



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE
INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CON
DIFERENTES TECNOLOGÍAS E INCLINACIONES A
PARTIR DE LA RADIACIÓN Y LAS CONDICIONES
AMBIENTE**

Autor: D. Manuel Martín Fernández
Tutor: D. Francisco Vicente Tinaut Fluixá

Valladolid, Junio, 2017



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE
INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CON
DIFERENTES TECNOLOGÍAS E INCLINACIONES A
PARTIR DE LA RADIACIÓN Y LAS CONDICIONES
AMBIENTE**

Autor: D. Manuel Martín Fernández
Tutor: D. Francisco Vicente Tinaut Fluixá

Valladolid, Junio, 2017

RESUMEN

Este trabajo analiza el comportamiento de diferentes instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red en Castilla y León (España). El objetivo es analizar la producción de instalaciones con paneles de diferente tecnología (monocristalina, policristalina y amorfa) situadas a distintas inclinaciones. Para ello se determina la irradiación diaria equivalente a partir de los datos de producción y de las características de la instalación (rendimientos del panel e inversor y superficie del panel). La irradiación diaria equivalente se relaciona con variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación) mediante un análisis de regresión múltiple, obteniendo correlaciones cuya validez se estudia analizando varios estadísticos (t de Student, F de Snedecor, R-cuadrado, Rmse y Mbe). Así se puede predecir la producción de instalaciones fotovoltaicas en base a variables meteorológicas, siendo el error inferior al 5% en la mayoría de los casos estudiados, lo que prueba la validez y exactitud de la estimación.

PALABRAS CLAVE

Instalación fotovoltaica, estimación de la producción, irradiación diaria equivalente, variables meteorológicas, análisis de regresión múltiple.

ABSTRACT

This work analyzes the behavior of different photovoltaic installations connected to the grid in Castile and León (Spain). The aim is to analyze the production of installations with panels of different technology (polycrystalline, monocrystalline and amorphous) tilted at different inclinations. To do this, the daily equivalent irradiation is determined from the production data and the characteristics of the installation (panel and inverter performance and panel surface). The daily equivalent irradiation is correlated with meteorological variables (air temperature and relative humidity, wind speed and radiation) using multiple regression analysis, obtaining correlations whose validity is studied by analyzing several statistic values (Student's t-test, Snedecor's F-test, R-squared, Rmse and Mbe). In this way the production of any photovoltaic system can be predicted based on meteorological variables, with the error being less than 5% in most cases, which proves the validity and accuracy of the estimation.

KEYWORDS

Photovoltaic installations, production estimate, daily equivalent irradiation, meteorological variables, multiple regression analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 MOTIVACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	4
2 ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA	7
2.1 ENERGÍA.....	9
2.1.1 Energías renovables	10
2.1.2 Energía solar.....	12
2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
2.2.1 Células fotovoltaicas	13
2.2.2 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica.....	14
2.3 DATOS DE PRODUCCIÓN	14
2.4 DATOS METEOROLÓGICOS	15
3 METODOLOGÍA	17
3.1 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA. IRRADIACIÓN DIARIA EQUIVALENTE..	19
3.2 ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN DIARIA EQUIVALENTE	21
3.2.1 Relación de la irradiación equivalente con variables meteorológicas	21
3.2.2 Análisis de regresión múltiple para estimar la irradiación diaria equivalente	22
3.2.2.1 Correlaciones propuestas e influencia de los factores	22
3.2.2.2 Análisis de la validez del modelo utilizado.....	23
3.2.3 Interpolación espacial de datos meteorológicos.....	26
3.3 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	27
4 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES POLICRISTALINAS A 30°	29
4.1 INTRODUCCIÓN	31
4.2 INSTALACIONES ESTUDIADAS.....	31
4.3 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS.....	32
4.4 CÁLCULO DE LAS CORRELACIONES	33
4.4.1 Cálculo de las correlaciones para cada instalación policristalina	34
4.4.1.1 Cálculo de las correlaciones anuales para cada instalación policristalina	35
4.4.1.2 Cálculo de las correlaciones globales para cada instalación policristalina	47
4.4.2 Cálculo de las correlaciones para cada ubicación policristalina	56
4.4.2.1 Cálculo de las correlaciones globales para cada ubicación.....	57

4.4.3 Cálculo de las correlaciones generales policristalinas	61
4.4.3.1 Cálculo de las correlaciones generales globales policristalinas	61
4.5 ELECCIÓN DE LAS CORRELACIONES MÁS IDÓNEAS.....	65
4.5.1 Resumen de las correlaciones elegidas	68
4.6 COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES	69
4.6.1 Comprobaciones diarias	69
4.6.2 Comprobaciones mensuales.....	72
4.7 CONCLUSIONES.....	78
4.8 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	79
5 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES MONOCRISTALINAS A 30°	83
5.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS.....	85
5.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS.....	85
5.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS	86
5.4 COMPROBACIÓN DE LAS EXTRAPOLACIONES	87
5.5 CONCLUSIONES.....	90
5.6 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	91
6 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES POLICRISTALINAS DE DISTINTA INCLINACIÓN	93
6.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS.....	95
6.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS.....	95
6.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS	97
6.3.1 Comprobación de las extrapolaciones.....	97
6.3.2 Conclusiones	98
6.4 CORRECCIÓN DE LA EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS.....	98
6.4.1 Comprobación de la corrección de las extrapolaciones	98
6.4.2 Conclusiones	99
6.5 CÁLCULO DE LAS SUPERCORRELACIONES	99
6.5.1 Comprobación de las supercorrelaciones.....	101
6.5.1.1 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones policristalinas de distinta inclinación. Conclusiones.	101
6.5.1.2 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones policristalinas situadas a 30° de inclinación. Conclusiones.....	103
6.5.1.3 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones monocristalinas situadas a 30° de inclinación. Conclusiones.....	105
6.5.1.4 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones monocristalinas situadas a distinta inclinación. Conclusiones.	107

6.6 CONCLUSIONES.....	108
6.7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	111
7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES AMORFAS.....	113
7.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS.....	115
7.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS.....	115
7.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS SUPERCORRELACIONES.....	116
7.3.1 Comprobación de las extrapolaciones.....	116
7.3.2 Conclusiones	117
7.4 CÁLCULO DE LAS CORRELACIONES AMORFAS	118
7.5 COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES AMORFAS.....	120
7.6 CONCLUSIONES.....	121
7.7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	123
8 CONCLUSIONES	125
8.1 INTRODUCCIÓN	127
8.2 CONCLUSIONES GENERALES.....	127
8.3 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	128
8.3.1 Estimación de la producción de instalaciones policristalinas a 30°.....	128
8.3.2 Estimación de la producción de instalaciones monocristalinas a 30° mediante la extrapolación de las correlaciones policristalinas	128
8.3.3 Estimación de la producción de instalaciones policristalinas y monocristalinas de cualquier inclinación	128
8.3.4 Estimación de la producción de instalaciones amorfas.....	129
8.4 DESARROLLO FUTUROS	129
Referencias.....	131
Anexo 1: Correlaciones anuales para cada instalación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°	133
Anexo 2: Correlaciones globales para cada instalación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°.....	165
Anexo 3: Correlaciones globales para cada ubicación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°	169
Anexo 4: Correlaciones generales globales para instalaciones policristalinas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°	171
Anexo 5: Supercorrelaciones generales globales nº5 y nº7, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada.....	173
Anexo 6: Correlaciones específicas y generales globales nº5 y nº7 para instalaciones amorfas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 15°	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación anual de la demanda de energía eléctrica peninsular y PIB (%).....	9
Figura 2: Evolución de la demanda de energía peninsular en TWh.....	9
Figura 3: Consumo de energía primaria 2010.....	10
Figura 4: Evolución de la potencia instalada peninsular (MW).....	11
Figura 5: Evolución producción de energía renovable y no renovable peninsular (TWh)	11
Figura 6: Irradiancia global media en Europa [1983-2005] ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$).....	12
Figura 7: Esquema básico del funcionamiento de una célula fotovoltaica	13
Figura 8: Célula fotovoltaica monocristalina, policristalina y amorfa.....	14
Figura 9: Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red.....	14
Figura 10: Estaciones SIAR	15
Figura 11: Esquema del cálculo de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada.....	20
Figura 12: Variables meteorológicas medidas sobre superficie horizontal.....	21
Figura 13: Ubicación de las instalaciones policristalinas.....	31
Figura 14: Ubicación estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas	33
Figura 15: Esquema de las correlaciones calculadas para las instalaciones policristalinas	34
Figura 16: Esquema de correlaciones anuales para cada instalación	35
Figura 17: R-cuadrado anual años 2010-2016 Abalhornos 2	41
Figura 18: Rmse anual años 2010-2016 Abalhornos 2.....	41
Figura 19: Mbe anual años 2010-2016 Abalhornos 2.....	42
Figura 20: R-cuadrado medio años 2010-2016 Abalhornos 2	42
Figura 21: Rmse medio años 2010-2016 Abalhornos 2	43
Figura 22: Mbe medio años 2010-2016 Abalhornos 2	43
Figura 23: R-cuadrado anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas	45
Figura 24: Rmse anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	45
Figura 25: Mbe anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	46
Figura 26: R-cuadrado medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas	46
Figura 27: Rmse medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	47
Figura 28: Mbe medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas	47
Figura 29: Esquema de correlaciones globales para cada instalación.....	47
Figura 30: R-cuadrado global años 2010-2016 Abalhornos 2.....	50
Figura 31: Rmse global años 2010-2016 Abalhornos 2	51
Figura 32: Mbe global años 2010-2016 Abalhornos 2	51
Figura 33: R-cuadrado global años 2010-2016 instalaciones policristalinas	54
Figura 34: Rmse global años 2010-2016 instalaciones policristalinas	54
Figura 35: Mbe global años 2010-2016 instalaciones policristalinas	55
Figura 36: R-cuadrado medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	55
Figura 37: Rmse medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas	56
Figura 38: Mbe medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas	56
Figura 39: Esquema de correlaciones globales para cada ubicación	57
Figura 40: R-cuadrado global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas.....	59
Figura 41: Rmse global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas	59
Figura 42: Mbe global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas	60
Figura 43: R-cuadrado medio global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas.....	60
Figura 44: Rmse medio global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas	61
Figura 45: Mbe medio global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas.....	61
Figura 46: Esquema de correlaciones generales globales policristalinas.....	62

