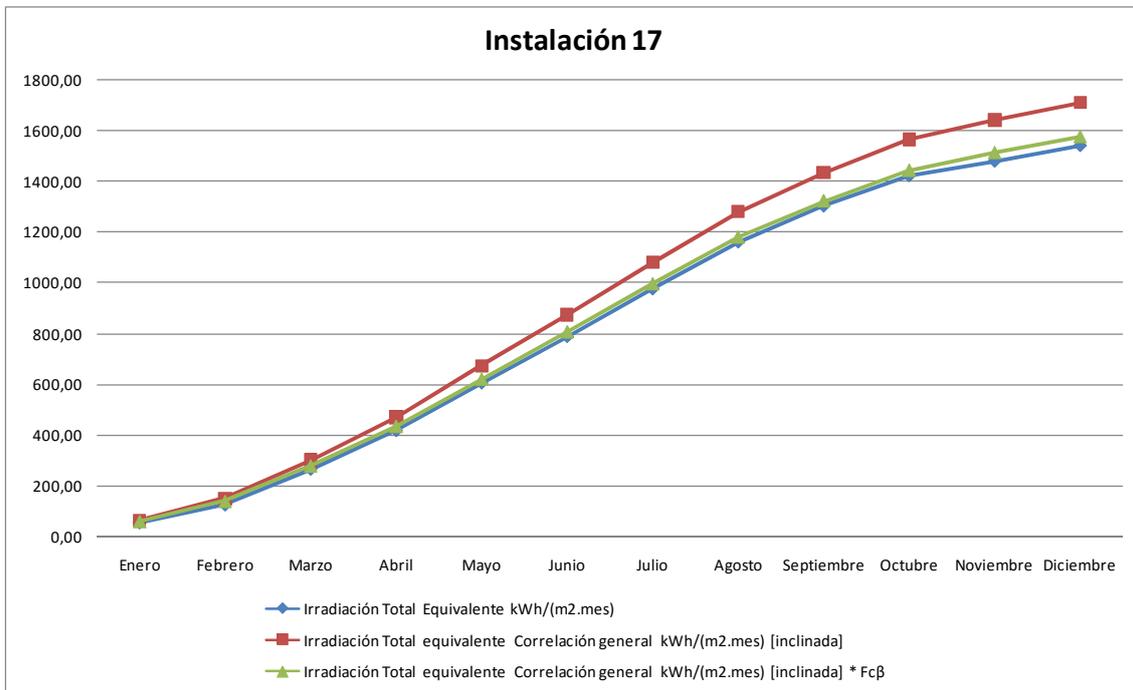


Gráfico 83: Predicción de la irradiación equivalente acumulada en la instalación 17 con la correlación general, utilizando el factor de corrección.

Se puede ver que al introducir el factor $F_{c\beta}$, la estimación mejora considerablemente. Sin embargo al tratarse sólo de una instalación no se puede generalizar el resultado y

decir que para cualquier instalación a diferente inclinación de 30°, aplicando dicho factor se consigan resultados relevantes.

Con el fin de dar validez a este resultado, se plantea continuar el estudio tomando datos de una instalación con diferente inclinación y comprobar que el factor P es extrapolable cuando se trabaja con instalaciones de diferentes inclinaciones a las ya tratadas.

Para ello se va a tomar una instalación cuyos módulos se encuentran inclinados 15° con respecto a la horizontal, dicha instalación se va a nombrar en lo que sigue como instalación 19 y sus características se presentan a continuación:

Tabla 21: Características de la instalación 19.

Características	Instalación 19
Nº módulos	460
Superficie módulo (m ²)	1,34
Rendimiento panel (%)	13,00%
Rendimiento inversor(%)	94,50%
Tipos de módulos	Policristalino
Inclinación módulos (°)	15

Aplicando en este caso el factor P :

$$F_{c\beta} = \frac{\cos 30^\circ}{\cos 15^\circ} = 0,8966$$

Se obtienen los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 22: Predicción con la correlación general para la instalación 19, utilizando el factor de corrección.

2014	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada] * $F_{c\beta}$
Enero	1,41	43,65	37,17	63,71	57,12
Febrero	2,28	63,95	71,43	56,70	50,84
Marzo	4,29	132,92	140,86	120,07	107,65
Abril	5,48	164,45	151,44	134,90	120,95
Mayo	7,13	220,93	187,23	183,42	164,45
Junio	7,71	231,17	183,40	185,74	166,53
Julio	7,44	230,52	187,79	183,77	164,77
Agosto	7,00	216,87	184,73	171,42	153,69
Septiembre	4,93	147,86	141,74	122,60	109,92
Octubre	3,48	107,77	119,49	92,94	83,32
Noviembre	1,74	52,13	56,93	42,50	38,11
Diciembre	1,52	47,08	61,46	41,22	36,96
TOTAL	4,53	1659,30	1523,66	1398,98	1254,29
Error %				-8,18%	-17,68%

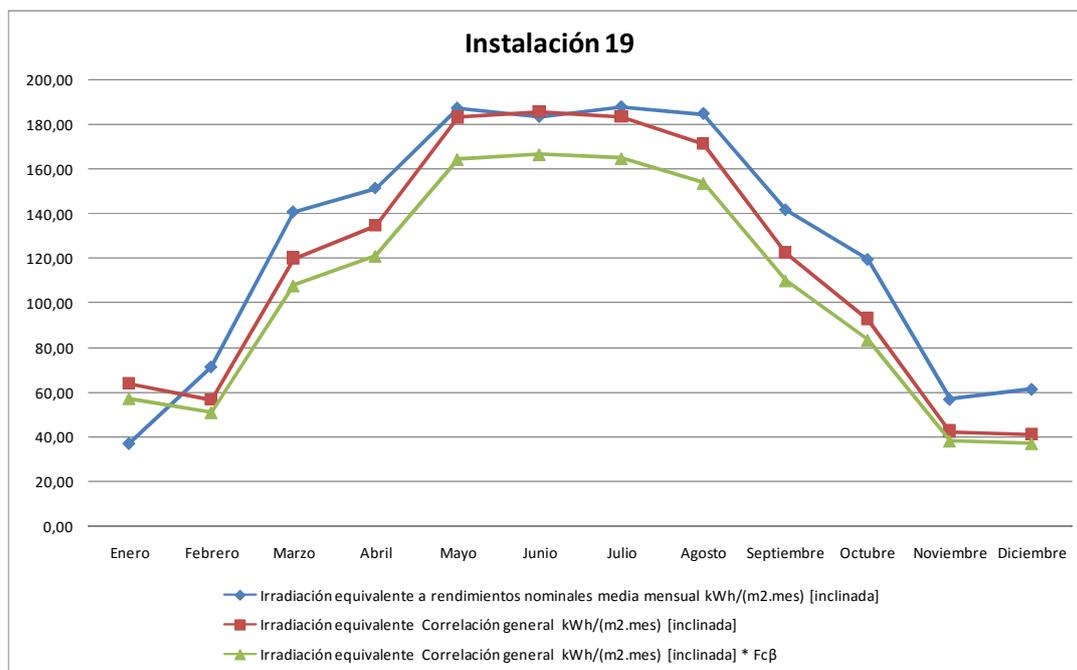
Como se puede observar, el error cometido en la estimación lejos de mejorar, aumenta en valor absoluto entorno al 10%. Esto se puede deber a que dicho factor funciona bien cuando la estimación inicial que se hace con la correlación general es proporciona resultados mayores a los datos reales, y este factor serviría para reducir esta sobreestimación. Considerando siempre instalaciones con ángulos de inclinación

menores de 30° , ya que instalaciones con ángulos de inclinación mayores de 30° quedan fuera del alcance de este trabajo.

Sin embargo cuando la estimación inicial, proporciona resultados menores a los reales, dicho factor sólo hace que reducir aún más la estimación y aumentar el error.

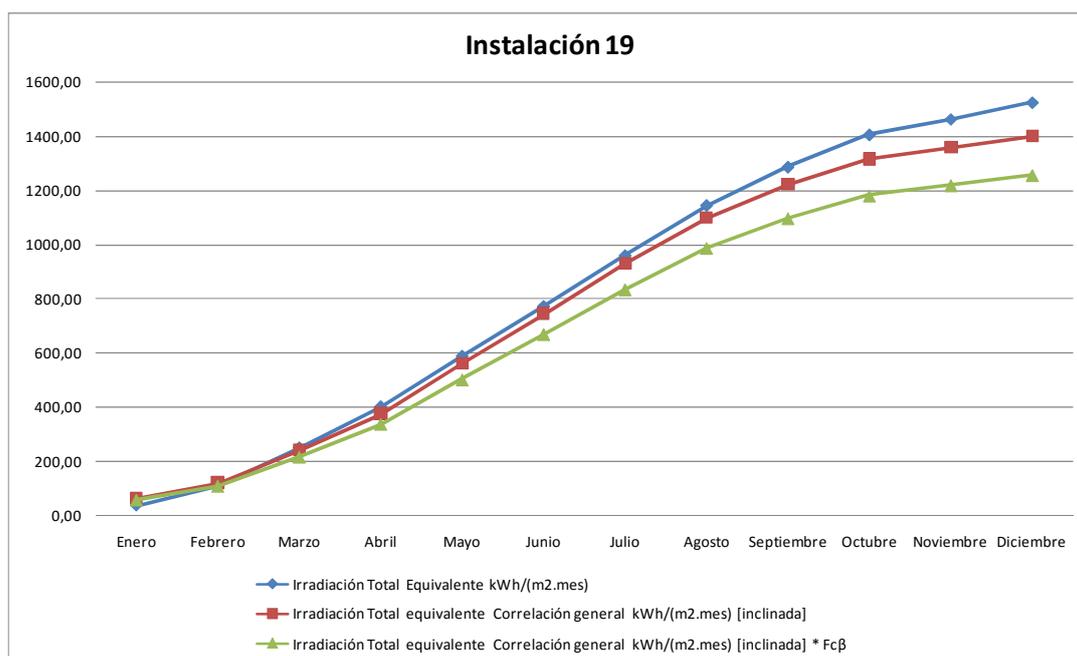
Graficando la media de irradiaciones de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

Tabla 23: Predicción de la irradiación equivalente en la instalación 19 con la correlación general y utilizando el factor de corrección.



Teniendo en cuenta la irradiación acumulada a lo largo del año 2014:

Tabla 24: Predicción de la irradiación equivalente acumulada en la instalación 19 con la correlación general y utilizando el factor de corrección.



8.1.2 Instalación con módulos a 30° y con silicio monocristalino

La comparativa de los resultados medios mensuales de irradiación predichos con la correlación general, así como los reales obtenidos a través de la producción real de una instalación cuyos módulos están inclinados 30° y construidos con silicio monocristalino se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 18, en el año 2014.

2014	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]
Enero	1,45	44,87	59,08	65,24
Febrero	2,35	65,78	76,19	86,60
Marzo	4,36	135,25	143,40	147,54
Abril	5,33	159,83	138,01	162,50
Mayo	7,19	222,83	163,87	202,57
Junio	7,83	234,84	152,59	206,54
Julio	7,41	229,75	137,49	206,41
Agosto	6,97	216,09	123,26	198,77
Septiembre	4,97	149,15	102,47	155,45
Octubre	3,40	105,36	83,88	124,76
Noviembre	1,63	48,85	47,52	69,70
Diciembre	1,49	46,04	59,05	66,69
TOTAL	4,53	1658,65	1286,80	1692,77
Error %				31,55%

Graficando la media de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

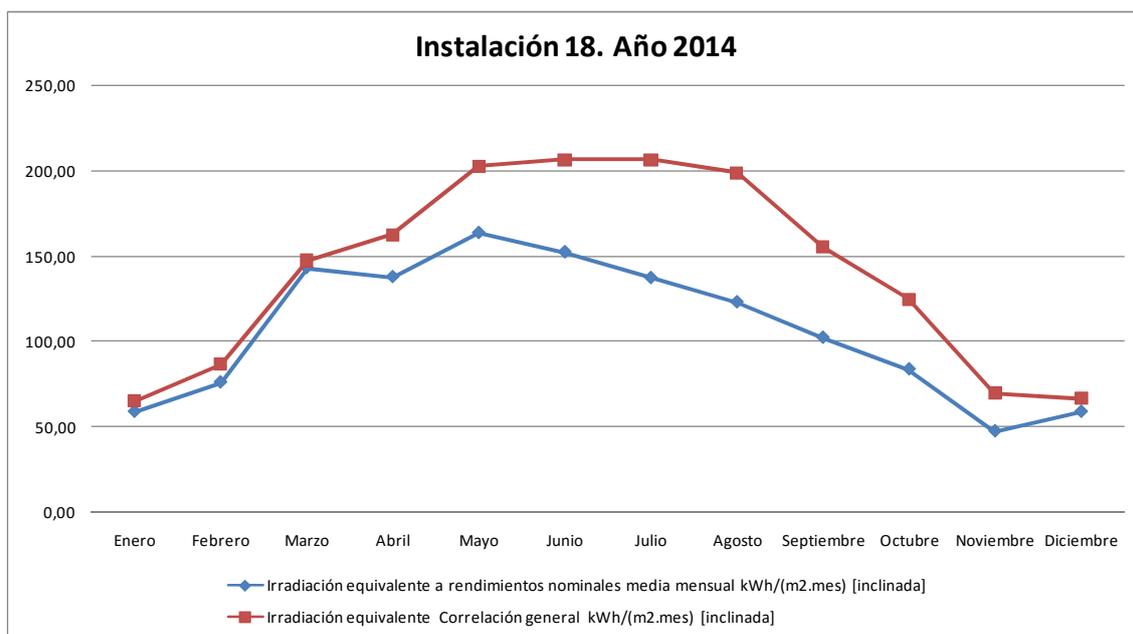


Gráfico 84: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 18, con la correlación general en el año 2014

Teniendo en cuenta la irradiación acumulada a lo largo del año 2014:

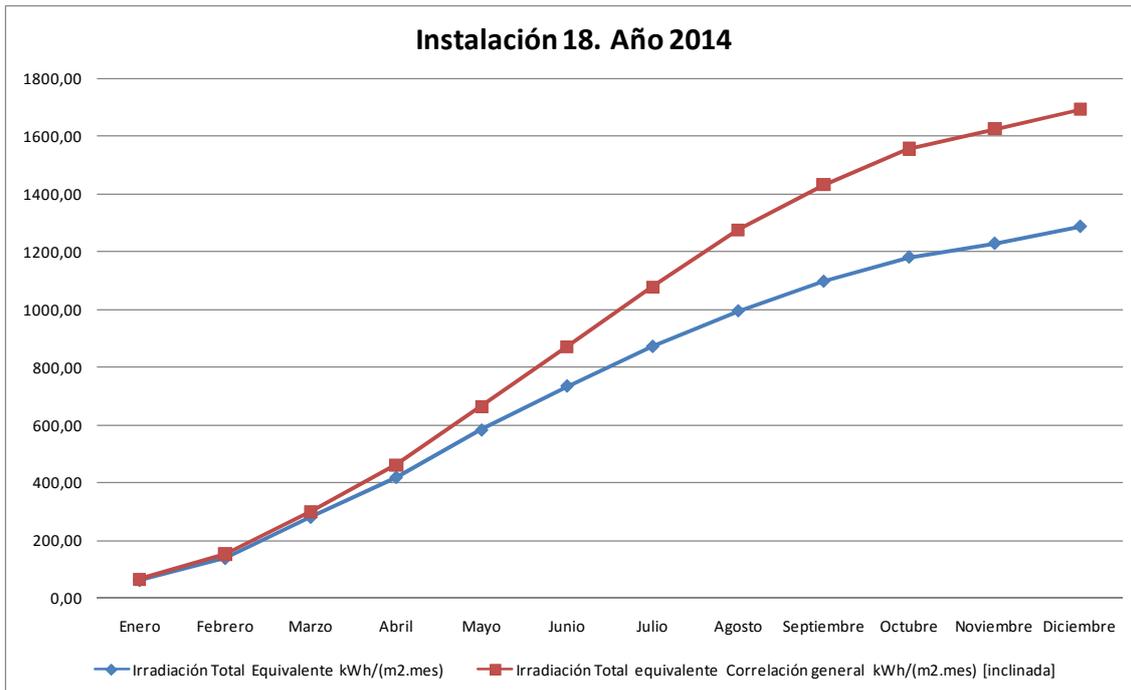


Gráfico 85: Predicción de la irradiación equivalente acumulada de la instalación 18, con la correlación general en el año 2014

Como se puede observar, el error es muy elevado, más del 30%. Puede deberse a que la correlación general obtenida no sea válida para instalaciones de tipo monocristalino, porque la temperatura afecta de forma diferente que en el policristalino, y en la correlación general no se está teniendo en cuenta explícitamente el efecto de la temperatura.

Sin embargo si se examina la gráfica de irradiaciones medias mensuales detenidamente, puede observarse como la irradiación media equivalente a rendimientos nominales, calculada directamente de la producción de dicha instalación mediante los datos proporcionados por la empresa no sigue un patrón lógico.

Se puede observar como en el principio del año la estimación es aceptable, sin embargo a partir del mes de mayo la producción de dicha instalación se reduce notablemente, alcanzando su pico de máxima producción mensual en el mes de mayo.

Examinando la gráfica de irradiaciones acumuladas se ve también como este efecto se incrementa a partir del mes de mayo.

Por lo tanto se puede decir que la instalación 18 durante el año 2014, no está funcionando correctamente, y no será válida para la extrapolación que se está buscando.

Se plantea así un problema que se tratará de resolver mediante:

1. Comprobación de la instalación 18, para otro año diferente del 2014, en este caso 2015, y evaluar que resultados se obtienen.
2. En caso de no proporcionar resultados concluyentes, tomar otra instalación de módulos de silicio monocristalino a una inclinación de 30° en el año 2014.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para la instalación 18 en el año 2015:

Tabla 26: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 18 en el año 2015.

2015	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]
Enero	1,75	54,19	74,98	76,31
Febrero	2,70	75,71	85,93	95,96
Marzo	4,39	136,10	119,00	148,14
Abril	5,09	152,73	108,43	157,84
Mayo	7,31	226,49	113,84	204,60
Junio	7,27	218,03	168,30	197,37
Julio	7,94	246,20	173,97	215,30
Agosto	6,74	209,08	171,66	194,76
Septiembre	5,13	153,77	158,02	158,54
Octubre	3,19	99,02	116,05	119,52
Noviembre	1,85	55,65	83,65	77,43
Diciembre	1,27	39,35	61,00	58,14
TOTAL	4,55	1666,31	1434,84	1703,91
Error %				18,75%

Graficando la media de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

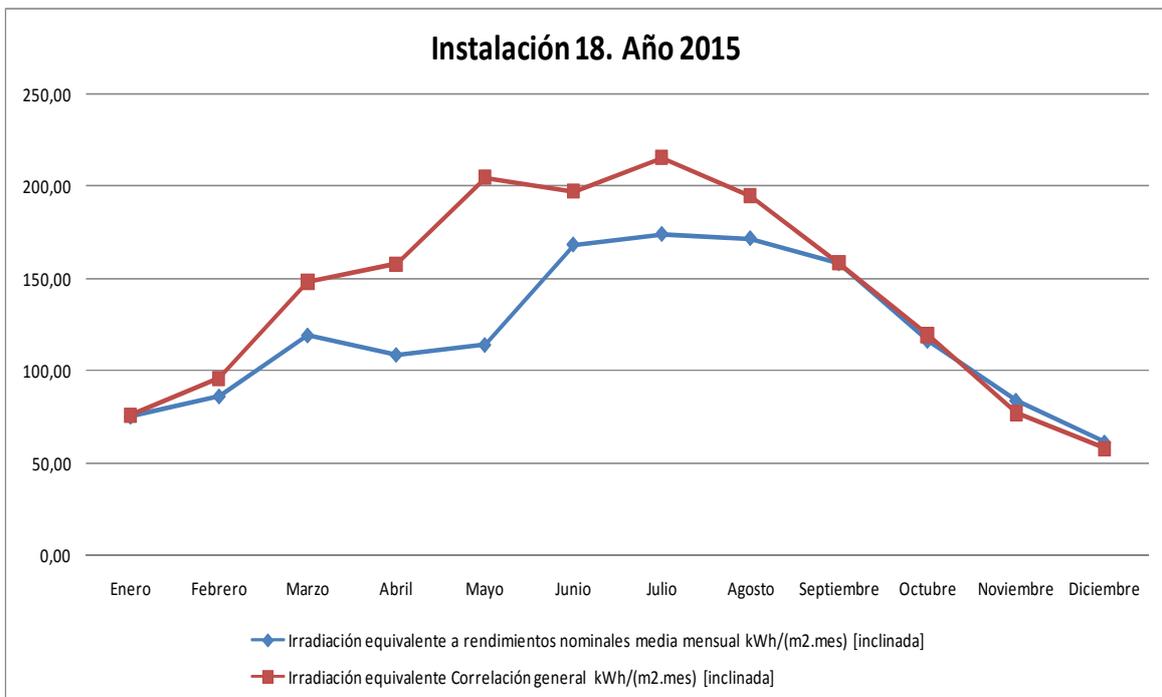


Gráfico 86: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 18, con la correlación general en el año 2015

Teniendo en cuenta la irradiación acumulada a lo largo del año 2014:

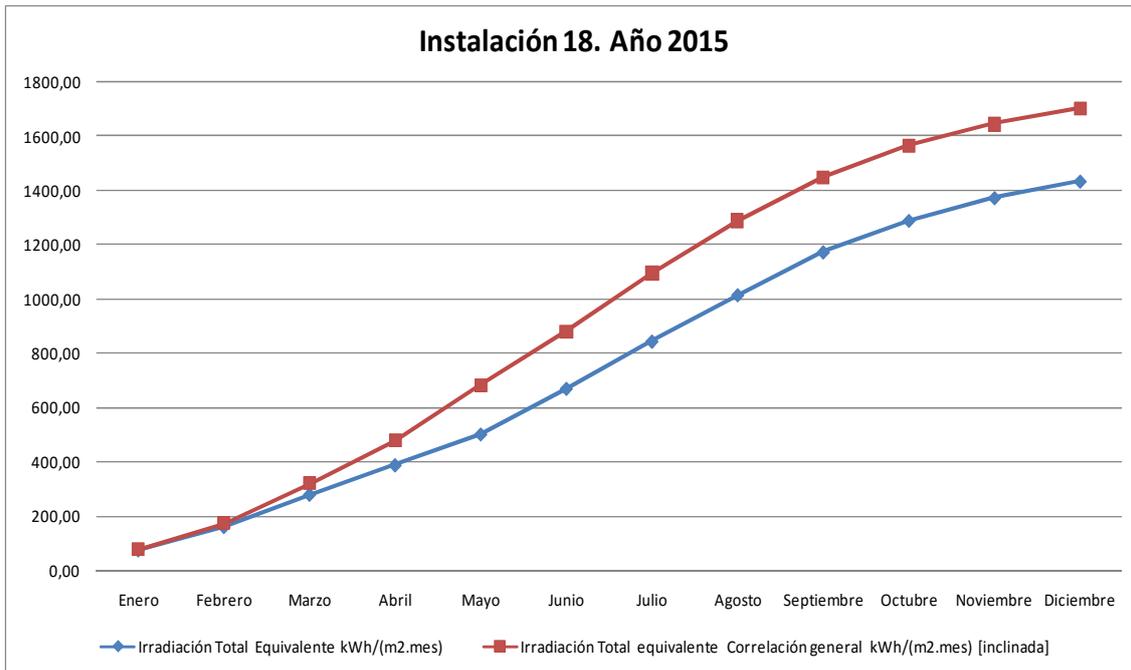


Gráfico 87: Predicción de la irradiación equivalente acumulada de la instalación 18, con la correlación general en el año 2015.

Como se puede observar el error cometido en la estimación para el año 2015 sigue siendo elevado.

Evaluando detenidamente el comportamiento de la instalación a lo largo del año, la irradiación media mensual se comporta de forma totalmente diferente para el año 2015 en comparación con el 2014.

De esta manera se obtienen las irradiaciones más elevadas en los meses de junio, julio y agosto, como es de esperar, sin embargo dado el irregular comportamiento de esta instalación a lo largo del tiempo, no se puede concluir nada de este resultado.

Por lo tanto como se propuso anteriormente, se procede a tomar otra instalación con módulos de silicio monocristalino, manteniendo la inclinación de 30° respecto a la superficie horizontal, dicha instalación será nombrada como instalación 20 y sus características se encuentran resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 27: Características de la instalación 20.

Características	Instalación 20
Nº módulos	624
Superficie módulo (m ²)	1,30
Rendimiento panel (%)	13,50%
Rendimiento inversor(%)	95,50%
Tipos de módulos	Monocristalino
Inclinación módulos (°)	30

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para la instalación 20 en el año 2014:

Tabla 28: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 20, en el año 2014.

2014	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación SIAR interpolada media mensual kWh/(m ² .mes) [horizontal]	Irradiación equivalente a rendimientos nominales media mensual kWh/(m ² .mes) [inclinada]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .mes) [inclinada]
Enero	1,41	43,65	58,44	63,71
Febrero	2,28	63,95	81,65	84,79
Marzo	4,29	132,92	156,34	145,86
Abril	5,48	164,45	158,85	165,48
Mayo	7,13	220,93	195,91	201,50
Junio	7,71	231,17	187,46	204,56
Julio	7,44	230,52	187,99	206,83
Agosto	7,00	216,87	194,72	199,21
Septiembre	4,93	147,86	158,84	154,59
Octubre	3,48	107,77	138,98	126,70
Noviembre	1,74	52,13	66,22	73,50
Diciembre	1,52	47,08	76,42	67,96
TOTAL	4,53	1659,30	1661,82	1694,70
Error %				1,98%

Graficando la media de cada mes para cada uno de los dos casos se tiene:

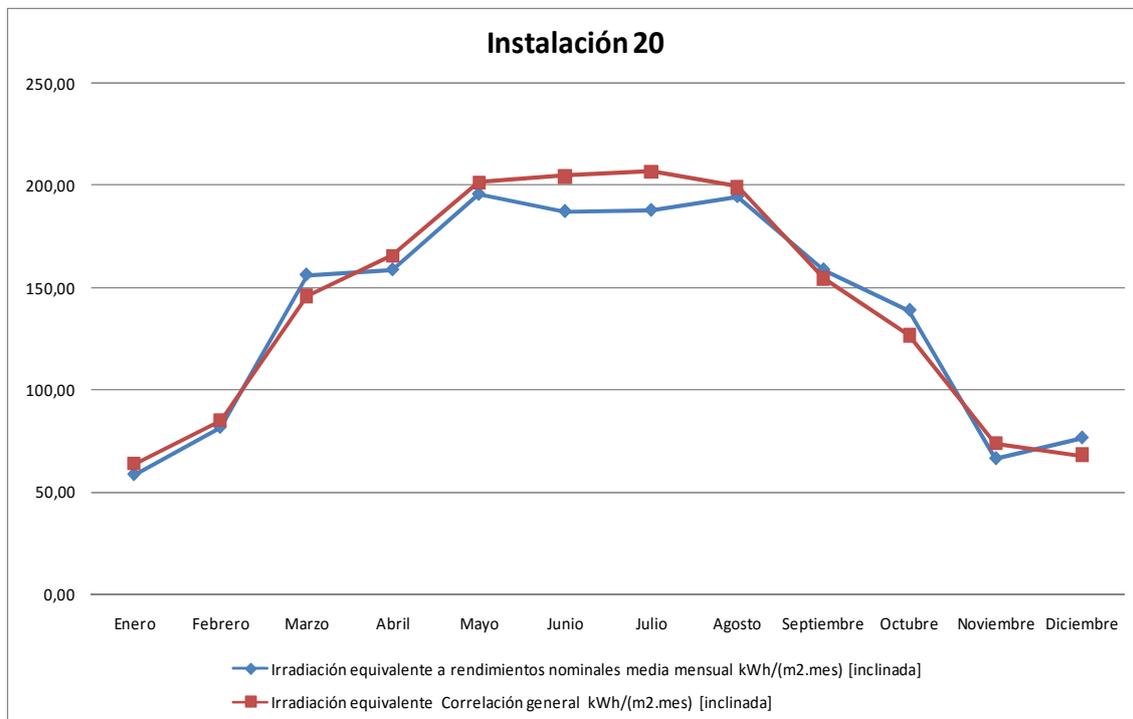


Gráfico 88: Predicción de la irradiación equivalente de la instalación 20, con la correlación general en el año 2014.

Teniendo en cuenta la irradiación acumulada a lo largo del año 2014:

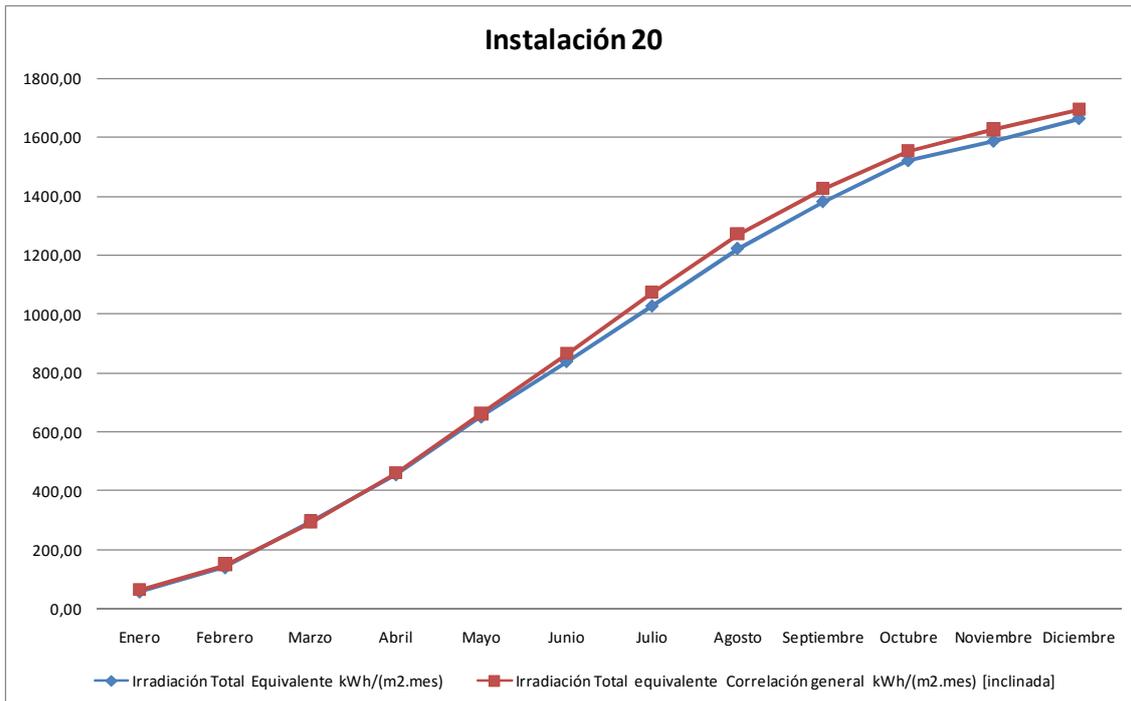


Gráfico 89: Predicción de la irradiación equivalente acumulada de la instalación 20, con la correlación general en el año 2014.

Como se puede observar el comportamiento de la instalación 20, sigue el patrón esperado y la estimación proporcionada por la correlación general se ajusta adecuadamente a los datos reales, llegando a obtener un error del 2%, inferior incluso a los calculados para las instalaciones de silicio policristalino.

8.2 CONCLUSIONES

Se puede concluir de este capítulo lo siguiente:

Instalaciones con módulos de silicio policristalino e inclinaciones diferentes de 30°

Para instalaciones con módulos de silicio policristalino a inclinaciones diferentes de 30°, el error cometido al utilizar la correlación general se sitúa en torno al 10%. Este error se debe a que el efecto de la inclinación no está explícitamente contemplado en las expresiones analíticas y por ello dicho efecto se enmascara en la correlación. Igualmente, no se considera explícitamente otras variables de diseño como la separación entre filas de paneles en la instalación. Al corregir la correlación con un coeficiente que se calcula como la relación entre los cosenos de los ángulos de inclinación (30° que la referencia de la correlación y el ángulo de los paneles en otros casos), se han obtenido resultados que no son concluyentes, puesto que resulta adecuado para pasar de 30° a 20° (reduciendo el valor de la irradiación equivalente), pero no para llegar a 15° (cuyo valor de la irradiación equivalente ya resulta menor).

Así pues, los efectos no considerados explícitamente en las correlaciones de irradiación equivalente tienen un efecto importante que dificulta la extrapolación a instalaciones muy diferentes. Podría usarse la correlación general para este tipo de instalaciones a

falta de otro método más preciso, y como método para obtener una aproximación inicial, ya que el error cometido no es excesivamente grande.

Instalaciones con módulos de silicio monocristalino e inclinaciones de 30⁰

Para instalaciones con módulos de silicio monocristalino e inclinaciones de 30⁰, se ha podido demostrar que los resultados obtenidos mediante el uso de la correlación general, son satisfactorios, teniendo en cuenta que una de las instalaciones ha tenido que ser excluida del estudio por proporcionar datos reales de irradiación no coherentes.

De las conclusiones anteriores se puede obtener que el resultado que más afecta a la bondad de estimación de la correlación general es el cambio de inclinación, por lo que para obtener buenos resultados de estimación se recomienda su utilización en instalaciones cuyos módulos estén configurados a 30⁰ respecto a la horizontal, y sean estos tanto de silicio monocristalino como policristalino.

9. INFLUENCIA DE PARÁMETROS EN LA ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN EQUIVALENTE.

9.1 INFLUENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

A lo largo del trabajo se ha observado la influencia que tiene el dato de irradiación horizontal, para poder así predecir la irradiación equivalente. La correlación general como se ha visto se fundamenta únicamente en la irradiación horizontal.

Con el fin de dar más validez a dicha correlación, se pretende desarrollar en este capítulo un análisis de cómo influye cada uno de los parámetros considerados al inicio (H_h, T_{amb}, V_v, HR) en la estimación de la irradiación equivalente.

Para ello se va a desarrollar un ejemplo teórico:

Evaluando con detenimiento las irradiaciones medias diarias sobre superficie horizontal medidas en kWh/(m²·d), obtenidas de la base de datos del SiAR, se puede observar que todas se encuentran entre 0 kWh/(m²·d) y 10 kWh/(m²·d).

Se va a construir así una tabla y su correspondiente gráfica, en la que se van a dar valores en el rango anterior, en intervalos de 0,5 kWh/(m²·d), y se va a calcular la irradiación equivalente estimada, con la correlación general:

$$H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H_h}$$

Tabla 29: Irradiación equivalente estimada.

Irradiación media diaria kWh/(m ² ·d) [horizontal]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² ·d) [inclinada]
0,0	-1,56
0,5	0,49
1,0	1,34
1,5	2,00
2,0	2,55
2,5	3,03
3,0	3,47
3,5	3,87
4,0	4,25
4,5	4,60
5,0	4,94
5,5	5,25
6,0	5,56
6,5	5,85
7,0	6,13
7,5	6,40
8,0	6,66
8,5	6,91
9,0	7,16
9,5	7,40
10,0	7,63

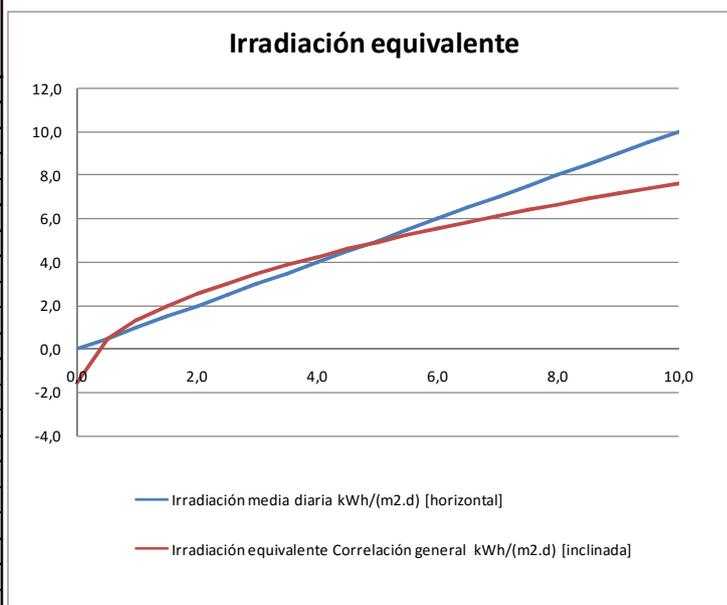


Gráfico 90: Irradiación equivalente estimada

El gráfico anterior será la referencia para evaluar los cambios que se producen al utilizar correlaciones diferentes de la general, con otros parámetros involucrados.

Lógicamente, el valor negativo de la irradiación equivalente para un valor nulo de la irradiación horizontal no tiene sentido físico, si bien es el valor que proporciona la correlación encontrada. En la práctica los valores mínimos de la irradiación media diaria son superiores a 0,7 kWh/(m².d).

9.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA

Para evaluar la influencia de la variable **Temperatura media diaria**, se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. Se elige una de las correlaciones en las que está involucrado el valor de la temperatura media diaria.

$$H_{eq} = A + B \cdot T_d + C \cdot \sqrt{H}$$

$$H_{eq} = 14.8991 - 0.0616 \cdot T_d + 3.4345 \cdot \sqrt{H} \quad [\text{Correlación 2}]$$

2. Se procede a calcular las estimaciones de irradiación equivalente, dando unos **valores constantes para la variable temperatura** y los datos de irradiación media diaria sobre superficie horizontal tomados anteriormente.
3. Se recalcula la estimación con la misma correlación pero esta vez dando **valores variables de temperatura media diaria** en el intervalo 270K-290K. De esta manera se podrá evaluar cuánto varía la estimación con el efecto de variación de temperatura media diaria, que en general será creciente con el valor de la irradiación diaria.

El procedimiento anterior da como resultado la siguiente tabla de valores:

Tabla 30: Influencia de la temperatura media diaria.

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .d) [inclinada]	Temperatura media diaria (K)	Irradiación equivalente Correlación 2 con T ^o =cte kWh/(m ² .d) [inclinada]	Temperatura media diaria (K)	Irradiación equivalente Correlación 2 con ΔT ^o kWh/(m ² .d) [inclinada]
0,0	-1,56	270	-1,73	270	-1,73
0,5	0,49	270	0,70	271	0,64
1,0	1,34	270	1,71	272	1,58
1,5	2,00	270	2,48	273	2,29
2,0	2,55	270	3,13	274	2,88
2,5	3,03	270	3,70	275	3,39
3,0	3,47	270	4,22	276	3,85
3,5	3,87	270	4,70	277	4,26
4,0	4,25	270	5,14	278	4,65
4,5	4,60	270	5,56	279	5,00
5,0	4,94	270	5,95	280	5,33
5,5	5,25	270	6,33	281	5,65
6,0	5,56	270	6,68	282	5,94
6,5	5,85	270	7,03	283	6,23
7,0	6,13	270	7,36	284	6,50
7,5	6,40	270	7,68	285	6,75
8,0	6,66	270	7,98	286	7,00
8,5	6,91	270	8,28	287	7,24
9,0	7,16	270	8,57	288	7,47
9,5	7,40	270	8,86	289	7,69
10,0	7,63	270	9,13	290	7,90

Si se grafican los resultados de las diferentes estimaciones se obtiene lo siguiente:

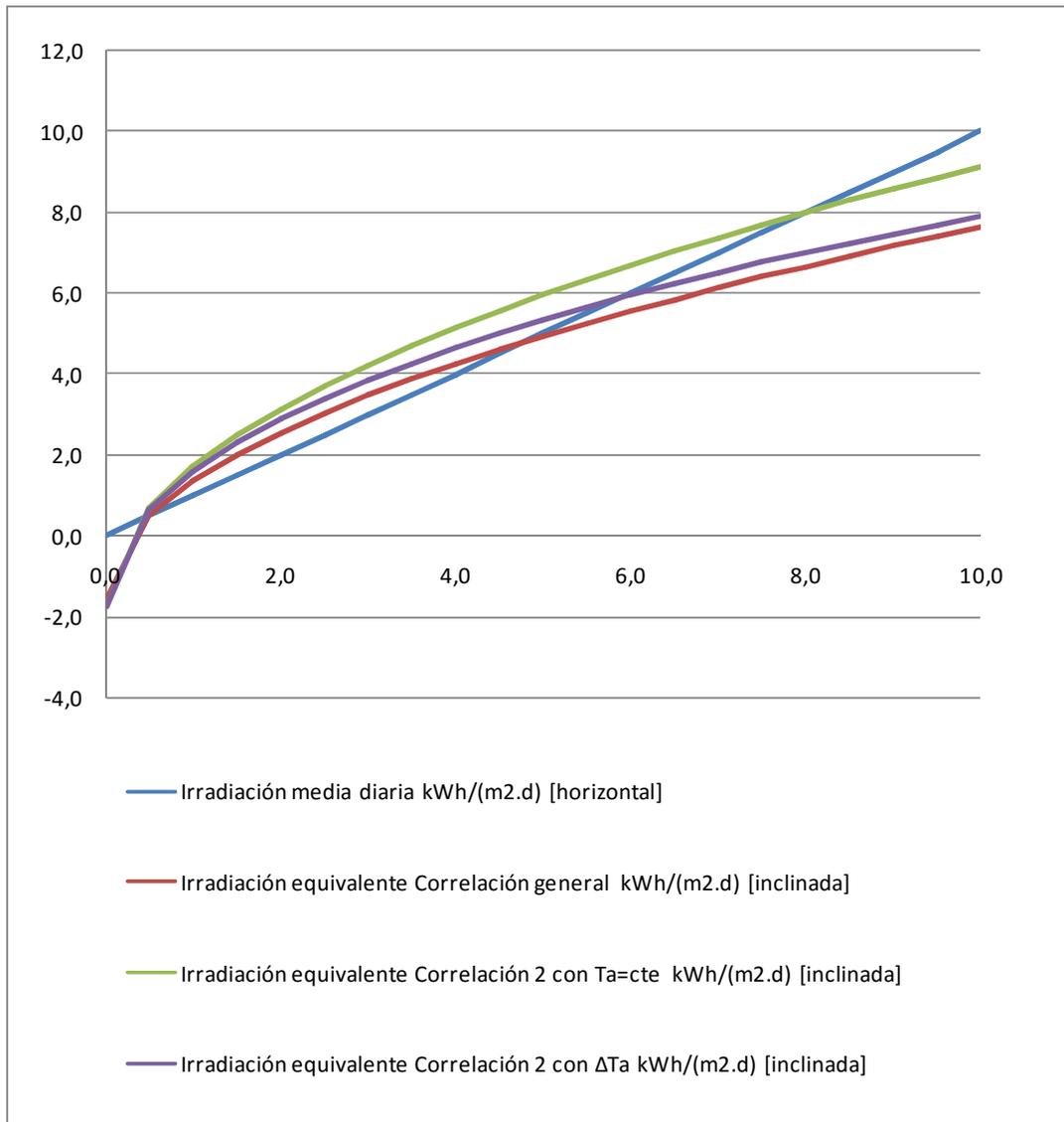


Gráfico 91: Influencia de la temperatura media diaria.