Figura 47: R-cuadrado general global años 2010-2016 policristalinas.....	64
Figura 48: Rmse general global años 2010-2016 policristalinas	65
Figura 49: Mbe general global años 2010-2016 policristalinas	65
Figura 50: R-cuadrado medio instalación-ubicación-general policristalinas.....	66
Figura 51: Rmse medio instalación-ubicación-general policristalinas	67
Figura 52: Mbe medio instalación-ubicación-general policristalinas	68
Figura 53: Error medio comprobaciones diarias	70
Figura 54: Errores comprobaciones diarias con las correlaciones generales.....	72
Figura 55: Comprobación mensual año 2012 Fresno 2.....	75
Figura 56: Comprobación mensual año 2015 Soto 5	75
Figura 57: Comprobación mensual año 2014 Soto 5	75
Figura 58: Irradiación acumulada comprobación mensual año 2010 Soto 5	76
Figura 59: Comprobación mensual año 2012 La Trapa.....	76
Figura 60: Irradiación acumulada comprobación mensual año 2015 Alija	77
Figura 61: Error medio comprobaciones mensuales	77
Figura 62: Error medio diario frente a error medio mensual	78
Figura 63: R-cuadrado medio instalación-ubicación-general para cada correlación	79
Figura 64: Producción real y estimada Abalhorn 2 años 2010-2016.....	81
Figura 65: Ubicación de las instalaciones monocristalinas.....	85
Figura 66: Ubicación estaciones SIAR consultadas para las instalaciones monocristalinas ...	86
Figura 67: Comprobación mensual año 2016 La Pedraja 1	88
Figura 68: Comprobación mensual año 2015 Soto 1	89
Figura 69: Error medio comprobaciones mensuales sin La Pedraja 1 ni Soto 1.....	90
Figura 70: Comparación de la irradiación equivalente estimada	91
Figura 71: Producción real y estimada Cordel del Medio 2 años 2013-2016.....	92
Figura 72: Ubicación de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación	95
Figura 73: Ubicación estaciones SIAR consultadas para instalaciones a distinta inclinación.	96
Figura 74: Error medio instalaciones distinta inclinación.....	102
Figura 75: Comprobación mensual año 2016 Mecerreyes 1	103
Figura 76: Error medio instalaciones policristalinas.....	104
Figura 77: Comparación irradiación equivalente estimada correlación general y super correlación	105
Figura 78: Error medio instalaciones monocristalinas 30° de inclinación.....	106
Figura 79: Error medio instalaciones monocristalinas de distinta inclinación.....	108
Figura 80: Porcentaje de instalaciones según error con la super correlación nº7	110
Figura 81: Error medio instalaciones de diferente tipología	110
Figura 82: Error medio instalaciones por tipo de instalación.....	111
Figura 83: Producción real y estimada Edificio Cenit años 2014-2016.....	112
Figura 84: Ubicación de las instalaciones amorfas	115
Figura 85: Ubicación de las estaciones SIAR consultadas para las instalaciones amorfas....	116
Figura 86: Error anual super correlación nº7 instalaciones amorfas.....	117
Figura 87: Esquema de las correlaciones calculadas para las instalaciones amorfas.....	118
Figura 88: Error medio instalaciones amorfas	120
Figura 89: Error anual correlación nº7 amorfa instalaciones amorfas	121
Figura 90: Comparación de la irradiación equivalente estimada por cada correlación	122
Figura 91: Comprobación mensual año 2014 Cabildo 2.....	122
Figura 92: Comprobación mensual año 2015 Cabildo 1	123
Figura 93: Producción real y estimada Cabildo 2 años 2013-2016.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Instalaciones policristalinas estudiadas.....	32
Tabla 2: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas	32
Tabla 3: Estadísticos t y F correlación 1 Abalhorno 2	38
Tabla 4: Estadísticos t y F correlación 2 Abalhorno 2	38
Tabla 5: Estadísticos t y F correlación 3 Abalhorno 2	38
Tabla 6: Estadísticos t y F correlación 4 Abalhorno 2	39
Tabla 7: Estadísticos t y F correlación 5 Abalhorno 2	39
Tabla 8: Estadísticos t y F correlación 6 Abalhorno 2	39
Tabla 9: Estadísticos t y F correlación 7 Abalhorno 2	40
Tabla 10: R-cuadrado, rmse y mbe instalación 5 Abalhorno 2.....	40
Tabla 11: R-cuadrado, rmse y mbe medio 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	44
Tabla 12: Estadísticos t y F correlación 1 global Abalhorno 2	48
Tabla 13: Estadísticos t y F correlación 2 global Abalhorno 2	49
Tabla 14: Estadísticos t y F correlación 3 global Abalhorno 2	49
Tabla 15: Estadísticos t y F correlación 4 global Abalhorno 2	49
Tabla 16: Estadísticos t y F correlación 5 global Abalhorno 2	49
Tabla 17: Estadísticos t y F correlación 6 global Abalhorno 2	49
Tabla 18: Estadísticos t y F correlación 7 global Abalhorno 2	49
Tabla 19: R-cuadrado, rmse y mbe globales instalación 5 Abalhorno 2.....	50
Tabla 20: Coeficientes correlaciones nº5 y nº7 globales de las instalaciones policristalinas ..	52
Tabla 21: R-cuadrado, rmse y mbe global 2010-2016 instalaciones policristalinas.....	52
Tabla 22: Ubicaciones estudiadas e instalaciones implicadas	56
Tabla 23: Coeficientes de las correlaciones 5 y 7 globales de las ubicaciones policristalinas	58
Tabla 24: R-cuadrado, rmse y mbe global 2010-2016 ubicaciones policristalinas.....	58
Tabla 25: Coeficientes de las correlaciones 5 y 7 generales globales policristalinas	62
Tabla 26: Estadísticos t y F correlación 1 general global policristalina.....	63
Tabla 27: Estadísticos t y F correlación 2 general global policristalina.....	63
Tabla 28: Estadísticos t y F correlación 3 general global policristalina.....	63
Tabla 29: Estadísticos t y F correlación 4 general global policristalina.....	63
Tabla 30: Estadísticos t y F correlación 5 general global policristalina.....	63
Tabla 31: Estadísticos t y F correlación 6 general global policristalina.....	63
Tabla 32: Estadísticos t y F correlación 7 global policristalina	63
Tabla 33: R-cuadrado, R-cuadrado ajustado, rmse y mbe generales globales policristalinas .	64
Tabla 34: Valores medios de los estadísticos para cada tipo de correlación.....	66
Tabla 35: Resumen de las correlaciones nº5 y nº7	69
Tabla 36: Resumen de errores relativos diarios	70
Tabla 37: Error comprobaciones diarias correlaciones 1 a 7 instalaciones policristalinas	71
Tabla 38: Comprobación mensual del año 2015 de Abalhorno 2	73
Tabla 39: Resumen de errores relativos mensuales	74
Tabla 40: Instalaciones monocristalinas estudiadas.....	85
Tabla 41: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones monocristalinas	86
Tabla 42: Correlaciones policristalinas que se extrapolarán a instalaciones monocristalinas .	87
Tabla 43: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas	87
Tabla 44: Resumen de errores relativos mensuales inst. monocristalinas sin La Pedraja 1 ni Soto 1.....	89
Tabla 45: Instalaciones policristalinas de distinta inclinación estudiadas	95