Como se puede observar en la gráfica, la estimación de la irradiación equivalente considerando la variable temperatura media diaria variable en el intervalo 270K-290K (línea morada) reproduce aproximadamente los valores de la correlación que tiene en cuenta sólo la raíz cuadrada de la irradiación horizontal. Es decir, la correlación basada en la raíz cuadrada de la irradiación, que es evidentemente no lineal, permite reproducir un **comportamiento no lineal de la irradiación equivalente** (sobre superficie inclinada) respecto de la irradiación media diaria (sobre superficie horizontal).

Este comportamiento no lineal se puede explicar por el efecto de **reducción del rendimiento** y de la potencia del panel **al aumentar la temperatura del mismo**. Como la temperatura del panel depende linealmente de la temperatura ambiente y de la irradiancia, cuando éstas crecen simultáneamente, el rendimiento decrece hasta valores de prácticamente 0,75 veces el nominal (si bien también aumenta respecto al nominal para temperaturas ambiente bajas combinadas con bajo valores de la irradiancia), como se puede ver en la tabla siguiente:

Tabla 31: Irradiación media diaria corregida por temperatura.

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Temperatura media diaria (K)	Irradiancia (kW/m ²)	Temperatura del panel (K)	Factor de reducción del Rendimiento por temperatura	Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal] Corregida por temperatura
0,0	270	0	270,0	1,11	0,00
0,5	272	50	273,3	1,09	0,55
1,0	274	100	276,5	1,08	1,08
1,5	276	150	279,8	1,06	1,59
2,0	278	200	283,0	1,05	2,09
2,5	280	250	286,3	1,03	2,58
3,0	282	300	289,5	1,02	3,05
3,5	284	350	292,8	1,00	3,50
4,0	286	400	296,0	0,99	3,94
4,5	288	450	299,3	0,97	4,37
5,0	290	500	302,5	0,96	4,78
5,5	292	550	305,8	0,94	5,17
6,0	294	600	309,0	0,92	5,55
6,5	296	650	312,3	0,91	5,91
7,0	298	700	315,5	0,89	6,26
7,5	300	750	318,8	0,88	6,59
8,0	302	800	322,0	0,86	6,91
8,5	304	850	325,3	0,85	7,21
9,0	306	900	328,5	0,83	7,50
9,5	308	950	331,8	0,82	7,77
10,0	310	1000	335,0	0,80	8,03

En la tabla, se ha considerado que la temperatura media diaria crece con la irradiación media, desde un valor de 270 K (-3°C) hasta un valor de 310 K (37°C). Al mismo tiempo, la temperatura del panel crece desde 270 K hasta 335 K, de acuerdo con la expresión que se ve a continuación, modificando el rendimiento del panel. Se ha tomado la siguiente expresión de **efecto de la temperatura del panel sobre su rendimiento**:

$$\eta(T) = \eta_o(T_o)[1 - \gamma_T \cdot (T_p - T_o)]$$

Donde η_o es el **rendimiento del panel** a una determinada **temperatura de referencia T_o** , que viene dado por el fabricante, γ_T es el **coeficiente de disminución de rendimiento** (y potencia) con la temperatura, también dado por el fabricante (ejemplo: $\gamma_T = 0,0047 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), y T_p es la **temperatura del panel**. Esta temperatura del panel se puede aproximar a través de la temperatura ambiente T_a y de la radiación incidente en el modulo I en W/m^2 según la expresión:

$$T_p = T_a + \frac{T_{ONC} - 20}{800} \cdot I \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Donde T_{ONC} es la temperatura de operación nominal de los módulos, suministrada por el fabricante. Por ejemplo: $T_{ONC} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ para temperatura ambiente 20°C y $800\text{W}/\text{m}^2$.

Si se representan los valores anteriores, se obtiene:

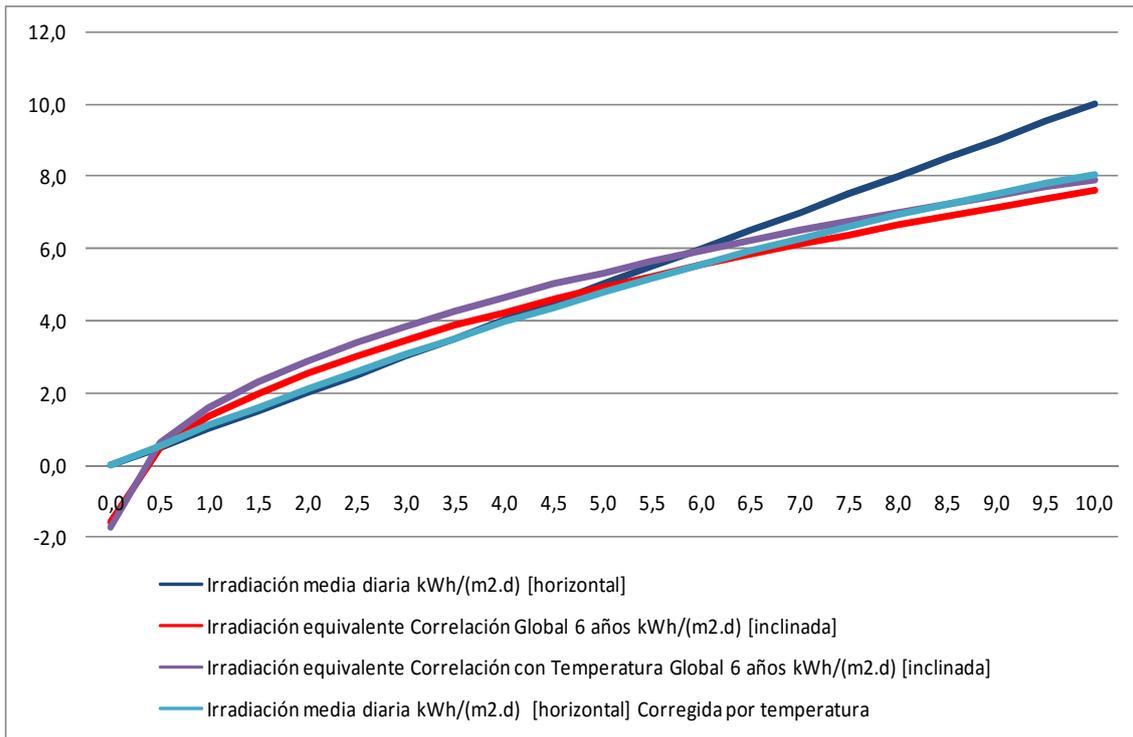


Gráfico 92: Estimaciones teniendo en cuenta el factor de reducción de rendimiento por temperatura.

Dicho resultado confirma que, al elegir la correlación general que no tiene en cuenta el efecto de la temperatura media diaria, no se está cometiendo un error elevado, dado que el efecto de reducción del rendimiento por aumento de la temperatura del panel está implícitamente considerado a través de la raíz cuadrada de la irradiación diaria. Si se quiere una estimación más precisa se puede recurrir a considerar dicha temperatura media diaria, aunque para ello es necesario obviamente conocer sus valores.

9.3 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD MEDIA DIARIA

Para evaluar la influencia de la variable **Humedad media diaria**, se va a seguir el mismo procedimiento que para la temperatura.

En este caso la correlación a usar va a ser la siguiente, dado que no se dispone de una correlación basada únicamente en la humedad y la irradiación:

$$H_{eq} = 29.7417 - 0.0928 \cdot T_d - 0.0288 \cdot W_a - 0.1051 \cdot V_v + 0.7692 \cdot H \text{ [Correlación 3]}$$

En primer lugar se considera un valor constante de la humedad media diaria del 75%, y en segundo lugar se consideran valores variables en el intervalo de humedades medias 50%-100%. Los valores de las variables de temperatura media diaria y velocidad del viento se fijan en 280K y 5m/s respectivamente para de esta manera poder observar de manera aislada la influencia de la humedad:

Tabla 32: Influencia de la humedad media diaria.

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .d)[inclinada]	Humedad media diaria (%)	Irradiación equivalente Correlación 3 con Humedad(%)=cte kWh/(m ² .d) [inclinada]	Humedad media diaria (%)	Irradiación equivalente Correlación 3 con ΔHumedad(%) kWh/(m ² .d) [inclinada]
0,0	-1,56	75	1,08	50	1,80
0,5	0,49	75	1,46	52,5	2,11
1,0	1,34	75	1,84	55	2,42
1,5	2,00	75	2,23	57,5	2,73
2,0	2,55	75	2,61	60	3,05
2,5	3,03	75	3,00	62,5	3,36
3,0	3,47	75	3,38	65	3,67
3,5	3,87	75	3,77	67,5	3,98
4,0	4,25	75	4,15	70	4,30
4,5	4,60	75	4,54	72,5	4,61
5,0	4,94	75	4,92	75	4,92
5,5	5,25	75	5,31	77,5	5,23
6,0	5,56	75	5,69	80	5,55
6,5	5,85	75	6,08	82,5	5,86
7,0	6,13	75	6,46	85	6,17
7,5	6,40	75	6,84	87,5	6,48
8,0	6,66	75	7,23	90	6,80
8,5	6,91	75	7,61	92,5	7,11
9,0	7,16	75	8,00	95	7,42
9,5	7,40	75	8,38	97,5	7,74
10,0	7,63	75	8,77	100	8,05

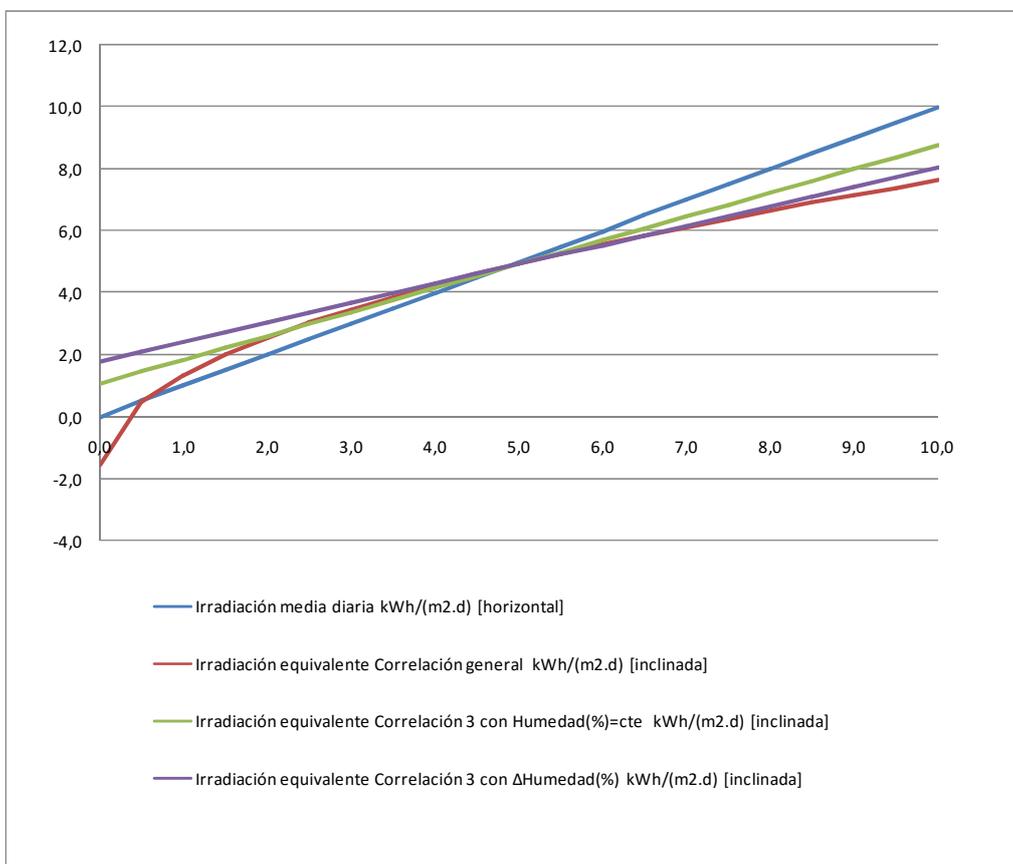


Gráfico 93: Influencia de la humedad media diaria.

Se puede ver que la influencia de la humedad relativa media diaria es mucho menor que la de la temperatura media diaria. Para analizar con más detalle este efecto, y dado que no tienen por qué coincidir valores altos de la humedad relativa con valores altos de la irradiancia, se ha considerado en la siguiente gráfica varios **valores de la humedad relativa** independientemente de la irradianción.

Tabla 33: Influencia de la humedad media diaria II

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Humedad media diaria	Irradiación equivalente Correlación 3 con ΔHumedad(%)
5,0	50	5,64
5,0	60	5,35
5,0	70	5,07
5,0	80	4,78
5,0	90	4,49
5,0	100	4,20

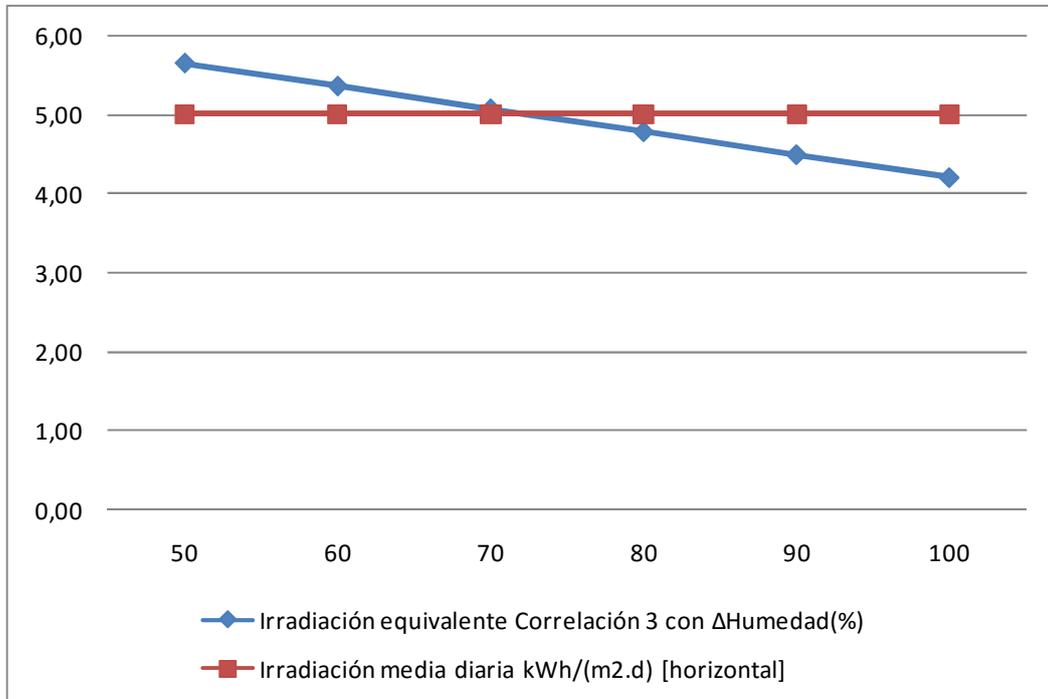


Gráfico 94: Influencia de la humedad media diaria II

Como se puede observar el efecto de que la humedad media diaria tenga el valor mínimo considerado (50%) o el valor máximo (100%) supone un aumento del 13% o una reducción del 16% respectivamente sobre la irradiación equivalente diaria, en las condiciones de referencia consideradas. Este efecto es prácticamente lineal respecto a un valor de humedad media del 73%, con una interpretación física adecuada, ya que una mayor humedad supone menor irradiación equivalente a efectos de la producción fotovoltaica.

9.4 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO

Se va a utilizar para evaluar la influencia de la **velocidad media del viento** la misma correlación que se usó para evaluar la influencia de la humedad, manteniendo ahora constantes los valores de humedad en 80% y temperatura en 280K.

Y como intervalo variable de velocidad del viento en media diaria se establece 0m/s-6m/s.

Tabla 34: Influencia de la velocidad media del viento.

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Irradiación equivalente Correlación general kWh/(m ² .d) [inclinada]	Velocidad viento media diaria (m/s)	Irradiación equivalente Correlación 3 con Velocidad viento=cte kWh/(m ² .d) [inclinada]	Velocidad viento media diaria (m/s)	Irradiación equivalente Correlación 3 con ΔVelocidad viento kWh/(m ² .d) [inclinada]
0,0	-1,56	3	1,14	0	1,46
0,5	0,49	3	1,53	0,3	1,81
1,0	1,34	3	1,91	0,6	2,16
1,5	2,00	3	2,30	0,9	2,52
2,0	2,55	3	2,68	1,2	2,87
2,5	3,03	3	3,06	1,5	3,22
3,0	3,47	3	3,45	1,8	3,58
3,5	3,87	3	3,83	2,1	3,93
4,0	4,25	3	4,22	2,4	4,28
4,5	4,60	3	4,60	2,7	4,63
5,0	4,94	3	4,99	3	4,99
5,5	5,25	3	5,37	3,3	5,34
6,0	5,56	3	5,76	3,6	5,69
6,5	5,85	3	6,14	3,9	6,05
7,0	6,13	3	6,53	4,2	6,40
7,5	6,40	3	6,91	4,5	6,75
8,0	6,66	3	7,30	4,8	7,11
8,5	6,91	3	7,68	5,1	7,46
9,0	7,16	3	8,06	5,4	7,81
9,5	7,40	3	8,45	5,7	8,17
10,0	7,63	3	8,83	6	8,52

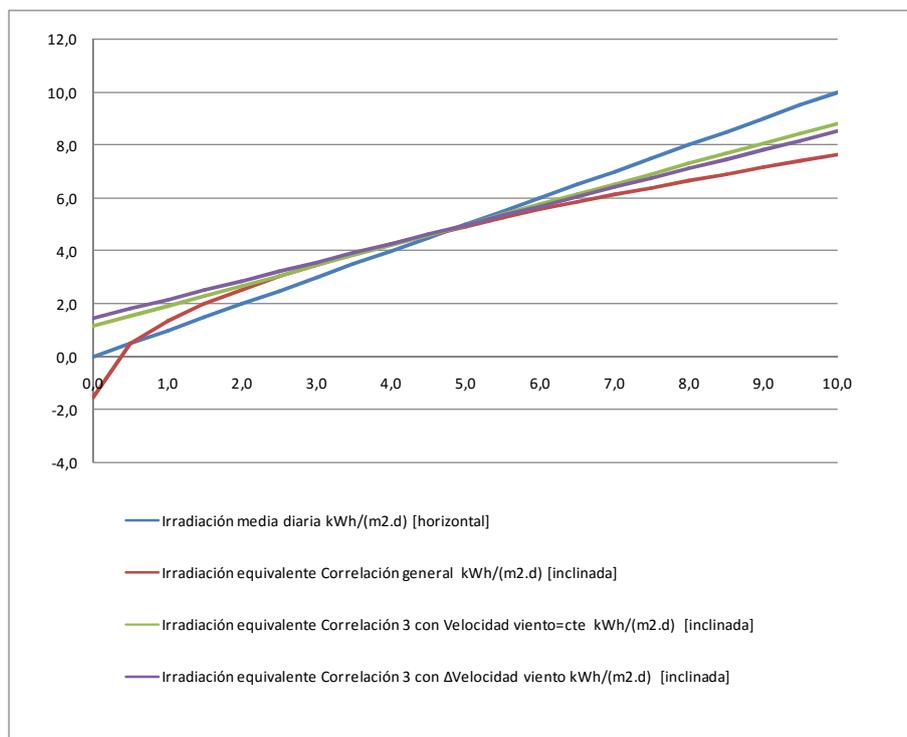


Gráfico 95: Influencia de la velocidad media del viento.

Se puede ver que la influencia del viento es de nuevo menor que respecto a la dependencia con la temperatura ambiente media diaria. Para verlo con más detalle, se presentan a continuación los resultados de la irradiación equivalente para **distintos valores de la velocidad media del viento**.

Tabla 35: Influencia de la velocidad media del viento II.