Tabla 46: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas de distinta inclinación	96
Tabla 47: Correlaciones policristalinas que se extrapolarán a instalaciones con distinta inclinación	97
Tabla 48: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación	97
Tabla 49: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación con la corrección de la extrapolación de las correlaciones.....	99
Tabla 50: Instalaciones usadas para el cálculo de las supercorrelaciones.....	100
Tabla 51: Coeficientes de las supercorrelaciones n°5 y n°7	100
Tabla 52: Estadísticos t y F supercorrelación 5.....	100
Tabla 53: Estadísticos t y F supercorrelación 7.....	100
Tabla 54: R-cuadrado, rmse y mbe supercorrelaciones	101
Tabla 55: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación con los distintos tipos de correlación.....	102
Tabla 56: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas a 30°	104
Tabla 57: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas a 30°	106
Tabla 58: Resumen de errores relativos mensuales Soto 1 y La Pedraja 1	106
Tabla 59: Instalaciones monocristalinas de distinta inclinación	107
Tabla 60: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas de distinta inclinación	107
Tabla 61: Resumen de errores relativos mensuales en diferentes instalaciones	109
Tabla 62: Resumen de errores relativos mensuales en por tipo de instalación	111
Tabla 63: Instalaciones amorfas estudiadas	115
Tabla 64: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones amorfas	115
Tabla 65: Coeficientes de las supercorrelaciones que se extrapolarán a instalaciones amorfas	116
Tabla 66: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones amorfas con las supercorrelaciones	117
Tabla 67: Error anual con la supercorrelación 7 en instalaciones amorfas	117
Tabla 68: Coeficientes de las correlaciones n°5 y n°7 amorfas.....	119
Tabla 69: Estadísticos t y F correlación 5 amorfas	119
Tabla 70: Estadísticos t y F correlación 7 amorfas	119
Tabla 71: R-cuadrado, rmse y mbe correlaciones amorfas	119
Tabla 72: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones amorfas.....	120
Tabla 73: Error anual con la correlación n° 7 amorfos.....	121

1 INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

Según establece el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, los estudios de Máster oficial concluirán con la elaboración y defensa pública de un trabajo de fin de Máster, que tendrá entre 6 y 30 créditos. [Real Decreto1393, 2007]

En cuanto a los aspectos normativos, el presente trabajo de fin de Máster sigue lo dispuesto en el Reglamento sobre la Elaboración y Evaluación del Trabajo Fin de Máster de la UVA, publicado en el Boletín Oficial de Castilla y León de 20 de febrero de 2012. [BOCYL, 2012]

Así mismo, en la redacción del presente Trabajo Fin de Máster, se cumple el Documento 01: Normas generales sobre la elaboración, contenido y presentación del Trabajo Fin de Máster, en el Máster en Ingeniería Industrial, aprobado por el Comité Académico del Máster en Ingeniería Industrial en su reunión del 10 de abril de 2014. [Documento 01, 2014]

De acuerdo con todo lo explicado anteriormente, se redacta el presente Trabajo Fin de Máster titulado *Estimación de la producción de instalaciones fotovoltaicas con diferentes tecnologías e inclinaciones a partir de la radiación y las condiciones ambiente*.

1.2 ANTECEDENTES

El aumento de la industrialización y del consumo de bienes ha producido en los últimos años un incremento de la demanda de energía eléctrica. Este aumento de la demanda, unido a la concienciación social frente a la contaminación, ha conllevado un incremento de la instalación y generación de energías renovables, entre las que se encuentra la energía solar fotovoltaica, en la que se centra este trabajo.

Según el Informe del Sistema Eléctrico Español 2015 [REE, 2016], el consumo de energía eléctrica en España aumentó respecto a 2014 un 1,9%, alcanzando los 263 TWh.

La generación de energía eléctrica en 2015 en España fue de 267548 GWh, de los que el 36,9% fueron producidos mediante energías renovables. La producción de energía solar fotovoltaica fue de 8236 GWh, un 0,3% más que el año 2014.

La potencia instalada en España a 31 de diciembre de 2015 alcanzaba los 106247 MW, un 0,5% más que el año anterior. La potencia solar fotovoltaica instalada aumento así mismo un 0,4%, llegando a los 4664 MW.

Debido a su situación geográfica, España es el país de Europa con mayor potencial solar para energía solar fotovoltaica (más de 2300 MW), sin embargo hay países como Alemania o Austria con menor potencial solar que cuentan con más instalaciones solares fotovoltaicas.

Para que se produzca un aumento de la potencia fotovoltaica instalada, es fundamental un cambio en la regulación del sector energético que permita un mayor aprovechamiento de la energía solar, garantizando la rentabilidad de la inversión de las instalaciones fotovoltaicas.

Anteriormente a este trabajo, se ha realizado un Proyecto Fin de Carrera y dos Trabajos de Fin de Máster:

- Metodología para el análisis de resultados de generación eléctrica de diversas plantas fotovoltaicas en Castilla y León. [Faúndez, 2013]
- Análisis de diversos aspectos relacionados con la producción de instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León. [Martín, 2015]

- Predicción de la producción eléctrica de instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León a partir de datos de producción y ambientes. [Calderón, 2016]

El presente trabajo se fundamenta en estos tres estudios anteriores, ampliando el análisis de diferentes instalaciones fotovoltaicas con distintas tecnologías e inclinaciones, para lograr predecir lo más fielmente posible la producción eléctrica de las instalaciones fotovoltaicas estudiadas y de cualquier otra.

1.3 MOTIVACIÓN

Debido a la necesidad de conocer la producción presente y futura de una instalación fotovoltaica, es necesario desarrollar un método que permita estimar correctamente la producción de estas instalaciones.

Además, sería interesante poder extrapolar este método de cálculo de la producción a otras instalaciones futuras localizadas en diferentes ubicaciones, para poder valorar la rentabilidad y el tiempo de retorno de la inversión.

Para ello se usan datos reales de producción de distintas instalaciones fotovoltaicas de diferentes características, facilitados por la empresa SMI HISPANIA.

Así mismo, se utilizan los datos meteorológicos obtenidos del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), para poder obtener resultados aceptables respecto a la predicción de la producción de instalaciones fotovoltaicas.

Diversas publicaciones han tratado este mismo tema, como es el caso de [Abete, 2003], en el cual se trata de predecir la producción mensual de dos instalaciones fotovoltaicas en universidades de Italia.

Otro estudio relacionado con instalaciones fotovoltaicas, [Marion, 2005], hace referencia a los parámetros que afectan al rendimiento de los paneles de distintas tecnologías y localizaciones geográficas.

Por último, cabe mencionar que en el artículo [Balogun, 2015] se emplean modelos de regresión similares a los utilizados en este trabajo.

1.4 OBJETIVOS

El **objetivo principal** de este trabajo es establecer una relación entre la producción fotovoltaica de distintas instalaciones en funcionamiento y los datos meteorológicos y de radiación, para de esta forma poder:

- Estimar correctamente la producción futura de instalaciones fotovoltaicas existentes de diferentes características.
- Predecir la producción que tendría cualquier instalación fotovoltaica, conociendo la ubicación y las características de la instalación.
- Comparar la producción real con la estimada para detectar posibles fallos en la instalación.

Para lograr los objetivos principales, se plantean una serie de **objetivos específicos** que se enumeran a continuación:

- Analizar los datos de producción de instalaciones de **paneles policristalinos con 30° de inclinación** para poder obtener la irradiación equivalente diaria.

- Establecer **correlaciones entre la irradiación equivalente diaria y los parámetros meteorológicos**, para de esta forma poder determinar la producción de la instalación en base a variables meteorológicas.
- **Extrapolar las correlaciones** calculadas para estimar la producción de instalaciones con **paneles monocristalinos y con paneles amorfos**.
- Estimar la producción de instalaciones con los **paneles colocados a diferente inclinación de 30°**, tratando de extrapolar la correlación general calculada para los paneles policristalinos a 30°.
- Obtener una *supercorrelación* para estimar correctamente la producción de instalaciones de todas las diferentes tecnologías e inclinaciones consideradas.

2 ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

2.1 ENERGÍA

Todos los seres vivos necesitan energía para sobrevivir desde el momento de su nacimiento. La energía es la capacidad de un cuerpo de realizar un trabajo y producir cambios en sí mismo o en otros cuerpos. La unidad de medida de la energía es el Joule (J).

El consumo de energía es necesario para el desarrollo económico y social de un país. Cuanto mayor es el desarrollo de un país, mayor es su consumo de energía. Generalmente los cambios de la demanda de energía de un país están directamente relacionada con la variación del Producto Interior Bruto (PIB) de ese país, como se puede observar para el caso de España en la siguiente gráfica de Red Eléctrica de España (REE):



Figura 1: Variación anual de la demanda de energía eléctrica peninsular y PIB (%)

La demanda de energía eléctrica en España aumentó en 2015 un 1,8% respecto a 2014, lo que supone el primer aumento de la demanda desde el año 2010. La demanda de energía en España en los últimos años se muestra en la siguiente gráfica de REE.

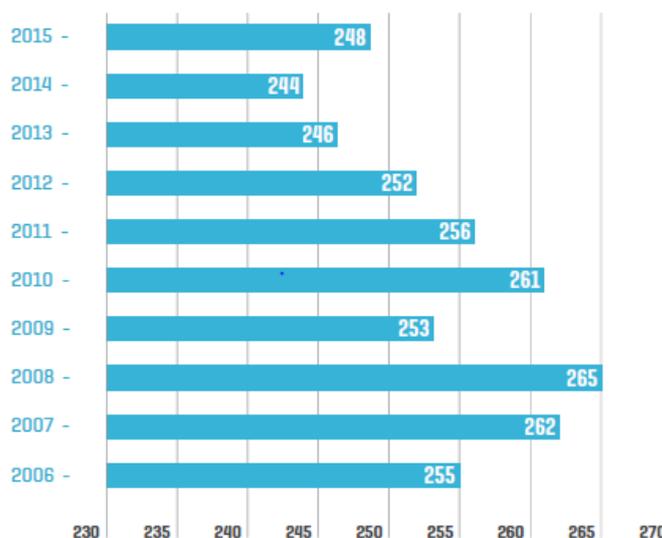


Figura 2: Evolución de la demanda de energía peninsular en TWh

En los últimos años se ha incrementado la instalación y generación de energías renovables, debido a que las fuentes de energía no renovables son finitas, tienen mayor impacto negativo ambiental e implican una dependencia energética de los países que poseen las principales reservas del mundo.

2.1.1 Energías renovables

El Consejo Europeo de marzo de 2007 aprobó los objetivos obligatorios para todos los Estados miembros en 2020: un 20% de mejora de la eficiencia energética, una contribución de las energías renovables del 20% y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 20%.

Para cumplir esta directiva, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) redactó el Plan de Energías Renovables 2011-2020 (PER 2011-2020), en el que se analiza la situación energética en España, los objetivos y las propuestas para lograr estos objetivos. [IDAE, 2011]

En el año 2010, la aportación de las energías renovables al consumo total de energía en España fue del 11,3%, como se muestra en la Figura 3 [IDEA, 2011], por lo que es necesario fomentar la instalación y producción de las energías renovables para poder lograr el objetivo del 20% en el año 2020.

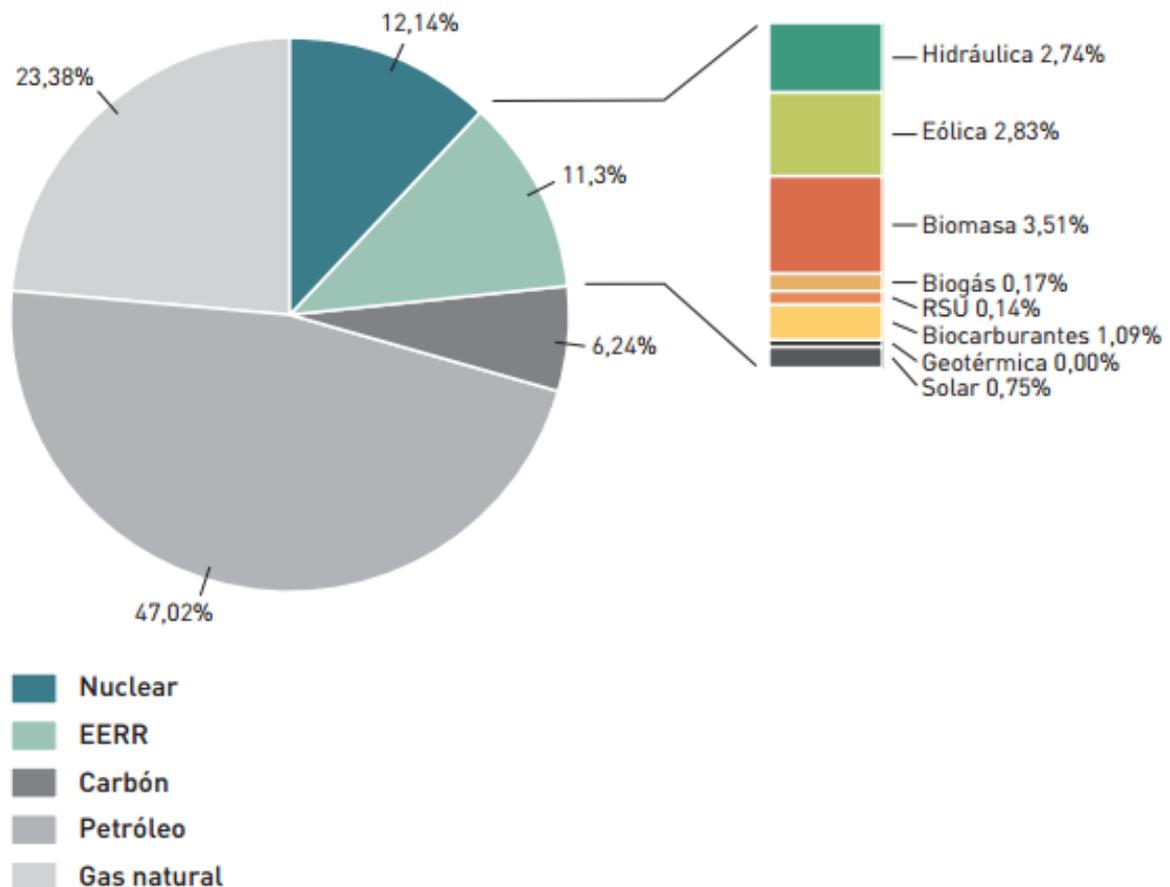


Figura 3: Consumo de energía primaria 2010

Esto, unido al aumento de la dependencia energética exterior de España en los últimos años, junto con la necesidad de asegurar el desarrollo sostenible y conservar el medioambiente, ha supuesto un aumento de la potencia instalada en España referente a energía renovable.

En el siguiente gráfico de REE se observa esta situación.

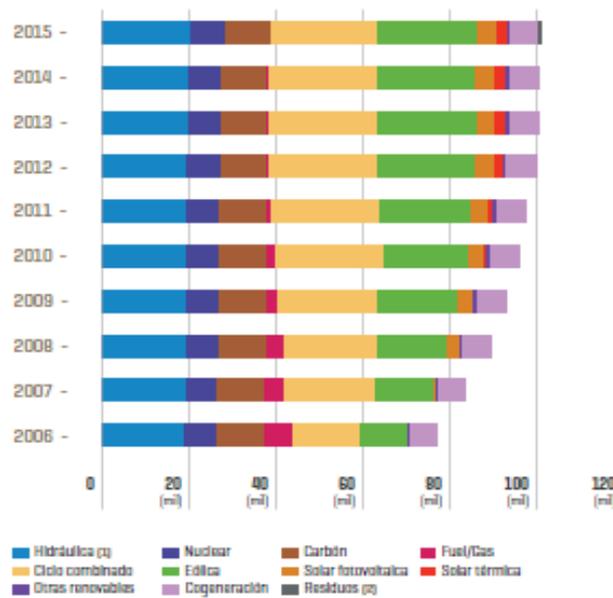


Figura 4: Evolución de la potencia instalada peninsular (MW)

Si bien la producción de energía renovable ha aumentado considerablemente desde el año 2006, en los últimos dos años ha disminuido debido al descenso de la producción de energía hidráulica.