Irradiación media diaria kWh/(m ² .d) [horizontal]	Velocidad viento media diaria (m/s)	Irradiación equivalente Correlación 3 con ΔVelocidad viento
5,0	0	5,30
5,0	1	5,20
5,0	2	5,09
5,0	3	4,99
5,0	4	4,88
5,0	5	4,78
5,0	6	4,67
5,0	7	4,57
5,0	8	4,46

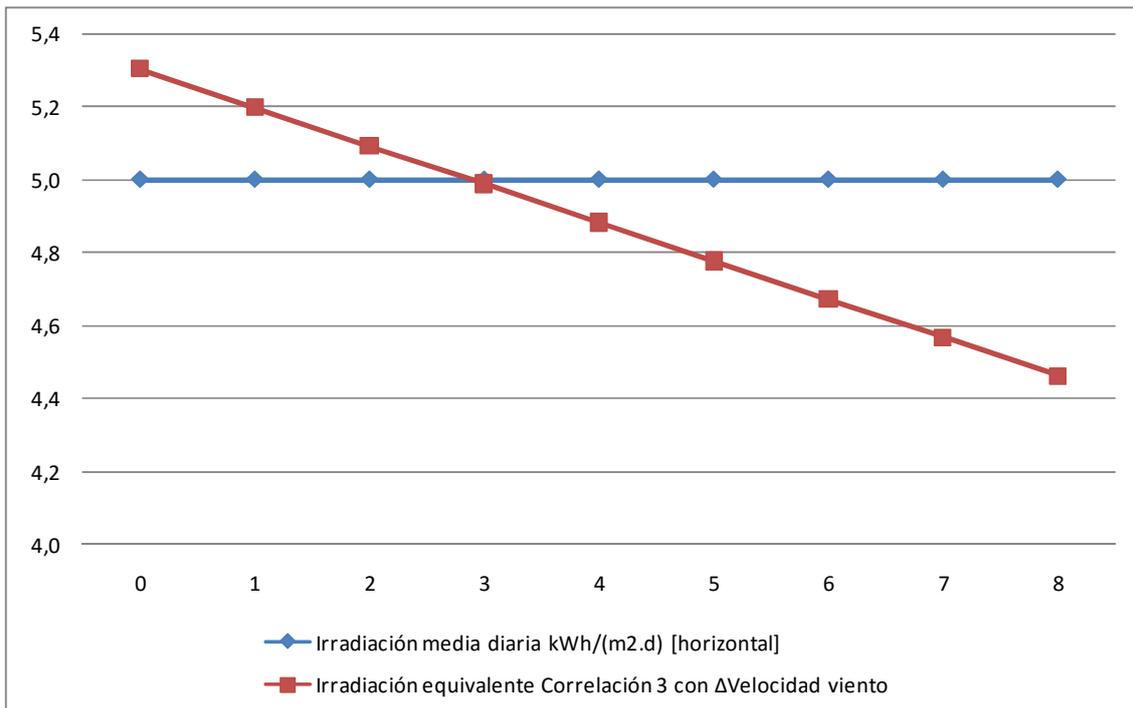


Gráfico 96: Influencia de la velocidad media del viento II.

Análogamente al caso de la humedad media diaria, el efecto de la aumentar la velocidad media del viento desde un valor cero hasta un máximo de 8 m/s supone una variación de la irradiación media equivalente entre +6% y -11%, con un valor medio correspondiente a 3 m/s. Sin embargo, si se considera que una mayor velocidad del viento conduce a una menor temperatura del panel (por aumento de la convección), este resultado no tiene una interpretación física directa. Es probable que el efecto de la

velocidad del viento esté enmascarado por el efecto de las otras variables meteorológicas, en particular la temperatura media, ya que es razonable pensar que valores altos de la velocidad media diaria se correspondan con valores altos de la humedad media y al revés. Para analizar por separado el efecto de la velocidad media del viento sería preciso considerar una correlación de la irradiación sólo con esa variable o bien de esa variable y la irradiación horizontal.

10. CONCLUSIONES

10.1 CONCLUSIONES GENERALES

El trabajo desarrollado tenía como objetivo principal el estudio de la producción de diferentes instalaciones fotovoltaicas instaladas en la comunidad de Castilla y León.

Se ha realizado gracias a que se ha contado en todo momento con datos reales de producción de instalaciones gestionadas por la empresa Sermanint HISPANIA. Además de los datos de producción también se han proporcionado datos de las características de los elementos de las instalaciones.

Se hace necesario contar con datos meteorológicos con los que comparar la producción, datos que no están disponibles para el punto exacto de la instalación. Para realizar este trabajo se ha utilizado la red de estaciones meteorológicas de SIAR que cuenta con un amplio número de estaciones repartidas por toda España, incluida Castilla y León. Los datos proporcionados por SiAR se han interpolado para asociarlos a las instalaciones requeridas. Los datos provenientes de las estaciones meteorológicas de la red de SIAR tienen una resolución diaria, al igual que los datos de producción, de modo que esa es la que se utiliza para el desarrollo del trabajo.

El trabajo abarca desde enero del año 2010 hasta febrero del año 2016, ambos incluidos, los datos anteriores a 2010 no tienen la fiabilidad suficiente o no existen debido a que no se habían implantado todavía las instalaciones.

El objetivo final del trabajo ha sido desarrollar un conjunto de correlaciones que permita, a partir de datos meteorológicos, y de una manera lo más sencilla posible, estimar la producción de instalaciones fotovoltaicas, pensando tanto en poder establecer previsiones de producción para el futuro, como en desarrollar un método para facilitar el mantenimiento predictivo.

10.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

10.2.1 Interpolación de datos meteorológicos

Surge la necesidad de interpolar datos desde las estaciones de SIAR hasta las instalaciones objeto de estudio. Para realizar esta interpolación se han buscado métodos apropiados para tratar datos meteorológicos y finalmente basado en desarrollos de trabajos pasados se han decidido utilizar dos métodos: interpolación del vecino más cercano y el método de interpolación por inverso de la distancia (IDW).

Se ha utilizado el método de interpolación del vecino más cercano siempre que se cuente con una estación meteorológica a menos de 10 km de la instalación y directamente se toman los datos de la estación meteorológica.

Para la interpolación por inverso de la distancia se han tomado todas las estaciones meteorológicas que se encuentran en un círculo de 45 km de radio tomando como centro la instalación de la que se precisan los datos. El parámetro de potencia elegido es 2 para este método.

10.2.2 Irradiación media diaria y producción eléctrica.

Se ha desarrollado una metodología para llegar a una predicción de la producción, en la que se relaciona esta con la irradiación diaria y parámetros característicos de cada instalación como son el rendimiento del inversor, el rendimiento de las células y la superficie útil de panel.

De esta manera se ha obtenido una estimación de la irradiación media diaria, nombrada en el trabajo como irradiación equivalente que permite estimar la producción de cualquier tipo de instalación sea cual sea el rendimiento del inversor o de las células fotovoltaicas.

Se ha calculado un conjunto de correlaciones de irradiación equivalente, que se dividen en tres grupos, el primer grupo engloba las correlaciones desarrolladas para cada instalación y cada año de estudio, en el segundo grupo se calculan correlaciones específicas para cada instalación teniendo en cuenta la totalidad de los años de estudio y por último se ha desarrollado una correlación general en la que se incluyen datos de todas las instalaciones y todos los años.

Para la evaluación de dichas correlaciones se han utilizado parámetros estadísticos como son el Rmse y el Mbe además del coeficiente de ajuste R^2 . Se demuestra así que dichas correlaciones son capaces de obtener estimaciones lo suficientemente cercanas a la realidad como para ser utilizadas.

Resulta interesante la estimación dada por la correlación general, la cual se basa únicamente en el dato meteorológico de irradiación horizontal, para el cálculo de la irradiación equivalente.

Para comprobar su bondad de predicción, al margen de parámetros estadísticos se ha comparado para una instalación la irradiación equivalente, es decir la predicha, con la irradiación real calculada a través de los datos reales de producción. Se comprueba así que dicha correlación es capaz de predecir la irradiación cometiendo tan sólo un error del 5%, lo cual pone de manifiesto la utilidad de la correlación calculada.

De la misma manera se ha procedido a evaluar la producción para otra instalación, relacionando la irradiación equivalente estimada con el rendimiento de célula, inversor y superficie útil del panel de la instalación. Los resultados obtenidos al comparar producción real y estimada son más que satisfactorios obteniendo un error menor del 5%.

10.2.3 Producción en otro tipo de centrales

En el trabajo también se ha incluido un estudio de la posibilidad de utilizar la correlación general para otras instalaciones con tecnología y construcción diferentes a las tomadas en el estudio inicial. En concreto se han estudiado dos variaciones, el cambio de inclinación en los paneles y el cambio de silicio de policristalino a monocristalino.

En el primero de los casos el error cometido al estimar se sitúa en torno al 10%, por lo que dicha correlación sólo sería válida para realizar una aproximación inicial, mientras que en el segundo caso, se ha podido demostrar que los resultados obtenidos mediante el uso de la correlación general, son satisfactorios.

10.2.4 Influencia de parámetros meteorológicos en la estimación de la irradiación equivalente

Se ha desarrollado un capítulo en el que se estudia la relevancia de los parámetros meteorológicos utilizados en las correlaciones. En dicho capítulo se demuestra que el parámetro que más influye sobre la irradiación equivalente es la irradiación sobre superficie horizontal. Se pretende reforzar aún más la validez de estimación que tiene la correlación general calculada, además de su simplicidad.

10.3 DESARROLLOS FUTUROS

En este apartado se sugieren los puntos que se han visto con posibilidad de mejorar para producir resultados más fiables en las conclusiones.

En cuanto a la interpolación de datos meteorológicos, lo ideal sería contar con datos de la propia instalación.

También sería útil contar con un mayor número de instalaciones, en especial de las de tecnología diferente a las 16 instalaciones de referencia, y contar con un mayor histórico de datos de producción.

En este trabajo se han utilizado los cuatro parámetros meteorológicos que más influyen sobre la producción eléctrica (temperatura media, humedad relativa media, velocidad media del viento e irradiación diaria) con el fin de llegar a una correlación lo más simple posible. Sin embargo si se quiere afinar aún más la estimación sería conveniente tener en cuenta un mayor número de parámetros, teniendo en cuenta también el aumento de tiempo de cálculo que ello supone.

Se espera que este trabajo haya sido una buena continuación de los anteriores y siga sirviendo de base para los posteriores, teniendo en cuenta que las bases estaban bien definidas y se sigue la línea de mejora propuesta.

Referencias

Jutglar, L. (2012). Generación de energía solar fotovoltaica. Barcelona: Marcombo.

González Velasco, J. (2009). Energías renovables. *Editorial Reverté*.

Guiza, D., Azizi, C., & Bouden, A. (2010). Models of power produced of the photovoltaic module and comparisons.

Jones, A., & Underwood, C. (2001). A thermal model for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 70(4), 349-359.

Faúndez Barroso, D. (2013). Metodología para el análisis de resultados de generación eléctrica de diversas plantas fotovoltaicas en Castilla y León.

Martín Alonso, A. (2015). Análisis de diversos aspectos relacionados con la producción de instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León.

Moreno Alfonso, Narciso, García Díaz, Lorena. (2010). Instalaciones de Energía Fotovoltaica, 1ª edición, Garceta grupo editorial, ISBN: 9788492812264.

Moreno A., Gilabert M.A., Martínez B. (2011). "Mapping daily global solar irradiation over Spain: A comparative study of selected approaches", *Solar Energy* 85 (2011), 2072-2084.

Yousif C., Ona Quecedo G., Bilbao Santos J. (2012) "Comparison of radiation in Marsaxlokk, Malta and Valladolid, Spain".

Tofoli, F. L., de Castro Pereira, D., Marinho, F. L., & de Paula, W. J. (2014). Comparison among mathematical models of the photovoltaic cell for computer simulation purposes. *International Journal of Photoenergy*.

Tecnalia, L. (2007). Guía básica de la generación distribuida.

Pérez López, C. (2002). Estadística práctica con StatGraphics. Madrid: Prentice Hall, cop. 2002.

Serret Moreno Gil, J. (1998). Procedimientos estadísticos con Statgraphics. Madrid: Esic.

Sanz Torres, O. (2008). Principios y fundamentos de la energía solar fotovoltaica. Valladolid.

Milton, J. (2004). Probabilidad y estadística: con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales. México: McGraw-Hill.

Morán Rodríguez, M. (2014). Estimación de la energía diaria producida por una planta solar fotovoltaica de 6 MW en Rumanía.

Anexo 1: “Correlaciones anuales para cada instalación, para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} .”

Instalación 1

Año 2010

1. $H_{eq} = 31.6645 - 0.0981 \cdot T_d + 0.0360 \cdot W_a - 0.1150 \cdot V_v + 0.8470 \cdot H$
2. $H_{eq} = -73.9356 + 0.6232 \cdot T_d + 0.0014 \cdot W_a - 0.4376 \cdot V_v + 1.3781 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0474 \cdot V_v^2 - 0.0610 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 1708913 - 0.0674 \cdot T_d + 1.3038 \cdot H - 0.0613 \cdot H^2 + 0.9142 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.7775 - 0.0685 \cdot T_d + 1.6869 \cdot H - 0.0775 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.2122 - 0.0642 \cdot T_d - 0.0454 \cdot H + 3.9953 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.6409 - 0.0653 \cdot T_d + 3.8298 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7827 + 3.2589 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

1. $H_{eq} = 44.9995 - 0.1448 \cdot T_d - 0.0406 \cdot W_a - 0.0966 \cdot V_v + 0.8469 \cdot H$
2. $H_{eq} = 140.684 - 0.8465 \cdot T_d - 0.0205 \cdot W_a - 0.00004 \cdot V_v + 1.5285 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 - 0.0071 \cdot V_v^2 - 0.0703 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 19.5973 - 0.0889 \cdot T_d - 1.3890 \cdot H + 0.0448 \cdot H^2 + 7.6157 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 28.5287 - 0.1039 \cdot T_d + 1.7393 \cdot H - 0.0822 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 22.4612 - 0.0938 \cdot T_d - 0.3354 \cdot H + 5.1236 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 25.5157 - 0.1010 \cdot T_d + 3.8832 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5607 + 3.0346 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

1. $H_{eq} = 34.6692 - 0.1092 \cdot T_d + 0.0348 \cdot W_a - 0.1201 \cdot V_v + 0.8286 \cdot H$
2. $H_{eq} = 22.5023 - 0.0596 \cdot T_d + 0.0149 \cdot W_a - 0.2545 \cdot V_v + 1.4684 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0186 \cdot V_v^2 - 0.0691 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 18.0371 - 0.0734 \cdot T_d + 0.4608 \cdot H - 0.0328 \cdot H^2 + 3.1490 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 21.2793 - 0.0779 \cdot T_d + 1.7542 \cdot H - 0.0855 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 16.3182 - 0.0711 \cdot T_d - 0.2981 \cdot H + 4.9283 \cdot \sqrt{H}$

$$6. H_{eq} = 19.0684 - 0.0777 \cdot T_d + 3.8290 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.6893 + 3.1618 \cdot \sqrt{H}$$

Año 2013

$$1. H_{eq} = 22.8504 - 0.0692 \cdot T_d - 0.0219 \cdot W_a - 0.1921 \cdot V_v + 0.8092 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = -38.6119 + 0.3408 \cdot T_d - 0.0086 \cdot W_a - 0.5328 \cdot V_v + \\ + 1.6635 \cdot H - 0.0007 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0664 \cdot V_v^2 - 0.0903 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 12.0560 - 0.0485 \cdot T_d + 1.1356 \cdot H - 0.0680 \cdot H^2 + 1.6172 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 13.6417 - 0.0506 \cdot T_d + 1.8078 \cdot H - 0.0963 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 8.8162 - 0.3805 \cdot T_d + 5.1168 \cdot H - 0.0444 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 11.9346 - 0.0512 \cdot T_d + 3.6869 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.7515 + 3.2535 \cdot \sqrt{H}$$

Año 2014

$$1. H_{eq} = 28.4456 - 0.0848 \cdot T_d - 0.0348 \cdot W_a - 0.1932 \cdot V_v + 0.7468 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = -4.8266 + 0.1267 \cdot T_d + 0.0115 \cdot W_a - 0.5207 \cdot V_v + \\ + 1.5562 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0620 \cdot V_v^2 - 0.0801 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 16.9613 - 0.0685 \cdot T_d + 0.7381 \cdot H - 0.0525 \cdot H^2 + 2.6935 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 19.5314 - 0.0716 \cdot T_d + 1.8522 \cdot H - 0.0986 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 14.2344 - 0.0646 \cdot T_d - 0.4505 \cdot H + 5.4408 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 16.9939 - 0.0692 \cdot T_d + 3.7271 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.7363 + 3.2199 \cdot \sqrt{H}$$

Año 2015

$$1. H_{eq} = 33.6105 - 0.1090 \cdot T_d - 0.0246 \cdot W_a - 0.0415 \cdot V_v + 0.8931 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = -18.8726 + 0.2010 \cdot T_d + 0.0655 \cdot W_a - 0.5346 \cdot V_v + \\ + 1.8504 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0006 \cdot W_a^2 + 0.0770 \cdot V_v^2 - 0.0958 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 20.6076 - 0.0851 \cdot T_d + 0.8275 \cdot H - 0.0644 \cdot H^2 + 3.1589 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 23.0209 - 0.0863 \cdot T_d + 2.0858 \cdot H - 0.1144 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 17.9192 - 0.0838 \cdot T_d - 0.6979 \cdot H + 6.8432 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 22.9055 - 0.0931 \cdot T_d + 4.1434 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.8819 + 3.2764 \cdot \sqrt{H}$$

Instalación 2

Año 2010

- $H_{eq} = 32.2633 - 0.1013 \cdot T_d - 0.0328 \cdot W_a - 0.1061 \cdot V_v + 0.8703 \cdot H$
- $H_{eq} = -80.6888 + 0.6701 \cdot T_d + 0.0089 \cdot W_a - 0.4360 \cdot V_v +$
 $+1.4223 \cdot H - 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0482 \cdot V_v^2 - 0.0636 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.7363 - 0.0716 \cdot T_d + 1.1221 \cdot H - 0.0549 \cdot H^2 + 1.4272 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.1197 - 0.0734 \cdot T_d + 1.7202 \cdot H - 0.0802 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.3365 - 0.0688 \cdot T_d - 0.0865 \cdot H + 4.1871 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.1523 - 0.0708 \cdot T_d + 3.8721 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7402 + 3.2531 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 43.5403 - 0.1418 \cdot T_d - 0.0343 \cdot W_a - 0.0787 \cdot V_v + 0.8867 \cdot H$
- $H_{eq} = 175.788 - 1.1056 \cdot T_d + 0.0004 \cdot W_a + 0.0371 \cdot V_v +$
 $+1.5757 \cdot H + 0.0017 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 - 0.0121 \cdot V_v^2 - 0.0719 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 20.3698 - 0.0919 \cdot T_d - 1.3953 \cdot H + 0.0458 \cdot H^2 + 7.6739 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 29.3695 - 0.1069 \cdot T_d + 1.7569 \cdot H - 0.0821 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 23.3012 - 0.0969 \cdot T_d - 0.3169 \cdot H + 5.1229 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 26.1869 - 0.1037 \cdot T_d + 3.9512 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.6027 + 3.0802 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 29.9470 - 0.0893 \cdot T_d - 0.0413 \cdot W_a - 0.1015 \cdot V_v + 0.6973 \cdot H$
- $H_{eq} = 76.6762 - 0.4871 \cdot T_d + 0.0079 \cdot W_a + 0.0436 \cdot V_v +$
 $+1.9195 \cdot H + 0.0008 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 - 0.0450 \cdot V_v^2 - 0.1219 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.6923 - 0.0482 \cdot T_d + 2.1885 \cdot H - 0.1325 \cdot H^2 - 0.2866 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 12.4167 - 0.0478 \cdot T_d + 2.0723 \cdot H - 0.1280 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 6.0446 - 0.0406 \cdot T_d - 0.9520 \cdot H + 7.1804 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 14.8226 - 0.0614 \cdot T_d + 3.6420 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5773 + 3.1134 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 23.3822 - 0.0706 \cdot T_d - 0.0230 \cdot W_a - 0.1944 \cdot V_v + 0.8034 \cdot H$
2. $H_{eq} = -37.9988 + 0.3369 \cdot T_d - 0.0037 \cdot W_a - 0.5086 \cdot V_v +$
 $+1.6600 \cdot H - 0.0007 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0613 \cdot V_v^2 - 0.0909 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.6655 - 0.0483 \cdot T_d + 0.9400 \cdot H - 0.0612 \cdot H^2 + 2.1354 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 13.7594 - 0.0509 \cdot T_d + 1.8275 \cdot H - 0.0986 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 8.7506 - 0.0446 \cdot T_d - 0.4241 \cdot H + 5.2841 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.2266 - 0.0521 \cdot T_d + 3.6903 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7153 + 3.2487 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 28.6830 - 0.0855 \cdot T_d - 0.0352 \cdot W_a - 0.1971 \cdot V_v + 0.7488 \cdot H$
2. $H_{eq} = 6.4696 + 0.0477 \cdot T_d + 0.0145 \cdot W_a - 0.5360 \cdot V_v +$
 $+1.5465 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0638 \cdot V_v^2 - 0.0789 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.8898 - 0.0686 \cdot T_d + 0.6605 \cdot H - 0.0489 \cdot H^2 + 2.8819 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.6397 - 0.0720 \cdot T_d + 1.8524 \cdot H - 0.0982 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.3499 - 0.0649 \cdot T_d - 0.4466 \cdot H + 5.4409 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.0860 - 0.0695 \cdot T_d + 3.7416 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7474 + 3.2317 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 33.4028 - 0.1078 \cdot T_d - 0.0254 \cdot W_a - 0.0430 \cdot V_v + 0.8738 \cdot H$
2. $H_{eq} = 42.6362 - 0.2370 \cdot T_d + 0.0702 \cdot W_a - 0.5206 \cdot V_v +$
 $+1.9311 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0006 \cdot W_a^2 + 0.0753 \cdot V_v^2 - 0.1055 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 20.3686 - 0.0834 \cdot T_d + 1.0573 \cdot H - 0.0780 \cdot H^2 + 2.6938 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 22.4265 - 0.0844 \cdot T_d + 2.1304 \cdot H - 0.1207 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 17.1071 - 0.0818 \cdot T_d - 0.7932 \cdot H + 7.1634 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 22.7745 - 0.0923 \cdot T_d + 4.0949 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.8077 + 3.2350 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 3