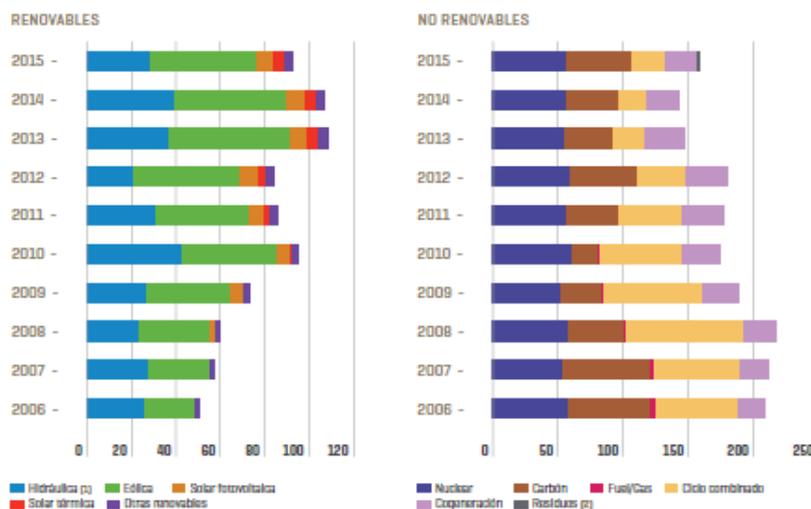


Figura 5: Evolución producción de energía renovable y no renovable peninsular (TWh)

En el año 2015 el 36,9% de la generación eléctrica peninsular fue aportado por las energías renovables, por lo que tienen un papel destacado en la producción de energía en España.

Las principales ventajas de las energías renovables son:

- No producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- No generan residuos de difícil tratamiento
- Son inagotables
- Son autóctonas, por lo que disminuyen la dependencia energética exterior

Una de las energías renovables más destacadas es la energía solar fotovoltaica, que se explica a continuación.

2.1.2 Energía solar

El sol es la principal fuente de vida en nuestro planeta. Aporta a la Tierra diez mil veces más energía diariamente de la que consumimos en todo el planeta cada día.

La situación geográfica y las condiciones climáticas hacen de España un país ideal para la localización de instalaciones destinadas a aprovechar esta energía, como se puede ver en la Figura 6, obtenida del atlas de radiación de la Aemet [Sancho, 2005]. El potencial solar de España es de más de 2300 MW para energía solar fotovoltaica.

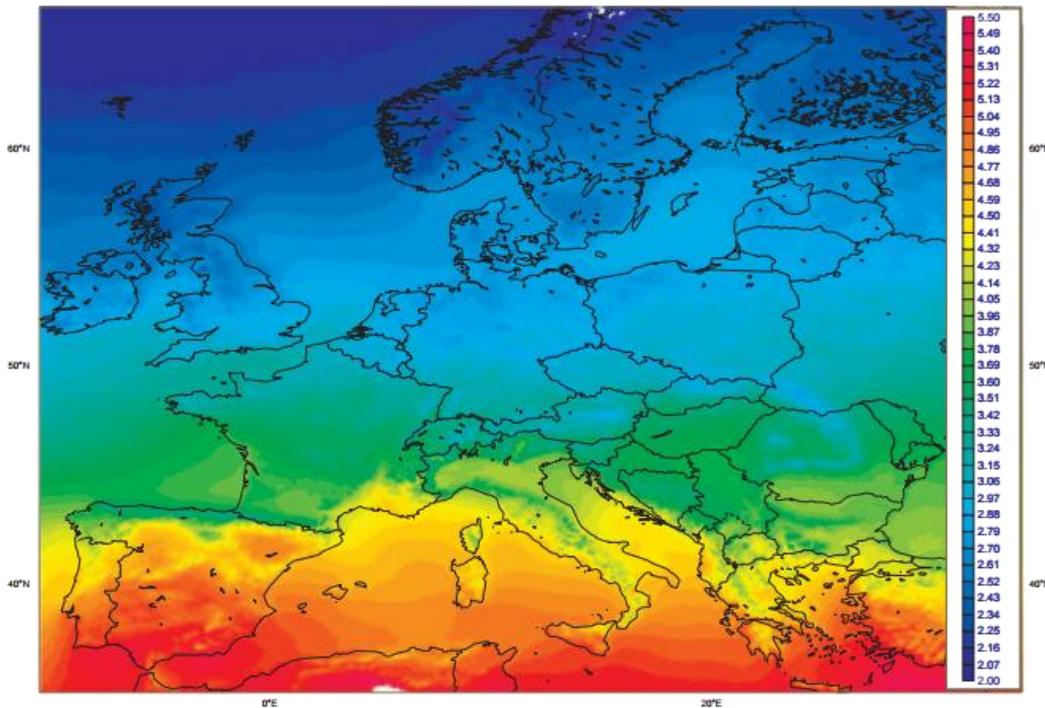


Figura 6: Irradiación global media en Europa [1983-2005] ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)

La energía solar es la parte de la radiación solar que puede ser transformada en energía térmica o eléctrica mediante los dispositivos adecuados.

La radiación solar se puede utilizar para generar dos tipos de energía:

- Energía solar térmica: consiste en usar la radiación solar para calentar un fluido, el cual se emplea para producir agua caliente o vapor. Para ello se utilizan captadores solares térmicos
- Energía solar fotovoltaica: consiste en transformar la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, que consiste en la generación de electricidad de los materiales semiconductores al incidir la radiación solar sobre su superficie. Los dispositivos empleados para ello son paneles fotovoltaicos.

Antes de centrarnos en la energía solar fotovoltaica, es conveniente definir una serie de conceptos clave:

- ✓ **Radiación solar:** es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas provenientes del sol, debido a los procesos de fusión de hidrógeno que contiene el sol. Se mide mediante un aparato denominado piranómetro y sus unidades son W/m^2 . La radiación global es la suma de la radiación directa (procedente del sol), la difusa (procedente de todo el cielo excepto el sol) y la de albedo (radiación reflejada del suelo).

- ✓ **Irradiancia solar:** es la densidad de potencia de radiación solar incidente en una superficie. Es la parte de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Sus unidades son las mismas que las de la radiación solar (W/m^2).
- ✓ **Irradiación solar:** es la densidad de energía solar incidente en una superficie, es decir, es la irradiancia solar recibida durante un periodo de tiempo. Sus unidades son Wh/m^2 .

2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Como ya se ha mencionado, la energía solar fotovoltaica consiste en la generación de corriente eléctrica gracias al efecto fotoeléctrico que se produce al incidir la radiación solar sobre la superficie de un material semiconductor.

Cuando los fotones inciden sobre la superficie de un material semiconductor, los electrones absorben su energía y pasan a un nivel energético superior, dejando tras de sí huecos que son ocupados por otros electrones, generándose así una corriente eléctrica (Figura 7)

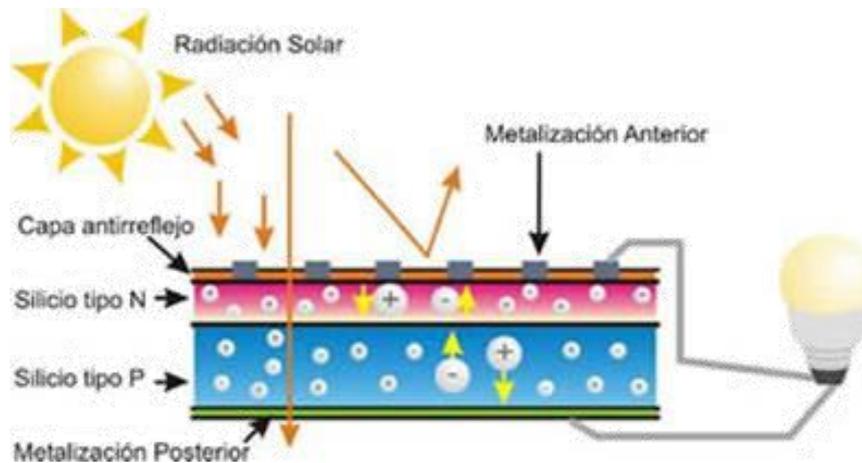


Figura 7: Esquema básico del funcionamiento de una célula fotovoltaica

2.2.1 Células fotovoltaicas

La conversión de radiación en corriente eléctrica se produce en la célula fotovoltaica, que es un dispositivo formado por una capa de material semiconductor, generalmente silicio. Las células fotovoltaicas se agrupan formando módulos o paneles fotovoltaicos.

Existen diferentes tipos de células solares en función del material semiconductor utilizado y de la composición del cristal de este material.

Los principales tipos son:

- **Silicio monocristalino:** durante la formación del cristal se controla el crecimiento del mismo para que solo se forme en una dirección, consiguiendo el alineamiento de todos los componentes del cristal. Su aspecto es más oscuro que las células policristalinas, por lo que absorben más calor, aumentando su temperatura y pudiendo disminuir su rendimiento en caso de altas temperaturas. Su rendimiento suele estar entre el 14 y 17%.
- **Silicio policristalino:** durante la formación del cristal no se controla el crecimiento, por lo que crece en todas las direcciones formando un conjunto de cristales diferentes unidos entre sí. Debido a que su fabricación es más sencilla que los monocristalinos, su precio suele ser menor. Su rendimiento oscila entre el 12 y 14%.