Año 2010

1. $H_{eq} = 30.0502 - 0.0941 \cdot T_d + 0.0313 \cdot W_a - 0.0966 \cdot V_v + 0.8131 \cdot H$
2. $H_{eq} = -38.1831 + 0.3647 \cdot T_d - 0.0014 \cdot W_a - 0.3813 \cdot V_v +$
 $+1.3521 \cdot H - 0.0008 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0428 \cdot V_v^2 - 0.0609 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.4522 - 0.0663 \cdot T_d + 1.1012 \cdot H - 0.0526 \cdot H^2 + 1.1842 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.6001 - 0.0678 \cdot T_d + 1.5975 \cdot H - 0.0736 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.1526 - 0.0636 \cdot T_d - 0.0568 \cdot H + 3.8288 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.6887 - 0.0649 \cdot T_d + 3.6218 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6438 + 3.0539 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

1. $H_{eq} = 41.6817 - 0.1359 \cdot T_d - 0.0328 \cdot W_a - 0.0634 \cdot V_v + 0.8424 \cdot H$
2. $H_{eq} = 164.497 - 1.0327 \cdot T_d + 0.0024 \cdot W_a + 0.0911 \cdot V_v +$
 $+1.5081 \cdot H + 0.0015 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 - 0.0207 \cdot V_v^2 - 0.0697 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 20.3509 - 0.0894 \cdot T_d - 1.0096 \cdot H + 0.0296 \cdot H^2 + 6.5590 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 28.0430 - 0.1023 \cdot T_d + 1.6846 \cdot H - 0.0797 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 22.2445 - 0.0926 \cdot T_d - 0.3129 \cdot H + 4.9111 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 25.0942 - 0.0994 \cdot T_d + 3.7539 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5420 + 2.9191 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

1. $H_{eq} = -5.8815 + 0.0303 \cdot T_d - 0.0043 \cdot W_a + 0.1208 \cdot V_v + 0.3938 \cdot H$
2. $H_{eq} = -34.9790 + 0.2051 \cdot T_d + 0.0661 \cdot W_a + 0.2093 \cdot V_v +$
 $+0.5761 \cdot H - 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 - 0.0307 \cdot V_v^2 - 0.0231 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = -6.8940 + 0.0370 \cdot T_d + 1.7850 \cdot H - 0.0800 \cdot H^2 - 2.4922 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = -9.2908 - 0.0399 \cdot T_d + 0.7738 \cdot H - 0.0397 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = -10.9046 + 0.0416 \cdot T_d - 0.1097 \cdot H + 2.0126 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = -9.8929 + 0.0392 \cdot T_d + 1.6049 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = 0.5606 + 1.9418 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 21.6897 - 0.0652 \cdot T_d - 0.0218 \cdot W_a - 0.1820 \cdot V_v + 0.7438 \cdot H$
2. $H_{eq} = -5.0249 + 0.0958 \cdot T_d + 0.0057 \cdot W_a - 0.4632 \cdot V_v +$
 $+1.5483 \cdot H - 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0554 \cdot V_v^2 - 0.0853 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 10.4103 - 0.0437 \cdot T_d + 0.8040 \cdot H - 0.0548 \cdot H^2 + 2.1822 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 12.5500 - 0.0465 \cdot T_d + 1.7110 \cdot H - 0.0931 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 7.7973 - 0.0404 \cdot T_d - 0.4187 \cdot H + 5.0047 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 11.2294 - 0.0479 \cdot T_d + 3.4309 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5819 + 3.0252 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 27.6350 - 0.0822 \cdot T_d - 0.0348 \cdot W_a - 0.1828 \cdot V_v + 0.7027 \cdot H$
2. $H_{eq} = 16.2766 - 0.0243 \cdot T_d + 0.0137 \cdot W_a - 0.5234 \cdot V_v +$
 $+1.4524 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0639 \cdot V_v^2 - 0.0741 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.0301 - 0.0651 \cdot T_d + 0.6054 \cdot H - 0.0454 \cdot H^2 + 2.7723 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.6754 - 0.0685 \cdot T_d + 1.7520 \cdot H - 0.0928 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.6733 - 0.0618 \cdot T_d - 0.4219 \cdot H + 3.99535.1467 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.2576 - 0.0661 \cdot T_d + 3.5418 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6420 + 3.0571 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 31.7432 - 0.1036 \cdot T_d - 0.0221 \cdot W_a - 0.0344 \cdot V_v + 0.8453 \cdot H$
2. $H_{eq} = 132.156 - 0.8725 \cdot T_d + 0.0849 \cdot W_a - 0.5190 \cdot V_v +$
 $+1.7524 \cdot H - 0.0014 \cdot T_d^2 - 0.0007 \cdot W_a^2 + 0.0777 \cdot V_v^2 - 0.0910 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 19.6173 - 0.0819 \cdot T_d + 0.5639 \cdot H - 0.0493 \cdot H^2 + 3.4081 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 22.2209 - 0.0832 \cdot T_d + 1.9215 \cdot H - 0.1033 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 17.5566 - 0.0808 \cdot T_d - 0.6054 \cdot H + 6.2321 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 21.8819 - 0.0889 \cdot T_d + 3.8903 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7990 + 3.0619 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 4

Año 2010

- $H_{eq} = 30.2711 - 0.0940 \cdot T_d - 0.0323 \cdot W_a - 0.1466 \cdot V_v + 0.8444 \cdot H$
- $H_{eq} = -7.2543 + 0.1427 \cdot T_d + 0.0071 \cdot W_a - 0.3678 \cdot V_v +$
 $+1.4293 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0326 \cdot V_v^2 - 0.0662 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.6861 - 0.0648 \cdot T_d + 0.9722 \cdot H - 0.0486 \cdot H^2 + 1.7002 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.3342 - 0.0670 \cdot T_d + 1.6847 \cdot H - 0.0788 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 14.562 - 0.0622 \cdot T_d - 0.0975 \cdot H + 4.1430 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.4818 - 0.0645 \cdot T_d + 3.7878 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7463 + 3.2234 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 29.8307 - 0.0948 \cdot T_d - 0.0241 \cdot W_a - 0.2355 \cdot V_v + 0.8963 \cdot H$
- $H_{eq} = -90.6771 + 0.7317 \cdot T_d - 0.0489 \cdot W_a - 0.5452 \cdot V_v +$
 $+1.8381 \cdot H - 0.0014 \cdot T_d^2 + 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0804 \cdot V_v^2 - 0.0937 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.6438 - 0.0709 \cdot T_d + 0.9560 \cdot H - 0.0588 \cdot H^2 + 2.2572 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.2910 - 0.0754 \cdot T_d + 1.8832 \cdot H - 0.0964 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 13.8826 - 0.0646 \cdot T_d - 0.4277 \cdot H + 5.5303 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.7777 - 0.0738 \cdot T_d + 3.9486 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -2.0034 + 3.3286 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 31.2272 - 0.0976 \cdot T_d - 0.0313 \cdot W_a - 0.1358 \cdot V_v + 0.8110 \cdot H$
- $H_{eq} = 25.4842 - 0.1156 \cdot T_d + 0.0499 \cdot W_a - 0.2153 \cdot V_v +$
 $+1.5863 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 - 0.0077 \cdot V_v^2 - 0.0811 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.6057 - 0.0643 \cdot T_d + 0.7821 \cdot H - 0.0538 \cdot H^2 + 2.6328 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.1378 - 0.0674 \cdot T_d + 1.8503 \cdot H - 0.0963 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.9068 - 0.0612 \cdot T_d - 0.4928 \cdot H + 5.6643 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.4510 - 0.0720 \cdot T_d + 3.8326 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7721 + 3.2129 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 24.2557 - 0.0735 \cdot T_d - 0.0235 \cdot W_a - 0.2149 \cdot V_v + 0.8107 \cdot H$
2. $H_{eq} = -79.5688 + 0.6355 \cdot T_d + 0.0062 \cdot W_a - 0.5770 \cdot V_v +$
 $+1.5261 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0669 \cdot V_v^2 - 0.0776 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.5527 - 0.0501 \cdot T_d + 0.4114 \cdot H - 0.0333 \cdot H^2 + 3.2559 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.7452 - 0.0542 \cdot T_d + 1.7647 \cdot H - 0.0903 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.9652 - 0.0481 \cdot T_d - 0.3314 \cdot H + 4.9706 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.6813 - 0.0539 \cdot T_d + 3.7253 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7578 + 3.2680 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 26.576 - 0.0786 \cdot T_d - 0.0329 \cdot W_a - 0.2061 \cdot V_v + 0.7427 \cdot H$
2. $H_{eq} = -10.6780 + 0.1598 \cdot T_d + 0.0158 \cdot W_a - 0.5715 \cdot V_v +$
 $+1.5863 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0686 \cdot V_v^2 - 0.0834 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.3655 - 0.0636 \cdot T_d + 0.6464 \cdot H - 0.0515 \cdot H^2 + 2.9774 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.2066 - 0.0671 \cdot T_d + 1.8778 \cdot H - 0.1025 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.6880 - 0.0597 \cdot T_d - 0.5207 \cdot H + 5.6750 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.8777 - 0.0651 \cdot T_d + 3.6941 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7427 + 3.2170 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 33.2638 - 0.1083 \cdot T_d - 0.0237 \cdot W_a - 0.0356 \cdot V_v + 0.9042 \cdot H$
2. $H_{eq} = 31.6417 - 0.1541 \cdot T_d + 0.0633 \cdot W_a - 0.4259 \cdot V_v +$
 $+1.8211 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0601 \cdot V_v^2 - 0.0917 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 20.4140 - 0.0851 \cdot T_d + 0.6201 \cdot H - 0.0514 \cdot H^2 + 3.5249 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 23.1069 - 0.0864 \cdot T_d + 2.0243 \cdot H - 0.1072 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.2671 - 0.0840 \cdot T_d - 0.5981 \cdot H + 6.4671 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 22.54 - 0.0920 \cdot T_d + 4.1536 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.95743 + 3.2967 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 5

Año 2010

- $H_{eq} = 29.5088 - 0.0905 \cdot T_d - 0.0348 \cdot W_a - 0.1636 \cdot V_v + 0.8283 \cdot H$
- $H_{eq} = 5.4367 + 0.0498 \cdot T_d + 0.0354 \cdot W_a - 0.5639 \cdot V_v +$
 $+1.2008 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0597 \cdot V_v^2 - 0.0448 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.2165 - 0.0660 \cdot T_d + 2.2270 \cdot H - 0.0922 \cdot H^2 - 1.6263 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.6400 - 0.0640 \cdot T_d + 1.5454 \cdot H - 0.0634 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.1812 - 0.0613 \cdot T_d + 0.1948 \cdot H + 3.0145 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 13.3433 - 0.0568 \cdot T_d + 3.7242 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.8228 + 3.2273 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 41.5650 - 0.1331 \cdot T_d - 0.0377 \cdot W_a - 0.1473 \cdot V_v + 0.8914 \cdot H$
- $H_{eq} = 94.2546 - 0.5334 \cdot T_d - 0.0392 \cdot W_a - 0.2455 \cdot V_v +$
 $+1.8162 \cdot H + 0.0007 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0388 \cdot V_v^2 - 0.0932 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 21.9799 - 0.0895 \cdot T_d + 0.4666 \cdot H - 0.0397 \cdot H^2 + 3.5844 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 26.1835 - 0.0965 \cdot T_d + 1.9390 \cdot H - 0.0994 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.4439 - 0.0852 \cdot T_d - 0.4662 \cdot H + 5.7912 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 23.6902 - 0.0952 \cdot T_d + 4.0669 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.8365 + 3.2669 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 31.6411 - 0.0982 \cdot T_d - 0.0339 \cdot W_a - 0.1339 \cdot V_v + 0.7926 \cdot H$
- $H_{eq} = 3.2625 + 0.0456 \cdot T_d + 0.0359 \cdot W_a - 0.1991 \cdot V_v +$
 $+1.6031 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 - 0.0095 \cdot V_v^2 - 0.0839 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.4373 - 0.0631 \cdot T_d + 0.9072 \cdot H - 0.0604 \cdot H^2 + 2.3552 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.7024 - 0.0659 \cdot T_d + 1.8627 \cdot H - 0.0984 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.4101 - 0.0597 \cdot T_d - 0.5230 \cdot H + 5.7555 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.2324 - 0.0711 \cdot T_d + 3.8117 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7581 + 3.1995 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 23.3584 - 0.0701 \cdot T_d - 0.0233 \cdot W_a - 0.2299 \cdot V_v + 0.7861 \cdot H$
2. $H_{eq} = -84.5831 + 0.6693 \cdot T_d + 0.0029 \cdot W_a - 0.6034 \cdot V_v +$
 $+1.4951 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0690 \cdot V_v^2 - 0.0768 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 10.0753 - 0.0462 \cdot T_d + 0.0787 \cdot H - 0.0195 \cdot H^2 + 3.9761 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 13.9740 - 0.0513 \cdot T_d + 1.7314 \cdot H - 0.0892 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.1421 - 0.0450 \cdot T_d - 0.3579 \cdot H + 4.9842 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.0758 - 0.0514 \cdot T_d + 3.6390 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6800 + 3.2034 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 25.3096 - 0.0747 \cdot T_d - 0.0309 \cdot W_a - 0.2135 \cdot V_v + 0.7455 \cdot H$
2. $H_{eq} = 24.267 - 0.0913 \cdot T_d + 0.0202 \cdot W_a - 0.5761 \cdot V_v +$
 $+1.5841 \cdot H + 0.00001 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0686 \cdot V_v^2 - 0.0828 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.6622 - 0.0608 \cdot T_d + 0.6482 \cdot H - 0.0510 \cdot H^2 + 2.9282 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.4563 - 0.0643 \cdot T_d + 1.8593 \cdot H - 0.1011 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.0119 - 0.0570 \cdot T_d - 0.5070 \cdot H + 5.5983 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.1175 - 0.0623 \cdot T_d + 3.6696 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7447 + 3.2130 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 33.1833 - 0.1080 \cdot T_d - 0.0236 \cdot W_a - 0.0443 \cdot V_v + 0.8984 \cdot H$
2. $H_{eq} = 31.9955 - 0.1569 \cdot T_d + 0.0645 \cdot W_a - 0.4501 \cdot V_v +$
 $+1.8128 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0628 \cdot V_v^2 - 0.0914 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 20.411 - 0.0850 \cdot T_d + 0.6054 \cdot H - 0.0509 \cdot H^2 + 3.5442 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 23.1186 - 0.0864 \cdot T_d + 2.0173 \cdot H - 0.1070 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.2842 - 0.0840 \cdot T_d - 0.6012 \cdot H + 6.4588 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 22.5796 - 0.0920 \cdot T_d + 4.1331 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.9295 + 3.2758 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 6

Año 2010

- $H_{eq} = 31.2332 - 0.0958 \cdot T_d - 0.0369 \cdot W_a - 0.1555 \cdot V_v + 0.8190 \cdot H$
- $H_{eq} = -16.1496 + 0.2111 \cdot T_d + 0.0039 \cdot W_a - 0.4111 \cdot V_v +$
 $+1.3794 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0378 \cdot V_v^2 - 0.0637 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.2044 - 0.0636 \cdot T_d + 0.8359 \cdot H - 0.0426 \cdot H^2 + 1.997 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.1402 - 0.0662 \cdot T_d + 1.6728 \cdot H - 0.0781 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 14.3390 - 0.0614 \cdot T_d - 0.1034 \cdot H + 4.1423 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.3149 - 0.0638 \cdot T_d + 3.7655 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7308 + 3.2070 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 42.2884 - 0.1354 \cdot T_d - 0.0386 \cdot W_a - 0.1489 \cdot V_v + 0.8888 \cdot H$
- $H_{eq} = 94.5204 - 0.5323 \cdot T_d - 0.0418 \cdot W_a - 0.2421 \cdot V_v +$
 $+1.8229 \cdot H + 0.0007 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0382 \cdot V_v^2 - 0.0941 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 22.1851 - 0.0905 \cdot T_d + 0.4195 \cdot H - 0.0383 \cdot H^2 + 3.7204 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 26.5483 - 0.0978 \cdot T_d + 1.9478 \cdot H - 0.1003 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.7359 - 0.0864 \cdot T_d - 0.4814 \cdot H + 5.8517 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 24.1206 - 0.0968 \cdot T_d + 4.0712 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.8279 + 3.2579 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 31.5413 - 0.0986 \cdot T_d - 0.0319 \cdot W_a - 0.1342 \cdot V_v + 0.8129 \cdot H$
- $H_{eq} = 12.0166 - 0.0178 \cdot T_d + 0.0420 \cdot W_a - 0.1874 \cdot V_v +$
 $+1.6065 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 - 0.0118 \cdot V_v^2 - 0.0825 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.0716 - 0.0652 \cdot T_d + 0.9389 \cdot H - 0.0601 \cdot H^2 + 2.2686 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.2534 - 0.0679 \cdot T_d + 1.8593 \cdot H - 0.0967 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 13.0534 - 0.0617 \cdot T_d - 0.4869 \cdot H + 5.6588 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.5431 - 0.0724 \cdot T_d + 3.8490 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.7970 + 3.2255 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 24.0118 - 0.0727 \cdot T_d - 0.0231 \cdot W_a - 0.2237 \cdot V_v + 0.8106 \cdot H$
2. $H_{eq} = -84.3413 + 0.6689 \cdot T_d + 0.0053 \cdot W_a - 0.6129 \cdot V_v +$
 $+1.5228 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0717 \cdot V_v^2 - 0.0773 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.5196 - 0.0498 \cdot T_d + 0.4404 \cdot H - 0.0342 \cdot H^2 + 3.1759 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.6337 - 0.0538 \cdot T_d + 1.7605 \cdot H - 0.0899 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.8869 - 0.0477 \cdot T_d - 0.3235 \cdot H + 4.9395 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.5387 - 0.0535 \cdot T_d + 3.7236 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7718 + 3.2704 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 26.1907 - 0.0775 \cdot T_d - 0.0323 \cdot W_a - 0.1899 \cdot V_v + 0.7369 \cdot H$
2. $H_{eq} = 113.863 - 0.7210 \cdot T_d + 0.0374 \cdot W_a - 0.5336 \cdot V_v +$
 $+1.5036 \cdot H + 0.0011 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0655 \cdot V_v^2 - 0.0757 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.3021 - 0.0612 \cdot T_d + 0.2269 \cdot H - 0.0307 \cdot H^2 + 3.8197 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.9469 - 0.0658 \cdot T_d + 1.8068 \cdot H - 0.0960 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.7084 - 0.0589 \cdot T_d - 0.4677 \cdot H + 5.4254 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.5732 - 0.0638 \cdot T_d + 3.6462 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.707 + 3.1785 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 35.2174 - 0.1154 \cdot T_d - 0.0234 \cdot W_a - 0.0589 \cdot V_v + 0.9054 \cdot H$
2. $H_{eq} = 111.0500 - 0.7080 \cdot T_d + 0.0840 \cdot W_a - 0.5447 \cdot V_v +$
 $+1.706002 \cdot H + 0.0010 \cdot T_d^2 - 0.0007 \cdot W_a^2 + 0.0772 \cdot V_v^2 - 0.0807 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 21.5294 - 0.0927 \cdot T_d - 0.1867 \cdot H - 0.0124 \cdot H^2 + 5.2928 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 25.5728 - 0.0947 \cdot T_d + 1.9216 \cdot H - 0.0961 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 21.0105 - 0.0924 \cdot T_d - 0.4811 \cdot H + 6.0038 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 24.4479 - 0.0989 \cdot T_d + 4.1427 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.8805 + 3.2218 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 7