- **Células amorfas:** se obtienen mediante la colocación de una capa fina amorfa (no cristalina) de semiconductor amorfo sobre la superficie de la célula. Como materiales semiconductores es habitual usar silicio y telururo de cadmio (CdTe). Su precio es menor que el de los otros tipos y su rendimiento también (en torno al 10%), si bien ofrecen buenas prestaciones en condiciones de sombra o nubosidad y con diferentes inclinaciones. Además, su rendimiento se ve afectado en menor medida por la temperatura que el resto de células.

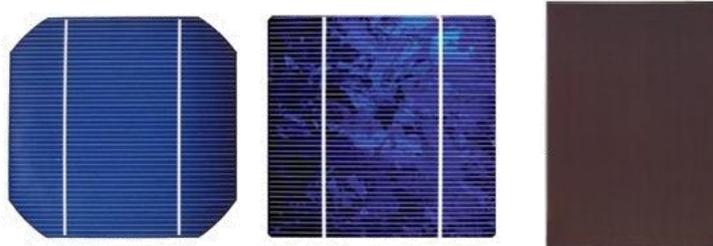


Figura 8: Célula fotovoltaica monocristalina, policristalina y amorfa

2.2.2 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica

Las instalaciones estudiadas en este trabajo son instalaciones conectadas a la red eléctrica. Este tipo de instalaciones inyectan a la red eléctrica la energía producida, recibiendo una remuneración económica por ello.

En la Figura 9 se muestra un esquema básico de este tipo de instalaciones:

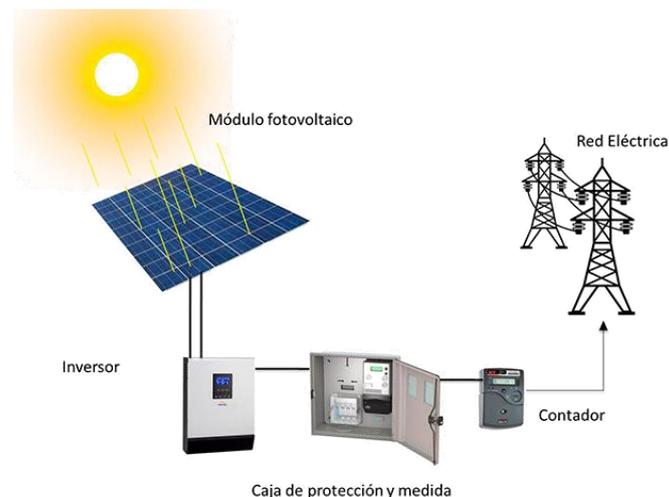


Figura 9: Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red

Las partes principales de estas instalaciones son:

- **Generador fotovoltaico:** es el conjunto de módulos donde se genera la corriente eléctrica.
- **Inversor:** es el elemento que convierte la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna para poder inyectarla en la red.
- **Contador:** es el aparato que cuantifica la energía que se genera y se inyecta a la red.

2.3 DATOS DE PRODUCCIÓN

Para poder desarrollar este trabajo se han utilizado datos reales de instalaciones fotovoltaicas de Castilla y León.

La empresa SMI HISPANIA ha proporcionado los datos de producción de las instalaciones estudiadas, así como sus características (tipo de panel, número de paneles, inclinación, tipo de inversor, etc.).

Gracias a toda esta información ha sido posible calcular las correlaciones para los distintos tipos de instalaciones y poder estimar la producción de las mismas.

2.4 DATOS METEOROLÓGICOS

Como ya se ha explicado, el objetivo de este trabajo es estimar correctamente la producción de distintas instalaciones fotovoltaicas. Para ello se relacionará la producción real de cada instalación con las variables meteorológicas elegidas (temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación), las cuales se obtienen de la base de datos del SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío).

El SIAR es un servicio de información perteneciente al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente del Gobierno de España, que ofrece información de 468 **estaciones meteorológicas** instaladas en España, como se refleja en la Figura 10:

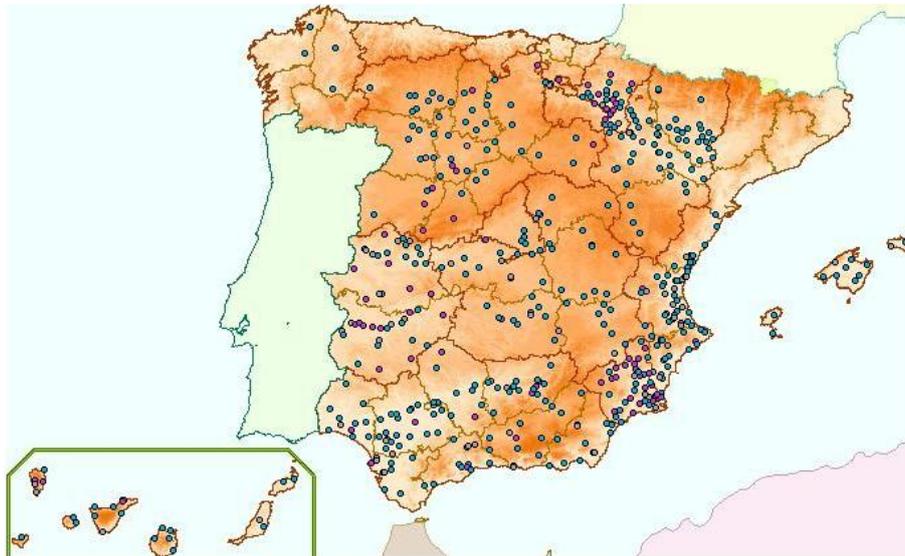


Figura 10: Estaciones SIAR

La página web del SIAR permite descargar datos diarios, semanales y mensuales de la estación o estaciones seleccionadas. Así mismo, existe la posibilidad de solicitar un envío periódico de los datos deseados, lo que puede ser utilizado para llevar a cabo la programación del método utilizado, simplificando así el tiempo necesario para realizar los cálculos.

3 METODOLOGÍA

3.1 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA. IRRADIACIÓN DIARIA EQUIVALENTE.

Para relacionar los valores reales de producción diaria de una instalación con los parámetros meteorológicos se utilizará el procedimiento desarrollado por Calderón [Calderón, 2016], que consiste en expresar la producción diaria en función de la irradiancia, el rendimiento del panel, el rendimiento del inversor y la superficie útil del panel.

De esta forma, la **producción diaria** de una instalación fotovoltaica se puede expresar de la siguiente forma:

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

Siendo:

E_p : producción real diaria de la instalación

η_{inv} : rendimiento instantáneo del inversor, función del punto de funcionamiento (fracción de potencia respecto a la nominal)

η_{panel} : rendimiento instantáneo del panel, función de la irradiancia instantánea, el ángulo de incidencia y la temperatura de la célula

I : 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

Integrando la expresión anterior a lo largo del día, y considerando un valor medio de los rendimientos del inversor y del panel, así como la irradiancia diaria sobre superficie inclinada, se obtiene la siguiente expresión:

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

Siendo:

$\overline{\eta_{inv}}$: rendimiento medio del inversor a lo largo del día

$\overline{\eta_{panel}}$: rendimiento medio del panel a lo largo del día

$\overline{H_{\beta}}$: irradiancia diaria sobre superficie inclinada

Debido a la dificultad de conocer los rendimientos medios a lo largo del día y la irradiancia sobre superficie inclinada, se hace necesario buscar una expresión equivalente que se base en parámetros fácilmente obtenibles.

Para ello, se puede considerar una variable, el **Performance Ratio (PR)**, incluido en un estándar del International Electrotechnical Commission [IEC Standard 61724, 1993] y que hace referencia al rendimiento global del sistema fotovoltaico.

El Performance Ratio se define como la relación entre la energía que un sistema fotovoltaico vende a la red y la que vendería un hipotético sistema fotovoltaico ideal, considerando que sus

células fotovoltaicas trabajan a la temperatura de referencia (25°C) y que no tienen pérdidas. [Lorenzo, 2007]

$$PR = \frac{\frac{E_p}{\overline{H_\beta} \cdot S_{panel}}}{\frac{P_n}{I_{STC} \cdot S_{panel}}} = \frac{\eta_{instalación}}{\eta_{panel\ ref.}} \quad [3]$$

Siendo:

P_n : potencia nominal o pico en kW

I_{STC} : irradiancia en condiciones nominales (1 kW/m²)

$\eta_{instalación}$: rendimiento combinado de la instalación trabajando en las condiciones reales e incluyendo el inversor (variable dependiendo de las condiciones).

$$\eta_{instalación} = \overline{\eta_{inv}} \cdot \overline{\eta_{panel}}$$

$\eta_{panel\ ref.}$: rendimiento del panel en condiciones de referencia nominales (su valor es constante)

Despejando la producción (E_p) de la expresión [3] se obtiene:

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

Comparando las ecuaciones [2] y [4], se puede observar que la variable PR comprende el rendimiento del inversor (incluyendo sus variaciones al cambiar el punto de funcionamiento) y los cambios en el rendimiento del panel (al variar la temperatura o irradiancia respecto de las condiciones nominales).

Para simplificar los cálculos, puede definirse la producción como el cociente de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}), de los rendimientos de referencia nominales del inversor y del panel (facilitados por el fabricante), y de la superficie del panel, como se muestra en la expresión [5]:

$$E_p \left[\frac{kWh_{inv}}{día} \right] = \eta_{inv\ ref} \left[\frac{kW_{inv}}{kW_{panel}} \right] \cdot \eta_{panel\ ref} \left[\frac{kW_{cél}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq} \left[\frac{kWh_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2] \quad [5]$$

De esta forma, conociendo la producción diaria de una determinada instalación y sus características (tipo de inversor, tipo de panel y número de paneles), se puede determinar la **irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada**:

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}} \quad [6]$$

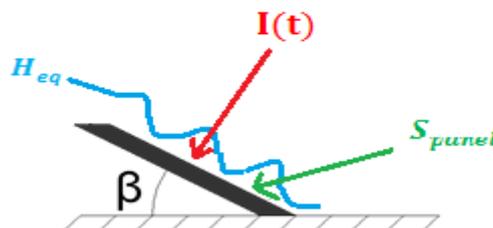


Figura 11: Esquema del cálculo de la irradiación equivalente sobre superficie inclinada
Estimación de la producción de instalaciones fotovoltaicas

Esta expresión también puede aplicarse considerando, en vez del rendimiento y superficie del panel, el rendimiento y superficie de las células:

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv ref} \cdot \eta_{cél ref} \cdot S_{cél}} \quad [7]$$

Donde la superficie útil de las células se calcula multiplicando el número de paneles por el número de células que tenga cada panel y por la superficie de cada célula.

Comparando las ecuaciones [4] y [5], se puede expresar la irradiación diaria equivalente como:

$$H_{eq} = \frac{PR}{\eta_{inv ref}} \cdot \overline{H_\beta} \quad [8]$$

Por tanto, la irradiación diaria equivalente (H_{eq}) depende de la irradiación diaria sobre superficie inclinada ($\overline{H_\beta}$) por medio del Performance Ratio.

3.2 ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN DIARIA EQUIVALENTE

3.2.1 Relación de la irradiación equivalente con variables meteorológicas

Mediante la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}) se puede relacionar la producción de una instalación con las variables meteorológicas deseadas.

En los trabajos anteriores ([Faúndez, 2013], [Martín, 2015], y [Calderón, 2016]), se comprobó que las variables meteorológicas que más influencia tienen sobre la producción de una instalación fotovoltaica son la irradiación (H), la temperatura (T), la humedad relativa (W) y la velocidad del viento (v).

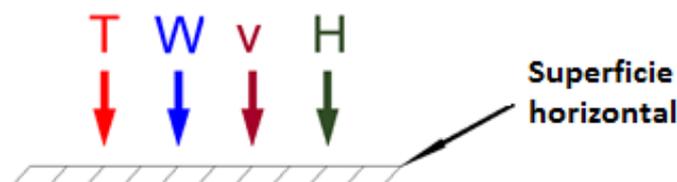


Figura 12: Variables meteorológicas medidas sobre superficie horizontal

Lo más correcto sería determinar estas variables meteorológicas mediante sondas situadas en la instalación fotovoltaica, obteniendo valores de irradiación sobre la superficie inclinada de los paneles. Sin embargo, son pocas las instalaciones que disponen de este tipo de sondas, por lo que se utilizarán los valores proporcionados por el SIAR.

La base de datos de SIAR ofrece valores diarios, semanales y mensuales de las variables mencionadas, si bien los correspondientes a la irradiación se refieren a irradiación sobre superficie horizontal, por lo que es necesario establecer una relación entre las variables meteorológicas y la irradiación equivalente, de la forma:

$$H_{eq} = f(T, W, v, H)$$

3.2.2 Análisis de regresión múltiple para estimar la irradiación diaria equivalente

El objetivo de este trabajo es predecir la producción fotovoltaica calculando una irradiación equivalente estimada, que sea lo más parecida a la real, mediante la combinación de variables independientes como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación.

Realizando un análisis de regresión múltiple se pueden ajustar diferentes tipos de modelos a los datos muestrales para determinar la validez de estos modelos.

La **regresión lineal múltiple** utiliza simultáneamente diferentes variables independientes para obtener predicciones más precisas de la variable dependiente.

El modelo de regresión múltiple es de la forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

Donde

- y es la variable de respuesta que se desea predecir, en este caso la irradiación diaria equivalente (H_{eq})
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son constantes desconocidas
- x_1, x_2, \dots, x_k son variables predictoras independientes, en este caso la temperatura (T), la humedad (W), la velocidad del viento (v) y la radiación (H).
- ϵ es el error de variable

3.2.2.1 Correlaciones propuestas e influencia de los factores

En trabajos anteriores ([Faúndez, 2013] y [Martín, 2015]) se concluyó que las variables meteorológicas que más influencia tienen en la producción fotovoltaica son:

- Temperatura media diaria (T): medida en Kelvin a fin de evitar valores positivos y negativos cercanos a cero correspondientes a la temperatura en grados Celsius.
- Humedad relativa media diaria (W): expresada en tanto por ciento.
- Velocidad del viento media diaria (v): en m/s.
- Irradiación diaria sobre superficie horizontal (H): dada en kWh/(m² · día).

Mediante un estudio preliminar, Calderón, en su Trabajo de Fin de Máster [Calderón, 2016], llegó a las siguientes conclusiones sobre la influencia de las variables consideradas para la estimación de la irradiación diaria equivalente:

1. La variable que más influye es la irradiación sobre superficie horizontal (H).
2. La precisión de la correlación aumenta si se incluye en ella la temperatura media (T).
3. Las variables humedad relativa (W) y velocidad del viento (v) no influyen excesivamente en la bondad del ajuste.
4. Las variables elevadas al cubo o la raíz cúbica no implican una mejora apreciable en la estimación.

De esta forma, se propuso utilizar las siete correlaciones que se muestran a continuación:

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

$$7. H_{eq} = A + B \cdot \sqrt{H}$$

Por tanto, se partirá de estas siete correlaciones para estimar la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}), y se escogerá la mejor o mejores en función de la información necesaria para su cálculo, su exactitud (analizando los estadísticos explicados en el siguiente apartado) y la complejidad de su cálculo.

3.2.2.2 Análisis de la validez del modelo utilizado

Para determinar la validez del modelo, se calcularán una serie de estadísticos para cada una de las correlaciones obtenidas, definidos por [Mendenhall, 2010].

➤ El análisis de varianza de la prueba F

Este análisis permite determinar si el modelo utilizado es globalmente significativo.

Para calcularlo se plantean dos hipótesis:

- H_0 (hipótesis nula): $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

Contra

- H_a : al menos una de $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ no es 0

La razón F se calcula de la siguiente forma:

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

Siendo:

MSR la suma de cuadrados medios de la regresión

MSE la suma de cuadrados medios de los residuos.

La razón F también se puede expresar en función del coeficiente de determinación R^2 de la siguiente manera:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - k}{n - 1} = \frac{R^2/k}{(1 - R^2)/(n - k - 1)}$$

Siendo:

$k - 1$ los grados de libertad del numerador

$n - k$ los grados de libertad del denominador

Para determinar la validez del modelo se calcula el valor-P, que muestra la significación del estadístico F.

Si el valor-P es menor de 0.05 el modelo es estadísticamente significativo, ya que la probabilidad de equivocarnos al rechazar la hipótesis nula será menor del 95%.

- Valor-P de $F \leq 0.05 \rightarrow$ cumple $H_a \rightarrow$ modelo globalmente significativo
- Valor-P de $F > 0.05 \rightarrow$ cumple $H_0 \rightarrow$ modelo globalmente no significativo

➤ El coeficiente de determinación R^2

El coeficiente de determinación R^2 es una medida estadística de la fuerza del modelo, que representa la proporción de la variabilidad de la variable dependiente que es explicada por la regresión.

Su valor está comprendido entre 0 y 1, de tal forma que cuanto más se acerque a 1, mayor será la proporción de la variación total que es explicada por la regresión, aunque habitualmente se representa en tanto por ciento.