Año 2010

- $H_{eq} = 30.7896 - 0.0996 \cdot T_d - 0.0236 \cdot W_a - 0.0006 \cdot V_v + 0.7902 \cdot H$
- $H_{eq} = -54.3209 + 0.4768 \cdot T_d - 0.0108 \cdot W_a - 0.2661 \cdot V_v + 1.4637 \cdot H - 0.0009 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0370 \cdot V_v^2 - 0.0706 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.1570 - 0.0697 \cdot T_d + 1.1807 \cdot H - 0.0621 \cdot H^2 + 1.1502 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 19.2673 - 0.0710 \cdot T_d + 1.6445 \cdot H - 0.0806 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.0632 - 0.0663 \cdot T_d - 0.2871 \cdot H + 4.6494 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.7533 - 0.0725 \cdot T_d + 3.5608 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4938 + 2.8761 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 33.1933 - 0.1015 \cdot T_d - 0.0400 \cdot W_a - 0.0836 \cdot V_v + 0.6621 \cdot H$
- $H_{eq} = 47.2737 - 0.2372 \cdot T_d - 0.0333 \cdot W_a - 0.1430 \cdot V_v + 1.4924 \cdot H + 0.0002 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0220 \cdot V_v^2 - 0.0783 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 11.8749 - 0.0448 \cdot T_d + 1.5700 \cdot H - 0.0847 \cdot H^2 + 0.2057 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 12.1068 - 0.0452 \cdot T_d + 1.6520 \cdot H - 0.0878 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 6.3125 - 0.0360 \cdot T_d - 0.5136 \cdot H + 5.2306 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 10.7086 - 0.0455 \cdot T_d + 3.2445 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5101 + 2.8774 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 29.1208 - 0.0906 \cdot T_d - 0.0295 \cdot W_a - 0.0409 \cdot V_v + 0.7050 \cdot H$
- $H_{eq} = 52.7604 - 0.3072 \cdot T_d + 0.0283 \cdot W_a - 0.0665 \cdot V_v + 1.5092 \cdot H + 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 - 0.0096 \cdot V_v^2 - 0.0827 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.5556 - 0.0529 \cdot T_d + 0.8684 \cdot H - 0.0638 \cdot H^2 + 2.3113 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 14.8205 - 0.0557 \cdot T_d + 1.7965 \cdot H - 0.1002 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 9.1799 - 0.0490 \cdot T_d - 0.6728 \cdot H + 6.0172 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.4567 - 0.0637 \cdot T_d + 3.4820 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5162 + 2.9187 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 24.8983 - 0.0784 \cdot T_d - 0.0197 \cdot W_a - 0.0454 \cdot V_v + 0.7189 \cdot H$
2. $H_{eq} = 3.2558 + 0.0439 \cdot T_d + 0.0083 \cdot W_a - 0.1780 \cdot V_v +$
 $+1.4234 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0210 \cdot V_v^2 - 0.0724 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 10.2866 - 0.0467 \cdot T_d + 0.2083 \cdot H - 0.0262 \cdot H^2 + 3.4755 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 13.3043 - 0.0493 \cdot T_d + 1.5746 \cdot H - 0.0787 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.0369 - 0.0459 \cdot T_d - 0.4356 \cdot H + 5.0542 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 13.0181 - 0.0546 \cdot T_d + 3.3420 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5346 + 2.8687 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 21.2349 - 0.0669 \cdot T_d - 0.0145 \cdot W_a - 0.0635 \cdot V_v + 0.7509 \cdot H$
2. $H_{eq} = 65.1446 - 0.3945 \cdot T_d + 0.0033 \cdot W_a - 0.1390 \cdot V_v +$
 $+1.6873 \cdot H + 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0111 \cdot V_v^2 - 0.0915 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.9202 - 0.0563 \cdot T_d + 1.0209 \cdot H - 0.0662 \cdot H^2 + 1.8009 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.6176 - 0.0582 \cdot T_d + 1.7480 \cdot H - 0.0953 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.3708 - 0.0518 \cdot T_d - 0.5397 \cdot H + 5.5134 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 13.9243 - 0.0578 \cdot T_d + 3.4154 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7019 + 2.9730 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 26.0063 - 0.0851 \cdot T_d - 0.0149 \cdot W_a + 0.0159 \cdot V_v + 0.7898 \cdot H$
2. $H_{eq} = 17.83 - 0.0692 \cdot T_d + 0.0176 \cdot W_a - 0.2493 \cdot V_v +$
 $+1.7238 \cdot H + 0.00001 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0306 \cdot V_v^2 - 0.0920 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.4560 - 0.0644 \cdot T_d + 0.6520 \cdot H - 0.0507 \cdot H^2 + 2.7807 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.5438 - 0.0654 \cdot T_d + 1.7679 \cdot H - 0.0954 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.4443 - 0.0636 \cdot T_d - 0.5438 \cdot H + 5.6483 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.6813 - 0.0722 \cdot T_d + 3.5579 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5315 + 2.8803 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 8

Año 2010

- $H_{eq} = 31.7859 - 0.1031 \cdot T_d - 0.0235 \cdot W_a - 0.0047 \cdot V_v + 0.7978 \cdot H$
- $H_{eq} = -21.4448 + 0.2451 \cdot T_d + 0.0023 \cdot W_a - 0.2645 \cdot V_v +$
 $+1.4388 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0373 \cdot V_v^2 - 0.0679 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.8157 - 0.0729 \cdot T_d + 0.9916 \cdot H - 0.0535 \cdot H^2 + 1.6055 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.3656 - 0.0747 \cdot T_d + 1.6389 \cdot H - 0.0793 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.1504 - 0.0700 \cdot T_d - 0.2729 \cdot H + 4.6202 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.7078 - 0.0759 \cdot T_d + 3.5853 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4320 + 2.8687 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 34.4250 - 0.1059 \cdot T_d - 0.0398 \cdot W_a - 0.0867 \cdot V_v + 0.6690 \cdot H$
- $H_{eq} = 52.4597 - 0.2705 \cdot T_d - 0.0303 \cdot W_a - 0.1560 \cdot V_v +$
 $+1.5047 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 + 0.00004 \cdot W_a^2 + 0.0237 \cdot V_v^2 - 0.0789 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 13.2775 - 0.0497 \cdot T_d + 1.6170 \cdot H - 0.0869 \cdot H^2 + 0.1283 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 13.4222 - 0.0499 \cdot T_d + 1.6682 \cdot H - 0.0888 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 7.5735 - 0.0406 \cdot T_d - 0.5196 \cdot H + 5.2812 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 12.0213 - 0.0502 \cdot T_d + 3.2717 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4700 + 2.8663 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 29.6023 - 0.0923 \cdot T_d - 0.0296 \cdot W_a - 0.0432 \cdot V_v + 0.7053 \cdot H$
- $H_{eq} = 52.2927 - 0.3021 \cdot T_d + 0.0279 \cdot W_a - 0.0630 \cdot V_v +$
 $+1.50931 \cdot H + 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 - 0.0106 \cdot V_v^2 - 0.0827 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.8972 - 0.0544 \cdot T_d + 0.8209 \cdot H - 0.0619 \cdot H^2 + 2.4292 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.2777 - 0.0573 \cdot T_d + 1.7963 \cdot H - 0.1001 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 9.6251 - 0.0506 \cdot T_d - 0.6730 \cdot H + 6.0215 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.9043 - 0.0653 \cdot T_d + 3.4853 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4945 + 2.9078 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 25.6603 - 0.0805 \cdot T_d - 0.0216 \cdot W_a - 0.0568 \cdot V_v + 0.7176 \cdot H$
2. $H_{eq} = 7.2873 + 0.0154 \cdot T_d + 0.0182 \cdot W_a - 0.1888 \cdot V_v +$
 $+1.4161 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0206 \cdot V_v^2 - 0.0725 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 10.0166 - 0.0464 \cdot T_d + 0.1832 \cdot H - 0.0265 \cdot H^2 + 3.6227 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 13.1621 - 0.0491 \cdot T_d + 1.6075 \cdot H - 0.0813 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 8.7496 - 0.0456 \cdot T_d - 0.4696 \cdot H + 5.2233 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 13.0415 - 0.0549 \cdot T_d + 3.3775 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6091 + 2.9010 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 22.2051 - 0.0699 \cdot T_d - 0.0155 \cdot W_a - 0.0669 \cdot V_v + 0.7543 \cdot H$
2. $H_{eq} = 77.0982 - 0.4755 \cdot T_d + 0.0071 \cdot W_a - 0.1407 \cdot V_v +$
 $+1.6856 \cdot H + 0.0007 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0109 \cdot V_v^2 - 0.0911 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.0216 - 0.0577 \cdot T_d + 0.8579 \cdot H - 0.0599 \cdot H^2 + 2.2476 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.1400 - 0.0601 \cdot T_d + 1.7654 \cdot H - 0.0962 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.8089 - 0.0536 \cdot T_d - 0.5546 \cdot H + 5.6079 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.4605 - 0.0598 \cdot T_d + 3.4520 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7043 + 2.9943 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 26.8758 - 0.0881 \cdot T_d - 0.0150 \cdot W_a + 0.0145 \cdot V_v + 0.8014 \cdot H$
2. $H_{eq} = 20.2399 + 0.0837 \cdot T_d + 0.0203 \cdot W_a - 0.2551 \cdot V_v +$
 $+1.7283 \cdot H + 0.00003 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0311 \cdot V_v^2 - 0.0914 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.0641 - 0.0672 \cdot T_d + 0.5590 \cdot H - 0.0466 \cdot H^2 + 3.0468 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.3517 - 0.0683 \cdot T_d + 1.7816 \cdot H - 0.0955 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.2154 - 0.0664 \cdot T_d - 0.5399 \cdot H + 5.6820 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.4221 - 0.0749 \cdot T_d + 3.6065 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5279 + 2.9030 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 9

Año 2010

- $H_{eq} = 26.7728 - 0.0811 \cdot T_d - 0.0366 \cdot W_a - 0.0729 \cdot V_v + 0.7197 \cdot H$
- $H_{eq} = 50.2438 - 0.2893 \cdot T_d + 0.0492 \cdot W_a - 0.1903 \cdot V_v +$
 $+1.0795 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0006 \cdot W_a^2 + 0.0196 \cdot V_v^2 - 0.0415 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 9.6945 - 0.0440 \cdot T_d - 0.2796 \cdot H + 0.0095 \cdot H^2 + 3.9671 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 13.4247 - 0.0488 \cdot T_d + 1.3930 \cdot H - 0.0614 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 10.0821 - 0.0444 \cdot T_d - 0.0709 \cdot H + 3.4961 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 10.7751 - 0.0451 \cdot T_d + 3.2360 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5578 + 2.8592 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 41.8275 - 0.1297 \cdot T_d - 0.0492 \cdot W_a - 0.1388 \cdot V_v + 0.7463 \cdot H$
- $H_{eq} = 48.3717 - 0.2212 \cdot T_d + 0.0016 \cdot W_a - 0.2217 \cdot V_v +$
 $+1.6418 \cdot H + 0.001 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0338 \cdot V_v^2 - 0.0887 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 24.9571 - 0.0948 \cdot T_d + 1.2960 \cdot H - 0.0804 \cdot H^2 + 1.3966 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 26.9530 - 0.0990 \cdot T_d + 1.8915 \cdot H - 0.1053 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.1047 - 0.0821 \cdot T_d - 0.5164 \cdot H + 5.4807 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 24.2798 - 0.0951 \cdot T_d + 3.6089 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.3366 + 2.8828 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 31.5640 - 0.0946 \cdot T_d - 0.0430 \cdot W_a - 0.1059 \cdot V_v + 0.6497 \cdot H$
- $H_{eq} = 89.0945 - 0.5563 \cdot T_d + 0.0234 \cdot W_a - 0.2736 \cdot V_v +$
 $+1.4281 \cdot H + 0.0008 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0193 \cdot V_v^2 - 0.0788 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.6209 - 0.0518 \cdot T_d + 0.7567 \cdot H - 0.0582 \cdot H^2 + 2.3164 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.2031 - 0.0560 \cdot T_d + 1.7234 \cdot H - 0.0979 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 9.7214 - 0.0475 \cdot T_d - 0.5533 \cdot H + 5.2969 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.9232 - 0.0638 \cdot T_d + 3.2805 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.1555 + 2.7706 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 27.4526 - 0.0863 \cdot T_d - 0.0228 \cdot W_a - 0.0894 \cdot V_v + 0.7695 \cdot H$
2. $H_{eq} = 133.4060 - 0.8875 \cdot T_d + 0.0619 \cdot W_a - 0.2044 \cdot V_v +$
 $+1.4694 \cdot H + 0.0014 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0320 \cdot V_v^2 - 0.0792 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.3120 - 0.0552 \cdot T_d - 0.2733 \cdot H - 0.0075 \cdot H^2 + 4.6347 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.7541 - 0.0610 \cdot T_d + 1.6822 \cdot H - 0.0914 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.0095 - 0.0549 \cdot T_d - 0.4373 \cdot H + 5.0045 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.4118 - 0.0659 \cdot T_d + 3.3914 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2853 + 2.8938 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 25.3878 - 0.0745 \cdot T_d - 0.0359 \cdot W_a - 0.1218 \cdot V_v + 0.6819 \cdot H$
2. $H_{eq} = 43.4421 - 0.2346 \cdot T_d + 0.0501 \cdot W_a - 0.3180 \cdot V_v +$
 $+1.3495 \cdot H + 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0487 \cdot V_v^2 - 0.0691 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.2788 - 0.0570 \cdot T_d + 0.0180 \cdot H - 0.0198 \cdot H^2 + 3.8752 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.2967 - 0.0632 \cdot T_d + 1.6740 \cdot H - 0.0912 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.2649 - 0.0553 \cdot T_d - 0.4114 \cdot H + 4.8333 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.2992 - 0.0618 \cdot T_d + 3.3185 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4457 + 2.8950 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 34.8437 - 0.1091 \cdot T_d - 0.0369 \cdot W_a - 0.0149 \cdot V_v + 0.7298 \cdot H$
2. $H_{eq} = 2.3404 + 0.0611 \cdot T_d + 0.0281 \cdot W_a - 0.2597 \cdot V_v +$
 $+1.5844 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0365 \cdot V_v^2 - 0.0847 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.7335 - 0.0730 \cdot T_d + 0.3566 \cdot H - 0.0391 \cdot H^2 + 3.4188 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 20.8131 - 0.0766 \cdot T_d + 1.7797 \cdot H - 0.0979 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 16.1058 - 0.0715 \cdot T_d - 0.5313 \cdot H + 5.4683 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 21.7114 - 0.0859 \cdot T_d + 3.5328 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3904 + 2.8676 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 10

Año 2010

- $H_{eq} = 30.1114 - 0.0964 \cdot T_d - 0.0223 \cdot W_a - 0.0642 \cdot V_v + 0.8301 \cdot H$
- $H_{eq} = -11.1545 + 0.1756 \cdot T_d - 0.0109 \cdot W_a - 0.4638 \cdot V_v +$
 $+1.6014 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.00006 \cdot W_a^2 + 0.0587 \cdot V_v^2 - 0.0834 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.7471 - 0.0679 \cdot T_d + 0.6129 \cdot H - 0.0440 \cdot H^2 + 2.7874 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 19.2963 - 0.0707 \cdot T_d + 1.7563 \cdot H - 0.0913 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 14.7751 - 0.0659 \cdot T_d - 0.3832 \cdot H + 5.1172 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.9094 - 0.0727 \cdot T_d + 3.6801 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4284 + 3.0107 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 39.5453 - 0.1248 \cdot T_d - 0.0366 \cdot W_a - 0.1245 \cdot V_v + 0.7852 \cdot H$
- $H_{eq} = 121.9130 - 0.7316 \cdot T_d - 0.0414 \cdot W_a - 0.4296 \cdot V_v +$
 $+1.7779 \cdot H - 0.0010 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0637 \cdot V_v^2 - 0.0970 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.7585 - 0.0772 \cdot T_d - 0.1294 \cdot H - 0.0219 \cdot H^2 + 4.9824 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 23.4347 - 0.0859 \cdot T_d + 1.8634 \cdot H - 0.1001 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.2779 - 0.0749 \cdot T_d - 0.6666 \cdot H + 6.2888 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 21.5313 - 0.0856 \cdot T_d + 3.7313 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.3527 + 2.9795 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 29.3568 - 0.0912 \cdot T_d - 0.0260 \cdot W_a - 0.1220 \cdot V_v + 0.7439 \cdot H$
- $H_{eq} = 62.1885 - 0.3690 \cdot T_d + 0.0108 \cdot W_a - 0.5707 \cdot V_v +$
 $+1.6488 \cdot H + 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0670 \cdot V_v^2 - 0.0915 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.3748 - 0.0555 \cdot T_d + 0.0911 \cdot H - 0.0328 \cdot H^2 + 4.2303 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 16.5543 - 0.0607 \cdot T_d + 1.7920 \cdot H - 0.0999 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 10.6594 - 0.0535 \cdot T_d - 0.6948 \cdot H + 6.11547 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 17.1469 - 0.0687 \cdot T_d + 3.5035 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.1676 + 2.8926 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 29.2695 - 0.0940 \cdot T_d - 0.0184 \cdot W_a - 0.1143 \cdot V_v + 0.8234 \cdot H$
2. $H_{eq} = 146.0290 + 0.9538 \cdot T_d - 0.0339 \cdot W_a + 0.5146 \cdot V_v +$
 $+1.6070 \cdot H + 0.0015 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0761 \cdot V_v^2 - 0.0798 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.3634 - 0.0670 \cdot T_d + 1.1422 \cdot H - 0.0624 \cdot H^2 + 1.3979 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.6719 - 0.0684 \cdot T_d + 1.7032 \cdot H - 0.0849 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.3189 - 0.0639 \cdot T_d - 0.3199 \cdot H + 4.8969 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.9778 - 0.0695 \cdot T_d + 3.6604 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5396 + 3.0558 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 23.8434 - 0.0729 \cdot T_d - 0.0209 \cdot W_a - 0.1253 \cdot V_v + 0.7615 \cdot H$
2. $H_{eq} = 138.9350 - 0.9082 \cdot T_d + 0.0465 \cdot W_a - 0.2764 \cdot V_v +$
 $+1.6053 \cdot H + 0.0014 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0290 \cdot V_v^2 - 0.0845 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.1301 - 0.0588 \cdot T_d + 0.0176 \cdot H - 0.0272 \cdot H^2 + 4.4356 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.4096 - 0.0639 \cdot T_d + 1.8131 \cdot H - 0.0996 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 11.6361 - 0.0568 \cdot T_d - 0.6178 \cdot H + 5.9438 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.4191 - 0.0628 \cdot T_d + 3.5501 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5435 + 3.0744 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 31.3312 - 0.1023 \cdot T_d - 0.0132 \cdot W_a - 0.1283 \cdot V_v + 0.8311 \cdot H$
2. $H_{eq} = 33.7038 - 0.1573 \cdot T_d + 0.0124 \cdot W_a - 0.5888 \cdot V_v +$
 $+1.8353 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0735 \cdot V_v^2 - 0.0961 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.9573 - 0.0842 \cdot T_d - 1.1385 \cdot H + 0.0195 \cdot H^2 + 7.5504 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 24.2467 - 0.0883 \cdot T_d + 1.7952 \cdot H - 0.0926 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.9259 - 0.0848 \cdot T_d - 0.6544 \cdot H + 6.3462 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 23.5222 - 0.0927 \cdot T_d + 3.7491 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.1502 + 2.8867 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 11

Año 2010

1. $H_{eq} = 30.1676 - 0.0967 \cdot T_d - 0.0224 \cdot W_a - 0.0603 \cdot V_v + 0.8354 \cdot H$
2. $H_{eq} = -17.8882 + 0.2231 \cdot T_d - 0.0202 \cdot W_a - 0.4303 \cdot V_v +$
 $+1.7006 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 + 0.00001 \cdot W_a^2 + 0.0548 \cdot V_v^2 - 0.0927 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.2004 - 0.0683 \cdot T_d + 0.9828 \cdot H - 0.0637 \cdot H^2 + 2.0634 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.0874 - 0.0704 \cdot T_d + 1.8292 \cdot H - 0.0988 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.3428 - 0.0654 \cdot T_d - 0.4607 \cdot H + 5.4393 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.1104 - 0.0735 \cdot T_d + 3.7118 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4538 + 3.0346 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

1. $H_{eq} = 39.1970 - 0.1237 \cdot T_d + 0.0363 \cdot W_a - 0.1229 \cdot V_v + 0.7847 \cdot H$
2. $H_{eq} = 112.1390 - 0.6638 \cdot T_d - 0.0421 \cdot W_a - 0.4318 \cdot V_v +$
 $+1.7750 \cdot H + 0.0009 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0643 \cdot V_v^2 - 0.0967 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.6606 - 0.0766 \cdot T_d - 0.0805 \cdot H - 0.0238 \cdot H^2 + 4.8510 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 23.1871 - 0.0851 \cdot T_d + 1.8598 \cdot H - 0.0998 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 16.0575 - 0.0740 \cdot T_d - 0.6621 \cdot H + 6.2655 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 21.2757 - 0.0847 \cdot T_d + 3.7252 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3748 + 2.9811 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

1. $H_{eq} = 28.7083 - 0.0896 \cdot T_d - 0.0240 \cdot W_a - 0.1285 \cdot V_v + 0.7586 \cdot H$
2. $H_{eq} = 41.7172 - 0.2277 \cdot T_d + 0.0170 \cdot W_a - 0.5891 \cdot V_v +$
 $+1.6380 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0682 \cdot V_v^2 - 0.0894 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.5747 - 0.0559 \cdot T_d + 0.1406 \cdot H - 0.0337 \cdot H^2 + 4.0884 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.614 - 0.0610 \cdot T_d + 1.7844 \cdot H - 0.0985 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.8169 - 0.0539 \cdot T_d - 0.6647 \cdot H + 6.0201 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.0239 - 0.0685 \cdot T_d + 3.5212 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2158 + 2.9128 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 24.5498 - 0.0783 \cdot T_d - 0.0113 \cdot W_a - 0.1431 \cdot V_v + 0.8016 \cdot H$
2. $H_{eq} = 20.9579 - 0.0818 \cdot T_d + 0.0288 \cdot W_a - 0.5437 \cdot V_v +$
 $+1.5815 \cdot H + 0.00002 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0747 \cdot V_v^2 - 0.0812 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.8566 - 0.0532 \cdot T_d + 0.0317 \cdot H - 0.0228 \cdot H^2 + 4.1699 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.7597 - 0.0574 \cdot T_d + 1.7049 \cdot H - 0.0899 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.7411 - 0.0521 \cdot T_d - 0.5040 \cdot H + 5.4519 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.9297 - 0.0608 \cdot T_d + 3.5040 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2889 + 2.9745 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 24.1967 - 0.0743 \cdot T_d - 0.0205 \cdot W_a - 0.1278 \cdot V_v + 0.7612 \cdot H$
2. $H_{eq} = 133.439 - 0.8681 \cdot T_d + 0.0452 \cdot W_a - 0.2867 \cdot V_v +$
 $+1.6059 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0302 \cdot V_v^2 - 0.0846 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.5500 - 0.0604 \cdot T_d + 0.0116 \cdot H - 0.0269 \cdot H^2 + 4.4433 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.8368 - 0.0655 \cdot T_d + 1.8102 \cdot H - 0.0995 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.0696 - 0.0584 \cdot T_d - 0.6180 \cdot H + 5.9377 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.8539 - 0.0644 \cdot T_d + 3.5431 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5315 + 3.0556 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 31.2669 - 0.1022 \cdot T_d - 0.0130 \cdot W_a - 0.1267 \cdot V_v + 0.8289 \cdot H$
2. $H_{eq} = 28.9198 - 0.1238 \cdot T_d + 0.0125 \cdot W_a - 0.5897 \cdot V_v +$
 $+1.8280 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0738 \cdot V_v^2 - 0.0956 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 18.0899 - 0.0843 \cdot T_d - 1.0774 \cdot H + 0.0172 \cdot H^2 + 7.3795 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 24.2369 - 0.0883 \cdot T_d + 1.7899 \cdot H - 0.0923 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.9462 - 0.0848 \cdot T_d - 0.6495 \cdot H + 6.3150 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 23.5082 - 0.0927 \cdot T_d + 3.7373 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.1581 + 2.8751 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 12

Año 2010

- $H_{eq} = 33.8621 - 0.1091 \cdot T_d - 0.0258 \cdot W_a - 0.1081 \cdot V_v + 0.7822 \cdot H$
- $H_{eq} = -69.3411 + 0.5946 \cdot T_d - 0.0302 \cdot W_a - 0.1752 \cdot V_v + 1.5283 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0140 \cdot V_v^2 - 0.0789 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 20.7579 - 0.0805 \cdot T_d + 0.8018 \cdot H - 0.0503 \cdot H^2 + 2.0760 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 22.7386 - 0.0831 \cdot T_d + 1.6611 \cdot H - 0.0859 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.5397 - 0.0782 \cdot T_d - 0.3339 \cdot H + 4.7068 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 21.9015 - 0.0865 \cdot T_d + 3.4769 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.2147 + 2.7261 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 40.3198 - 0.1274 \cdot T_d - 0.0384 \cdot W_a - 0.1924 \cdot V_v + 0.7553 \cdot H$
- $H_{eq} = 123.136 - 0.7434 \cdot T_d - 0.0484 \cdot W_a - 0.2996 \cdot V_v + 1.6425 \cdot H - 0.0011 \cdot T_d^2 + 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0538 \cdot V_v^2 - 0.0884 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 21.6658 - 0.0849 \cdot T_d + 0.6366 \cdot H - 0.0467 \cdot H^2 + 2.5992 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 24.9029 - 0.0908 \cdot T_d + 1.7215 \cdot H - 0.0914 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.6675 - 0.0794 \cdot T_d - 0.4355 \cdot H + 5.0773 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 22.9717 - 0.0900 \cdot T_d + 3.4795 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.2500 + 2.7619 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 28.1659 - 0.0877 \cdot T_d - 0.0264 \cdot W_a - 0.1433 \cdot V_v + 0.7110 \cdot H$
- $H_{eq} = -24.8782 + 0.2439 \cdot T_d - 0.0246 \cdot W_a - 0.2742 \cdot V_v + 1.6400 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0132 \cdot V_v^2 - 0.0921 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 13.7060 - 0.0572 \cdot T_d + 0.2722 \cdot H - 0.0321 \cdot H^2 + 3.2385 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 16.7985 - 0.0611 \cdot T_d + 1.6074 \cdot H - 0.0868 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.2308 - 0.0556 \cdot T_d - 0.4649 \cdot H + 4.9599 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 16.7920 - 0.0669 \cdot T_d + 3.2626 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.0959 + 2.6933 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 30.5019 - 0.0952 \cdot T_d - 0.0280 \cdot W_a - 0.1638 \cdot V_v + 0.7454 \cdot H$
2. $H_{eq} = 96.6445 - 0.5919 \cdot T_d - 0.0080 \cdot W_a - 0.2669 \cdot V_v +$
 $+1.5586 \cdot H + 0.0009 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0337 \cdot V_v^2 - 0.0865 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.5494 - 0.0684 \cdot T_d + 0.1855 \cdot H - 0.0261 \cdot H^2 + 3.5741 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.7809 - 0.0720 \cdot T_d + 1.666 \cdot H - 0.0885 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.4337 - 0.0674 \cdot T_d - 0.3985 \cdot H + 4.9293 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.9678 - 0.0755 \cdot T_d + 3.4434 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2457 + 2.8072 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 26.5914 - 0.0796 \cdot T_d - 0.0312 \cdot W_a - 0.2200 \cdot V_v + 0.6686 \cdot H$
2. $H_{eq} = 96.3352 - 0.5898 \cdot T_d + 0.0068 \cdot W_a - 0.3562 \cdot V_v +$
 $+1.5125 \cdot H + 0.0009 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0403 \cdot V_v^2 - 0.0834 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.8783 - 0.0680 \cdot T_d + 0.5100 \cdot H - 0.0438 \cdot H^2 + 2.8155 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.5994 - 0.0715 \cdot T_d + 1.6862 \cdot H - 0.0930 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.6459 - 0.0647 \cdot T_d - 0.4723 \cdot H + 5.0656 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.8729 - 0.0709 \cdot T_d + 3.2871 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3590 + 2.7822 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 33.4034 - 0.1093 \cdot T_d - 0.0186 \cdot W_a - 0.0562 \cdot V_v + 0.7625 \cdot H$
2. $H_{eq} = -7.8710 + 0.1545 \cdot T_d - 0.0563 \cdot W_a - 0.3853 \cdot V_v +$
 $+1.8877 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 + 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0691 \cdot V_v^2 - 0.1070 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 23.1881 - 0.0924 \cdot T_d + 0.2568 \cdot H - 0.0335 \cdot H^2 + 3.5603 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 25.6809 - 0.0934 \cdot T_d + 1.7145 \cdot H - 0.0930 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 22.0314 - 0.0921 \cdot T_d - 0.5140 \cdot H + 5.3690 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 26.3798 - 0.1019 \cdot T_d + 3.4444 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -0.9094 + 2.5669 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 13

Año 2010

- $H_{eq} = 26.8102 - 0.0875 \cdot T_d - 0.0176 \cdot W_a - 0.0240 \cdot V_v + 0.8036 \cdot H$
- $H_{eq} = 45.2592 - 0.2282 \cdot T_d - 0.0449 \cdot W_a - 0.1207 \cdot V_v +$
 $+1.3331 \cdot H + 0.0002 \cdot T_d^2 + 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0239 \cdot V_v^2 - 0.0538 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.5264 - 0.0680 \cdot T_d + 0.3562 \cdot H - 0.0105 \cdot H^2 + 2.3549 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 19.7731 - 0.0708 \cdot T_d + 1.3310 \cdot H - 0.0510 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.0590 - 0.0675 \cdot T_d + 0.1169 \cdot H + 2.9092 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.8819 - 0.0646 \cdot T_d + 3.3398 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.3720 + 2.7795 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 41.7069 - 0.1320 \cdot T_d - 0.0394 \cdot W_a - 0.1999 \cdot V_v + 0.7791 \cdot H$
- $H_{eq} = 129.0020 - 0.7807 \cdot T_d - 0.0493 \cdot W_a - 0.3043 \cdot V_v +$
 $+1.6972 \cdot H + 0.0012 \cdot T_d^2 + 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0540 \cdot V_v^2 - 0.0915 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 22.5116 - 0.0882 \cdot T_d + 0.6434 \cdot H - 0.0478 \cdot H^2 + 2.7156 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 25.8936 - 0.0944 \cdot T_d + 1.7769 \cdot H - 0.0945 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.4427 - 0.0826 \cdot T_d - 0.4540 \cdot H + 5.2521 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 23.9289 - 0.0937 \cdot T_d + 3.5866 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.2646 + 2.8403 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 33.1359 - 0.1036 \cdot T_d - 0.0319 \cdot W_a - 0.1351 \cdot V_v + 0.7276 \cdot H$
- $H_{eq} = 89.3695 - 0.5508 \cdot T_d - 0.0020 \cdot W_a - 0.2552 \cdot V_v +$
 $+1.6420 \cdot H + 0.0008 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0109 \cdot V_v^2 - 0.0916 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.7817 - 0.0687 \cdot T_d + 0.2833 \cdot H - 0.0340 \cdot H^2 + 3.4218 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.0492 - 0.0728 \cdot T_d + 1.6941 \cdot H - 0.0918 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.2182 - 0.0670 \cdot T_d - 0.4979 \cdot H + 5.2463 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.1034 - 0.0792 \cdot T_d + 3.4284 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.0615 + 2.7548 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 31.5567 - 0.0984 \cdot T_d + 0.0291 \cdot W_a - 0.1735 \cdot V_v + 0.7627 \cdot H$
2. $H_{eq} = 105.1550 + 0.6492 \cdot T_d - 0.0065 \cdot W_a - 0.2830 \cdot V_v +$
 $+1.5994 \cdot H + 0.0010 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0355 \cdot V_v^2 - 0.0889 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.1149 - 0.0707 \cdot T_d + 0.1811 \cdot H - 0.0267 \cdot H^2 + 3.6976 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 20.4580 - 0.0744 \cdot T_d + 1.7132 \cdot H - 0.0913 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.9750 - 0.0696 \cdot T_d - 0.4156 \cdot H + 5.0823 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 19.6609 - 0.0781 \cdot T_d + 3.5325 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2470 + 2.8745 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 27.062 - 0.0809 \cdot T_d - 0.0317 \cdot W_a - 0.2331 \cdot V_v + 0.6221 \cdot H$
2. $H_{eq} = 84.9874 - 0.5079 \cdot T_d + 0.0043 \cdot W_a - 0.3615 \cdot V_v +$
 $+1.5471 \cdot H + 0.0007 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0387 \cdot V_v^2 - 0.0846 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.1435 - 0.0689 \cdot T_d + 0.5400 \cdot H - 0.0447 \cdot H^2 + 2.8329 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.8815 - 0.0725 \cdot T_d + 1.7235 \cdot H - 0.0943 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.8629 - 0.0656 \cdot T_d - 0.4635 \cdot H + 5.1317 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.0296 - 0.0716 \cdot T_d + 3.3864 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4088 + 2.8760 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 34.0654 - 0.1125 \cdot T_d - 0.0163 \cdot W_a - 0.0531 \cdot V_v + 0.8185 \cdot H$
2. $H_{eq} = -17.7721 + 0.2259 \cdot T_d - 0.0491 \cdot W_a - 0.3984 \cdot V_v +$
 $+1.8962 \cdot H - 0.0006 \cdot T_d^2 + 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0717 \cdot V_v^2 - 0.1024 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 24.1259 - 0.0969 \cdot T_d + 0.0377 \cdot H - 0.0206 \cdot H^2 + 4.1320 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 27.0190 - 0.0980 \cdot T_d + 1.7295 \cdot H - 0.0897 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 23.4128 - 0.0967 \cdot T_d - 0.4374 \cdot H + 5.2470 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 27.1132 - 0.1051 \cdot T_d + 3.6092 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.0153 + 2.1048 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 14

Año 2010

- $H_{eq} = 32.9299 - 0.1043 \cdot T_d - 0.0303 \cdot W_a - 0.1436 \cdot V_v + 0.7787 \cdot H$
- $H_{eq} = -64.4341 + 0.5581 \cdot T_d - 0.0296 \cdot W_a - 0.2125 \cdot V_v +$
 $+1.4824 \cdot H - 0.0012 \cdot T_d^2 + 0.00003 \cdot W_a^2 + 0.0139 \cdot V_v^2 - 0.0747 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 19.0861 - 0.0741 \cdot T_d + 0.9003 \cdot H - 0.0522 \cdot H^2 + 1.8245 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.8268 - 0.0763 \cdot T_d + 1.6556 \cdot H - 0.0835 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 16.7818 - 0.0717 \cdot T_d - 0.2795 \cdot H + 4.5574 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 19.5954 - 0.0787 \cdot T_d + 3.5280 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4114 + 2.8458 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 40.8123 - 0.1287 \cdot T_d - 0.0399 \cdot W_a - 0.2146 \cdot V_v + 0.7765 \cdot H$
- $H_{eq} = 123.7320 - 0.7464 \cdot T_d - 0.0492 \cdot W_a - 0.3449 \cdot V_v +$
 $+1.6834 \cdot H + 0.0011 \cdot T_d^2 + 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0596 \cdot V_v^2 - 0.0904 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 21.7746 - 0.0851 \cdot T_d + 0.7624 \cdot H - 0.0525 \cdot H^2 + 2.4210 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 24.7898 - 0.0906 \cdot T_d + 1.7728 \cdot H - 0.0942 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.401 - 0.0789 \cdot T_d - 0.4440 \cdot H + 5.2093 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 22.7885 - 0.0897 \cdot T_d + 3.5805 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.3509 + 2.8654 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 27.9096 - 0.0834 \cdot T_d - 0.0357 \cdot W_a - 0.0932 \cdot V_v + 0.6537 \cdot H$
- $H_{eq} = 122.356 - 0.8094 \cdot T_d + 0.0329 \cdot W_a - 0.3843 \cdot V_v +$
 $+1.5342 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0424 \cdot V_v^2 - 0.0898 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 7.4717 - 0.0414 \cdot T_d - 0.8250 \cdot H - 0.0039 \cdot H^2 + 6.1452 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 13.3398 - 0.0487 \cdot T_d + 1.7086 \cdot H - 0.0998 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 7.6515 - 0.0416 \cdot T_d - 0.7353 \cdot H + 5.9355 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 18.8647 - 0.0595 \cdot T_d + 3.2513 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.0408 + 2.7451 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 31.2596 - 0.0965 \cdot T_d - 0.0318 \cdot W_a - 0.1848 \cdot V_v + 0.7498 \cdot H$
2. $H_{eq} = 132.1400 - 0.8400 \cdot T_d - 0.0119 \cdot W_a - 0.3083 \cdot V_v +$
 $+1.6030 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0398 \cdot V_v^2 - 0.0900 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.1666 - 0.0675 \cdot T_d + 0.1622 \cdot H - 0.0255 \cdot H^2 + 3.7244 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.5340 - 0.0712 \cdot T_d + 1.7055 \cdot H - 0.0905 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.0789 - 0.0664 \cdot T_d - 0.4072 \cdot H + 5.0456 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.6894 - 0.0748 \cdot T_d + 3.5275 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3185 + 2.8978 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 27.3792 - 0.0817 \cdot T_d - 0.0330 \cdot W_a - 0.2413 \cdot V_v + 0.6895 \cdot H$
2. $H_{eq} = 118.3150 - 0.7421 \cdot T_d + 0.0108 \cdot W_a - 0.3873 \cdot V_v +$
 $+1.5419 \cdot H + 0.0012 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0427 \cdot V_v^2 - 0.0842 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.1775 - 0.0691 \cdot T_d + 0.5730 \cdot H - 0.0464 \cdot H^2 + 2.7794 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.8637 - 0.0726 \cdot T_d + 1.7341 \cdot H - 0.0951 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.8106 - 0.0656 \cdot T_d - 0.4685 \cdot H + 5.1651 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.0116 - 0.0718 \cdot T_d + 3.4009 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4554 + 2.8898 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 33.6753 - 0.1110 \cdot T_d - 0.0166 \cdot W_a - 0.0676 \cdot V_v + 0.8214 \cdot H$
2. $H_{eq} = -7.9019 + 0.1554 \cdot T_d - 0.0506 \cdot W_a - 0.4282 \cdot V_v +$
 $+1.9048 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 + 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0755 \cdot V_v^2 - 0.1030 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 23.7887 - 0.0955 \cdot T_d + 0.0882 \cdot H - 0.0222 \cdot H^2 + 4.0057 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 26.5933 - 0.0966 \cdot T_d + 1.7282 \cdot H - 0.0893 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 23.0208 - 0.0954 \cdot T_d - 0.4235 \cdot H + 5.2064 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 26.6032 - 0.1034 \cdot T_d + 3.6208 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.0844 + 2.7305 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 15

Año 2010

- $H_{eq} = 23.5536 - 0.0732 \cdot T_d - 0.0213 \cdot W_a - 0.1005 \cdot V_v + 0.8680 \cdot H$
- $H_{eq} = 2.05527 - 0.0403 \cdot T_d - 0.0040 \cdot W_a - 0.4361 \cdot V_v +$
 $+1.6398 \cdot H - 0.0010 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0416 \cdot V_v^2 - 0.0842 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 10.7957 - 0.0456 \cdot T_d + 0.9397 \cdot H - 0.0560 \cdot H^2 + 2.1206 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 12.6183 - 0.0473 \cdot T_d + 1.8100 \cdot H - 0.0920 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 8.5031 - 0.0436 \cdot T_d - 0.3231 \cdot H + 5.0524 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 11.0426 - 0.0489 \cdot T_d + 3.8273 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -2.0005 + 3.4055 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 31.2876 - 0.0952 \cdot T_d - 0.0344 \cdot W_a - 0.1489 \cdot V_v + 0.7731 \cdot H$
- $H_{eq} = 124.088 - 0.8185 \cdot T_d + 0.0813 \cdot W_a - 0.4170 \cdot V_v +$
 $+1.4565 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0008 \cdot W_a^2 + 0.0321 \cdot V_v^2 - 0.0750 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 26.5860 - 0.0827 \cdot T_d + 4.1122 \cdot H - 0.1763 \cdot H^2 - 5.8746 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.3823 - 0.0741 \cdot T_d + 1.7556 \cdot H - 0.0837 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.8274 - 0.0670 \cdot T_d - 0.1443 \cdot H + 4.3806 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 16.9357 - 0.0692 \cdot T_d + 3.8229 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5580 + 3.2308 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 31.2560 - 0.0951 \cdot T_d - 0.0344 \cdot W_a - 0.1504 \cdot V_v + 0.7746 \cdot H$
- $H_{eq} = 123.9450 - 0.8176 \cdot T_d + 0.0812 \cdot W_a - 0.4187 \cdot V_v +$
 $+1.4583 \cdot H + 0.0013 \cdot T_d^2 - 0.0008 \cdot W_a^2 + 0.0323 \cdot V_v^2 - 0.0751 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.7582 - 0.0506 \cdot T_d + 1.1878 \cdot H - 0.0708 \cdot H^2 + 1.5509 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 14.3582 - 0.0528 \cdot T_d + 1.8127 \cdot H - 0.0953 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 9.0629 - 0.0461 \cdot T_d - 0.5055 \cdot H + 5.5846 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 14.2891 - 0.0590 \cdot T_d + 3.6836 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.4493 + 3.1885 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 33.9048 - 0.1070 \cdot T_d - 0.0287 \cdot W_a - 0.1267 \cdot V_v + 0.8469 \cdot H$
2. $H_{eq} = 94.2734 - 0.5648 \cdot T_d + 0.0175 \cdot W_a - 0.2841 \cdot V_v +$
 $+1.6045 \cdot H + 0.0008 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0326 \cdot V_v^2 - 0.0813 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.2546 - 0.0664 \cdot T_d + 0.5227 \cdot H - 0.0350 \cdot H^2 + 3.0731 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.9846 - 0.0691 \cdot T_d + 1.7717 \cdot H - 0.0861 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.7545 - 0.0651 \cdot T_d - 0.2732 \cdot H + 4.9423 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.0463 - 0.0700 \cdot T_d + 3.8919 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -16172 + 3.3076 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 26.7469 - 0.0790 \cdot T_d - 0.0327 \cdot W_a - 0.1664 \cdot V_v + 0.7686 \cdot H$
2. $H_{eq} = 66.6908 - 0.3852 \cdot T_d + 0.0385 \cdot W_a - 0.3783 \cdot V_v +$
 $+1.6730 \cdot H + 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0312 \cdot V_v^2 - 0.0924 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.0539 - 0.0584 \cdot T_d + 0.1806 \cdot H - 0.0354 \cdot H^2 + 4.3011 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.9929 - 0.0626 \cdot T_d + 1.9340 \cdot H - 0.1068 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 11.2301 - 0.0560 \cdot T_d - 0.6391 \cdot H + 6.2305 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.9077 - 0.0614 \cdot T_d + 3.7495 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6949 + 3.3105 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 28.9223 - 0.0885 \cdot T_d - 0.0250 \cdot W_a - 0.1781 \cdot V_v + 0.7330 \cdot H$
2. $H_{eq} = -92.0234 + 0.7183 \cdot T_d + 0.0178 \cdot W_a - 0.6069 \cdot V_v +$
 $+1.7877 \cdot H - 0.0014 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0716 \cdot V_v^2 - 0.1049 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.0948 - 0.0571 \cdot T_d - 0.5460 \cdot H - 0.0187 \cdot H^2 + 6.3843 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.5189 - 0.0612 \cdot T_d + 1.9559 \cdot H - 0.1161 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.1842 - 0.0565 \cdot T_d - 1.0029 \cdot H + 7.5096 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.4724 - 0.0696 \cdot T_d + 3.5455 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.0701 + 2.9192 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 16

Año 2010

- $H_{eq} = 15.9034 - 0.0333 \cdot T_d - 0.0568 \cdot W_a - 0.1529 \cdot V_v + 0.4893 \cdot H$
- $H_{eq} = -233.314 + 1.6961 \cdot T_d + 0.0805 \cdot W_a - 0.4640 \cdot V_v +$
 $+0.5951 \cdot H - 0.0031 \cdot T_d^2 - 0.0010 \cdot W_a^2 + 0.0494 \cdot V_v^2 - 0.0136 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 7.9890 - 0.0220 \cdot T_d + 1.9057 \cdot H - 0.0766 \cdot H^2 - 2.0172 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 6.2228 - 0.0200 \cdot T_d + 1.0439 \cdot H - 0.0395 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 5.2667 - 0.0197 \cdot T_d + 0.2472 \cdot H + 1.6812 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 2.6751 - 0.0130 \cdot T_d + 2.5861 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -0.8228 + 2.4002 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

- $H_{eq} = 34.2324 - 0.1050 \cdot T_d - 0.0429 \cdot W_a - 0.2360 \cdot V_v + 0.7635 \cdot H$
- $H_{eq} = 72.5880 - 0.4182 \cdot T_d + 0.0264 \cdot W_a - 0.3228 \cdot V_v +$
 $+1.4084 \cdot H + 0.0006 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0370 \cdot V_v^2 - 0.0652 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 25.9872 - 0.0940 \cdot T_d + 1.7519 \cdot H - 0.08333 \cdot H^2 - 0.3437 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 25.5068 - 0.0930 \cdot T_d + 1.6041 \cdot H - 0.0770 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 20.7811 - 0.0833 \cdot T_d - 0.0705 \cdot H + 3.7076 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 21.6896 - 0.0859 \cdot T_d + 3.4587 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.5113 + 2.8600 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

- $H_{eq} = 25.1519 - 0.0711 \cdot T_d - 0.0424 \cdot W_a - 0.2463 \cdot V_v + 0.6038 \cdot H$
- $H_{eq} = 86.5035 - 0.5701 \cdot T_d + 0.1478 \cdot W_a - 0.3089 \cdot V_v +$
 $+1.1904 \cdot H + 0.0009 \cdot T_d^2 - 0.0012 \cdot W_a^2 + 0.0019 \cdot V_v^2 - 0.0601 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 12.5593 - 0.0483 \cdot T_d + 0.9782 \cdot H - 0.0620 \cdot H^2 + 1.3096 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 13.9499 - 0.0504 \cdot T_d + 1.5319 \cdot H - 0.0852 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 10.0712 - 0.0454 \cdot T_d - 0.3857 \cdot H + 4.3731 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 14.9192 - 0.0587 \cdot T_d + 2.9896 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -0.8782 + 2.5650 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 23.7825 - 0.0764 \cdot T_d - 0.0136 \cdot W_a - 0.2823 \cdot V_v + 0.7933 \cdot H$
2. $H_{eq} = 92.3683 - 0.6035 \cdot T_d + 0.0994 \cdot W_a - 0.6100 \cdot V_v +$
 $+1.3212 \cdot H + 0.0010 \cdot T_d^2 - 0.0008 \cdot W_a^2 + 0.0648 \cdot V_v^2 - 0.0627 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.8042 - 0.0515 \cdot T_d + 0.7857 \cdot H - 0.0472 \cdot H^2 + 1.8404 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.5352 - 0.0536 \cdot T_d + 1.5547 \cdot H - 0.0800 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.9126 - 0.0496 \cdot T_d - 0.2386 \cdot H + 4.1669 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 13.2001 - 0.0551 \cdot T_d + 3.2840 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5842 + 2.8881 \cdot \sqrt{H}$

Año 2014

1. $H_{eq} = 15.8539 - 0.0446 \cdot T_d - 0.0242 \cdot W_a - 0.2591 \cdot V_v + 0.6637 \cdot H$
2. $H_{eq} = 221.1330 - 1.5126 \cdot T_d + 0.0878 \cdot W_a - 0.6825 \cdot V_v +$
 $+1.0154 \cdot H + 0.0026 \cdot T_d^2 - 0.0009 \cdot W_a^2 + 0.0795 \cdot V_v^2 - 0.0460 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 5.9365 - 0.0299 \cdot T_d - 0.2666 \cdot H + 0.0056 \cdot H^2 + 3.7384 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 10.0086 - 0.0365 \cdot T_d + 1.3396 \cdot H - 0.0642 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 6.2168 - 0.0303 \cdot T_d - 0.1475 \cdot H + 3.4753 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 7.5826 - 0.0337 \cdot T_d + 2.9406 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5388 + 2.7161 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 19.2900 - 0.0550 \cdot T_d - 0.0338 \cdot W_a - 0.1650 \cdot V_v + 0.6477 \cdot H$
2. $H_{eq} = 134.5760 - 0.9047 \cdot T_d + 0.0613 \cdot W_a - 0.4634 \cdot V_v +$
 $+1.0736 \cdot H + 0.0015 \cdot T_d^2 - 0.0006 \cdot W_a^2 + 0.0557 \cdot V_v^2 - 0.0475 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 9.4745 - 0.0413 \cdot T_d + 0.0673 \cdot H - 0.0066 \cdot H^2 + 2.9774 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 11.8972 - 0.0437 \cdot T_d + 1.3303 \cdot H - 0.0602 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.2601 - 0.0412 \cdot T_d - 0.0772 \cdot H + 3.3027 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 10.1229 - 0.0435 \cdot T_d + 3.0262 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6442 + 2.7257 \cdot \sqrt{H}$

Anexo 2: “Correlaciones específicas para cada instalación, para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} .”

Instalación 1

1. $H_{eq} = 31.3056 - 0.0982 \cdot T_d - 0.0298 \cdot W_a - 0.1300 \cdot V_v + 0.8285 \cdot H$
2. $H_{eq} = -6.4428 + 0.1312 \cdot T_d + 0.0185 \cdot W_a - 0.3762 \cdot V_v + 1.5780 \cdot H - 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0420 \cdot V_v^2 - 0.0788 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.3367 - 0.0697 \cdot T_d + 0.8081 \cdot H - 0.0521 \cdot H^2 + 2.4778 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.7746 - 0.0729 \cdot T_d + 1.8285 \cdot H - 0.0941 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.7644 - 0.0664 \cdot T_d - 0.3819 \cdot H + 5.2539 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.0967 - 0.0741 \cdot T_d + 3.8332 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7523 + 3.2125 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 2

1. $H_{eq} = 28.7102 - 0.0896 \cdot T_d - 0.0275 \cdot W_a - 0.1237 \cdot V_v + 0.8202 \cdot H$
2. $H_{eq} = 29.2348 - 0.1302 \cdot T_d + 0.0104 \cdot W_a - 0.3730 \cdot V_v + 1.6639 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.04480 \cdot V_v^2 - 0.0874 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.7939 - 0.0632 \cdot T_d + 1.0242 \cdot H - 0.0640 \cdot H^2 + 1.9867 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.7486 - 0.0657 \cdot T_d + 1.8423 \cdot H - 0.0976 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.6359 - 0.0592 \cdot T_d - 0.4368 \cdot H + 5.3949 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.4470 - 0.0679 \cdot T_d + 3.7700 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7520 + 3.2009 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 3

1. $H_{eq} = 22.1803 - 0.0685 \cdot T_d - 0.0193 \cdot W_a - 0.0926 \cdot V_v + 0.7390 \cdot H$
2. $H_{eq} = 44.1238 - 0.2622 \cdot T_d + 0.0490 \cdot W_a - 0.2758 \cdot V_v + 1.3503 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0005 \cdot W_a^2 + 0.0301 \cdot V_v^2 - 0.0654 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.6961 - 0.0493 \cdot T_d + 0.9497 \cdot H - 0.0547 \cdot H^2 + 1.4848 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.1571 - 0.0512 \cdot T_d + 1.5612 \cdot H - 0.0799 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.9933 - 0.0459 \cdot T_d - 0.3007 \cdot H + 4.4019 \cdot \sqrt{H}$

$$6. H_{eq} = 12.6170 - 0.0519 \cdot T_d + 3.2832 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.2917 + 2.8483 \cdot \sqrt{H}$$

Instalación 4

$$1. H_{eq} = 28.6918 - 0.0901 \cdot T_d - 0.0256 \cdot W_a - 0.1542 \cdot V_v + 0.8466 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = -16.1393 + 0.1886 \cdot T_d + 0.0220 \cdot W_a - 0.4204 \cdot V_v + \\ + 1.6266 \cdot H - 0.0005 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0455 \cdot V_v^2 - 0.0819 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 16.3135 - 0.0656 \cdot T_d + 0.9421 \cdot H - 0.0586 \cdot H^2 + 2.1991 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 18.4772 - 0.0684 \cdot T_d + 1.8477 \cdot H - 0.0958 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 13.4228 - 0.0619 \cdot T_d - 0.3952 \cdot H + 5.3188 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 16.8711 - 0.0698 \cdot T_d + 3.8487 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.8409 + 3.2635 \cdot \sqrt{H}$$

Instalación 5

$$1. H_{eq} = 29.7716 - 0.0929 \cdot T_d - 0.0286 \cdot W_a - 0.1571 \cdot V_v + 0.8296 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = 8.4487 + 0.0193 \cdot T_d + 0.0254 \cdot W_a - 0.4349 \cdot V_v + \\ + 1.5729 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0473 \cdot V_v^2 - 0.0783 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 16.9393 - 0.0668 \cdot T_d + 1.0866 \cdot H - 0.0635 \cdot H^2 + 1.7956 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 18.7060 - 0.06911 \cdot T_d + 1.8260 \cdot H - 0.0939 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 13.8063 - 0.0629 \cdot T_d - 0.3628 \cdot H + 5.1768 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 16.9718 - 0.0701 \cdot T_d + 3.8272 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.8125 + 3.2398 \cdot \sqrt{H}$$

Instalación 6

$$1. H_{eq} = 30.9531 - 0.0971 \cdot T_d - 0.0289 \cdot W_a - 0.1515 \cdot V_v + 0.8349 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = 28.4728 - 0.1183 \cdot T_d + 0.0258 \cdot W_a - 0.4182 \cdot V_v + \\ + 1.5810 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0458 \cdot V_v^2 - 0.0785 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 17.0356 - 0.0694 \cdot T_d + 0.6806 \cdot H - 0.0463 \cdot H^2 + 2.7886 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 19.7793 - 0.0729 \cdot T_d + 1.8289 \cdot H - 0.0935 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 14.7488 - 0.0665 \cdot T_d - 0.3773 \cdot H + 5.2565 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 18.0409 - 0.0740 \cdot T_d + 3.8529 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.7958 + 3.2326 \cdot \sqrt{H}$$

Instalación 7

1. $H_{eq} = 28.3204 - 0.0893 \cdot T_d - 0.0255 \cdot W_a - 0.0324 \cdot V_v + 0.7293 \cdot H$
2. $H_{eq} = 17.1175 - 0.0469 \cdot T_d + 0.0025 \cdot W_a - 0.1694 \cdot V_v +$
 $+1.5324 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0196 \cdot V_v^2 - 0.0807 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.7922 - 0.0555 \cdot T_d + 1.0222 \cdot H - 0.0634 \cdot H^2 + 1.6891 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.4120 - 0.0574 \cdot T_d + 1.7000 \cdot H - 0.0901 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.5217 - 0.0518 \cdot T_d - 0.4939 \cdot H + 5.3227 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.8991 - 0.0616 \cdot T_d + 3.4345 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5633 + 2.9069 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 8

1. $H_{eq} = 29.1299 - 0.0919 \cdot T_d - 0.0260 \cdot W_a - 0.0345 \cdot V_v + 0.7329 \cdot H$
2. $H_{eq} = 28.2225 - 0.1237 \cdot T_d + 0.0083 \cdot W_a - 0.1758 \cdot V_v +$
 $+1.5251 \cdot H - 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0002 \cdot W_a^2 + 0.0200 \cdot V_v^2 - 0.0799 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.2068 - 0.0574 \cdot T_d + 0.9657 \cdot H - 0.0613 \cdot H^2 + 1.8595 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.9902 - 0.0595 \cdot T_d + 1.7119 \cdot H - 0.0907 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 11.0433 - 0.0538 \cdot T_d - 0.5008 \cdot H + 5.3743 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.4820 - 0.0637 \cdot T_d + 3.4597 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5525 + 2.9138 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 9

1. $H_{eq} = 30.7069 - 0.0941 \cdot T_d - 0.0362 \cdot W_a - 0.0936 \cdot V_v + 0.7189 \cdot H$
2. $H_{eq} = 36.0832 - 0.1790 \cdot T_d + 0.0263 \cdot W_a - 0.2329 \cdot V_v +$
 $+1.4416 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0004 \cdot W_a^2 + 0.0291 \cdot V_v^2 - 0.0759 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.1918 - 0.0592 \cdot T_d + 0.3509 \cdot H - 0.0354 \cdot H^2 + 3.1810 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.5812 - 0.0645 \cdot T_d + 1.6977 \cdot H - 0.0924 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.5005 - 0.0567 \cdot T_d - 0.4286 \cdot H + 4.9370 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.9578 - 0.0682 \cdot T_d + 3.3836 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3691 + 2.8673 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 10

1. $H_{eq} = 30.5795 - 0.0970 \cdot T_d - 0.0228 \cdot W_a - 0.1139 \cdot V_v + 0.7949 \cdot H$
2. $H_{eq} = 51.4148 - 0.2749 \cdot T_d - 0.0021 \cdot W_a - 0.4437 \cdot V_v +$
 $+1.6722 \cdot H + 0.0003 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0558 \cdot V_v^2 - 0.0890 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.0115 - 0.0676 \cdot T_d + 0.2861 \cdot H - 0.0351 \cdot H^2 + 3.7237 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.6302 - 0.0719 \cdot T_d + 1.7846 \cdot H - 0.0948 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.1830 - 0.0655 \cdot T_d - 0.5415 \cdot H + 5.7046 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.6660 - 0.0750 \cdot T_d + 3.6390 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3757 + 2.9901 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 11

1. $H_{eq} = 29.7243 - 0.0942 \cdot T_d - 0.0213 \cdot W_a - 0.1196 \cdot V_v + 0.7940 \cdot H$
2. $H_{eq} = 29.5772 - 0.1241 \cdot T_d - 0.0022 \cdot W_a - 0.4610 \cdot V_v +$
 $+1.6879 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0575 \cdot V_v^2 - 0.0908 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.2986 - 0.0658 \cdot T_d + 0.1642 \cdot H - 0.0315 \cdot H^2 + 4.0508 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.2351 - 0.0705 \cdot T_d + 1.7943 \cdot H - 0.0966 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.6564 - 0.0639 \cdot T_d - 0.5791 \cdot H + 5.8299 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 18.4513 - 0.0741 \cdot T_d + 3.6206 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3507 + 2.9795 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 12

1. $H_{eq} = 31.8370 - 0.1010 \cdot T_d - 0.0263 \cdot W_a - 0.1458 \cdot V_v + 0.7458 \cdot H$
2. $H_{eq} = 26.8952 - 0.0974 \cdot T_d - 0.0261 \cdot W_a - 0.2927 \cdot V_v +$
 $+1.6357 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0374 \cdot V_v^2 - 0.0899 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 18.7673 - 0.0747 \cdot T_d + 5485 \cdot H - 0.0437 \cdot H^2 + 2.7313 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 21.4076 - 0.0781 \cdot T_d + 1.6838 \cdot H - 0.0909 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 16.7526 - 0.0722 \cdot T_d - 0.4365 \cdot H + 5.0058 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 20.9232 - 0.0824 \cdot T_d + 3.4005 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.1987 + 2.7324 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 13

- $H_{eq} = 31.9298 - 0.1014 \cdot T_d - 0.0258 \cdot W_a - 0.1393 \cdot V_v + 0.7717 \cdot H$
- $H_{eq} = 60.1145 - 0.3309 \cdot T_d - 0.0242 \cdot W_a - 0.2865 \cdot V_v +$
 $+1.6306 \cdot H + 0.0004 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0381 \cdot V_v^2 - 0.0866 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 18.9140 - 0.0755 \cdot T_d + 0.4337 \cdot H - 0.0352 \cdot H^2 + 2.9734 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 21.7882 - 0.0792 \cdot T_d + 1.6696 \cdot H - 0.0866 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.2865 - 0.0735 \cdot T_d - 0.3620 \cdot H + 4.8107 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.7453 - 0.0819 \cdot T_d + 3.4793 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.2484 + 2.8151 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 14

- $H_{eq} = 31.9069 - 0.1000 \cdot T_d - 0.02955 \cdot W_a - 0.1592 \cdot V_v + 0.7526 \cdot H$
- $H_{eq} = 58.3376 - 0.3209 \cdot T_d - 0.0180 \cdot W_a - 0.3309 \cdot V_v +$
 $+1.6397 \cdot H + 0.0004 \cdot T_d^2 + 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0425 \cdot V_v^2 - 0.0898 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 17.4775 - 0.0712 \cdot T_d + 0.3893 \cdot H - 0.0373 \cdot H^2 + 3.2060 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.5767 - 0.0752 \cdot T_d + 1.7219 \cdot H - 0.0927 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 15.7548 - 0.0691 \cdot T_d - 0.4529 \cdot H + 5.1508 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 20.0828 - 0.0796 \cdot T_d + 3.4850 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.2978 + 2.8393 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 15

- $H_{eq} = 30.3643 - 0.0935 \cdot T_d - 0.0298 \cdot W_a - 0.1466 \cdot V_v + 0.8058 \cdot H$
- $H_{eq} = 7.4048 + 0.0328 \cdot T_d + 0.0169 \cdot W_a - 0.3086 \cdot V_v +$
 $+1.6109 \cdot H - 0.0002 \cdot T_d^2 - 0.0003 \cdot W_a^2 + 0.0267 \cdot V_v^2 - 0.0845 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 14.8750 - 0.0592 \cdot T_d + 1.1097 \cdot H - 0.0678 \cdot H^2 + 1.8113 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 16.5851 - 0.0611 \cdot T_d + 1.8498 \cdot H - 0.0975 \cdot H^2$
- $H_{eq} = 11.5965 - 0.0557 \cdot T_d - 0.4736 \cdot H + 5.5885 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = 15.5249 - 0.0641 \cdot T_d + 3.7765 \cdot \sqrt{H}$
- $H_{eq} = -1.6089 + 3.2472 \cdot \sqrt{H}$

Instalación 16

$$1. H_{eq} = 22.8218 - 0.0656 \cdot T_d - 0.0364 \cdot W_a - 0.2335 \cdot V_v + 0.6576 \cdot H$$

$$2. H_{eq} = 48.5260 - 0.2949 \cdot T_d + 0.1081 \cdot W_a - 0.4833 \cdot V_v + \\ + 1.0716 \cdot H - 0.0004 \cdot T_d^2 - 0.0010 \cdot W_a^2 + 0.0463 \cdot V_v^2 - 0.0470 \cdot H^2$$

$$3. H_{eq} = 12.6640 - 0.0487 \cdot T_d + 0.8830 \cdot H - 0.0467 \cdot H^2 + 1.2710 \cdot \sqrt{H}$$

$$4. H_{eq} = 13.9545 - 0.0507 \cdot T_d + 1.4259 \cdot H - 0.0700 \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = 10.7296 - 0.0463 \cdot T_d - 0.1245 \cdot H + 3.5143 \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = 12.1530 - 0.0501 \cdot T_d + 3.0682 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.3551 + 2.7185 \cdot \sqrt{H}$$

Anexo 3: “Correlaciones generales para la estimación de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada H_{eq} .”

1. $H_{eq} = 29.7417 - 0.0928 \cdot T_d - 0.0287 \cdot W_a - 0.1051 \cdot V_v + 0.7692 \cdot H$
2. $H_{eq} = 27.3065 - 0.1090 \cdot T_d - 0.0006 \cdot W_a - 0.2552 \cdot V_v +$
 $+1.5582 \cdot H + 0.0001 \cdot T_d^2 - 0.0001 \cdot W_a^2 + 0.0271 \cdot V_v^2 - 0.0819 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.461 - 0.0622 \cdot T_d + 0.7716 \cdot H - 0.0518 \cdot H^2 + 2.3347 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.7508 - 0.0652 \cdot T_d + 1.7325 \cdot H - 0.0912 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.9484 - 0.0591 \cdot T_d - 0.4128 \cdot H + 5.0937 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.7031 - 0.0679 \cdot T_d + 3.5561 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5013 + 2.9973 \cdot \sqrt{H}$