El coeficiente de determinación se obtiene así:

$$R^2 = \frac{SSR}{SS\ Total} = 1 - \frac{SSE}{SS\ Total}$$

Donde:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SST = SSR + SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Siendo:

SSR la suma de cuadrados para regresión

SSE la suma de cuadrados residual

SS Total la suma de cuadrados total

También se puede calcular el **R-cuadrado ajustado** ($\overline{R^2}$), que al igual que el R-cuadrado representa la proporción de la variabilidad de la variable dependiente que es explicada por la regresión, pero ajustado para el número de variables incluidas en la correlación. Este estadístico es útil para comparar modelos con diferente número de variables.

Su expresión es:

$$\overline{R^2} = 1 - \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k - 1}}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

► Prueba de la significancia de los coeficientes de regresión parcial

Una vez que se ha determinado la significación global del modelo, se puede comprobar si cada una de las variables del modelo es individualmente significativa.

Para ello se plantean, para cada uno de los coeficientes de regresión, las siguientes hipótesis:

- H_0 (hipótesis nula): $\beta_i = 0$

Contra

- H_a : β_i no es 0

La t de Student se calcula así:

$$t = \frac{b_i - \beta_i}{SE(b_i)}$$

Siendo:

b_i el estimador de cuadrados mínimos

β_i el coeficiente de regresión

$SE(b_i)$ el error típico

Para determinar la validez del modelo se calcula el valor-P, que muestra la significación del estadístico t.

Si el valor-P es menor de 0.05 la variable es significativa.

- Valor-P de $t \leq 0.05 \rightarrow$ cumple $H_a \rightarrow$ variable significativa
- Valor-P de $t > 0.05 \rightarrow$ cumple $H_0 \rightarrow$ variable no significativa

Cuando el valor-P del estadístico t es mayor de 0.05 para más de una variable, debe calcularse de nuevo el modelo eliminando la variable con mayor valor-P del estadístico t, y determinar de nuevo la significación de cada una de las variables.

➤ **Desviación cuadrática media (Rmse)**

La desviación cuadrática media (root mean square error) es una medida de dispersión del error del pronóstico entre los valores reales y los valores estimados, es decir, representa las diferencias en promedio entre los valores reales y los estimados.

Su expresión es la siguiente:

$$Rmse = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y} - y)^2}{N}}$$

Siendo:

y el valor real de la variable

\bar{y} el valor medio de la variable y

\hat{y} el valor estimado de la variable y

Este estadístico maximiza el error al elevarlo al cuadrado, por lo que no es muy adecuado para grandes desviaciones.

La desviación cuadrática media es adimensional y puede expresarse en tanto por ciento.

➤ **Desviación media relativa (Mbe)**

La desviación media relativa (mean bias error) proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar una variable, cuantificando el error sistemático del modelo.

Si su valor es positivo quiere decir que los valores estimados son superiores a los reales y si es negativo significa que los valores de la estimación son inferiores a los reales.

Su expresión es la siguiente:

$$mbe = \frac{100}{\bar{y}} \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y} - y)}{N}$$

Siendo:

y el valor real de la variable

\bar{y} el valor medio de la variable y

\hat{y} el valor estimado de la variable y

La desviación media relativa es adimensional y puede expresarse en tanto por ciento.

3.2.3 Interpolación espacial de datos meteorológicos

Como ya se ha explicado, los datos meteorológicos usados para hallar las correlaciones que coincidan con la irradiación equivalente se obtendrán de la base de datos del SIAR. Debido a que la ubicación de las estaciones SIAR no coincide con la localización de las instalaciones, es necesario realizar una interpolación espacial de los datos meteorológicos para que se aproximen lo más posible a los valores reales en la instalación fotovoltaica.

Para ello se emplearán dos métodos desarrollados por [Faúndez, 2013] en función de la distancia entre la instalación fotovoltaica y las estaciones SIAR.

➤ Método del vecino más cercano

Este método se utilizará para instalaciones fotovoltaicas en las que exista al menos una estación SIAR a menos de 10 km de distancia.

El método consiste en considerar como valores de las variables meteorológicas los valores proporcionados por la estación SIAR, sin necesidad de realizar interpolaciones.

En trabajos anteriores ([Faúndez, 2013] y [Martín, 2015]) se comprobó que este método es suficientemente preciso cuando la estación SIAR de referencia dista menos de 10 km de la ubicación de la instalación fotovoltaica estudiada. Además, este método proporciona buenos resultados cuando se aplica a variables con una lenta variación a lo largo del espacio, como son las aquí utilizadas.

➤ Método del inverso de la distancia (IDW)

Este método se utilizará para las instalaciones que no dispongan de estación SIAR a menos de 10 km de distancia.

Consiste en calcular el valor de la variable en función de los valores de la variable en las estaciones estudiadas y de la distancia de estas estaciones a la instalación.

El valor de la variable deseada se calcula así:

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

Siendo:

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

Donde:

\hat{Z} es el valor de la estimación de la variable en el punto deseado

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 parámetro de la potencia (p) sirve para dar más o menos peso a los puntos más cercanos o más alejados de la instalación, de tal forma que el valor de la estimación de la variable sea más parecido al valor de la medición de las estaciones más cercanas.

Para estimar las variables se considerarán estaciones que estén situadas a una distancia igual o inferior a 30 km, ya que en ese radio existen estaciones suficientes para realizar la estimación y si se considerará una distancia mayor podrían existir más diferencias en los valores de las variables, lo que llevaría a un valor menos exacto de la variable estimada.

3.3 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Una vez que se han calculado las correlaciones para estimar la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada y se ha evaluado su validez, se obtiene la **producción estimada** calculando el producto de la irradiación diaria equivalente, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel.

$$E_{p,est} \left[\frac{kWh_{inv}}{día} \right] = \eta_{inv\ ref} \left[\frac{kW_{inv}}{kW_{panel}} \right] \cdot \eta_{panel\ ref} \left[\frac{kW_{cél}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq,est} \left[\frac{kWh_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2]$$

Por tanto, la **metodología general** del trabajo consiste en:

- Determinar la **irradiación diaria equivalente real** sobre superficie inclinada ($H_{eq,real}$), conociendo los datos de producción real, la superficie del panel y los rendimientos del inversor y del panel.

$$H_{eq,real} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}}$$

- Relacionar las variables meteorológicas para **estimar la irradiación diaria equivalente** de tal forma que se ajusten lo máximo posible a la irradiación diaria equivalente real sobre superficie inclinada ($H_{eq,real}$), mediante una regresión múltiple.

$$H_{eq,est} = f(T, W, v, H)$$

- **Estimar la producción** de las instalaciones fotovoltaicas calculando el producto de la irradiación equivalente estimada, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel.

$$E_{p,est} \left[\frac{kWh_{inv}}{día} \right] = \eta_{inv\ ref} \left[\frac{kW_{inv}}{kW_{panel}} \right] \cdot \eta_{panel\ ref} \left[\frac{kW_{cél}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq,est} \left[\frac{kWh_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2]$$

Por consiguiente, disponiendo de los valores diarios de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación) y conociendo los datos de producción, se puede calcular una **correlación** que relacione la producción con las variables meteorológicas a través de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}).

Así se obtienen correlaciones que se pueden **extrapolar** a otras instalaciones para predecir su producción. De esta forma, para **estimar la producción** de una instalación fotovoltaica cualquiera basta con **calcular la irradiación diaria equivalente estimada** con la correlación (a partir de las variables meteorológicas) y multiplicarla por los rendimientos del panel e inversor y la superficie del panel.

4 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES POLICRISTALINAS A 30°

4.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha explicado en el Capítulo 3, para **estimar la producción** de una instalación fotovoltaica se debe **calcular la irradiación diaria equivalente estimada** a partir de las variables meteorológicas y multiplicarla por los rendimientos del panel e inversor y la superficie del panel.

$$E_{p,est} \left[\frac{kWh_{inv}}{día} \right] = \eta_{inv,ref} \left[\frac{kW_{inv}}{kW_{panel}} \right] \cdot \eta_{panel,ref} \left[\frac{kW_{cél}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq,est} \left[\frac{kWh_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2]$$

Por tanto, la única variable a calcular es la irradiación diaria equivalente, ya que los rendimientos y la superficie del panel son valores fijos facilitados por el fabricante. De esta forma la estimación de la producción se reduce a la **estimación de la irradiación diaria equivalente**.

4.2 INSTALACIONES ESTUDIADAS

Para estimar la producción fotovoltaica de instalaciones con paneles policristalinos se van a estudiar **16 instalaciones** entre los años 2010 y 2016. Estas 16 instalaciones están situadas en Castilla y León (Figura 13) y son las mismas que se estudiaron en el Trabajo de Fin de Máster precedente [Calderón, 2016], ampliando el estudio al año 2016.

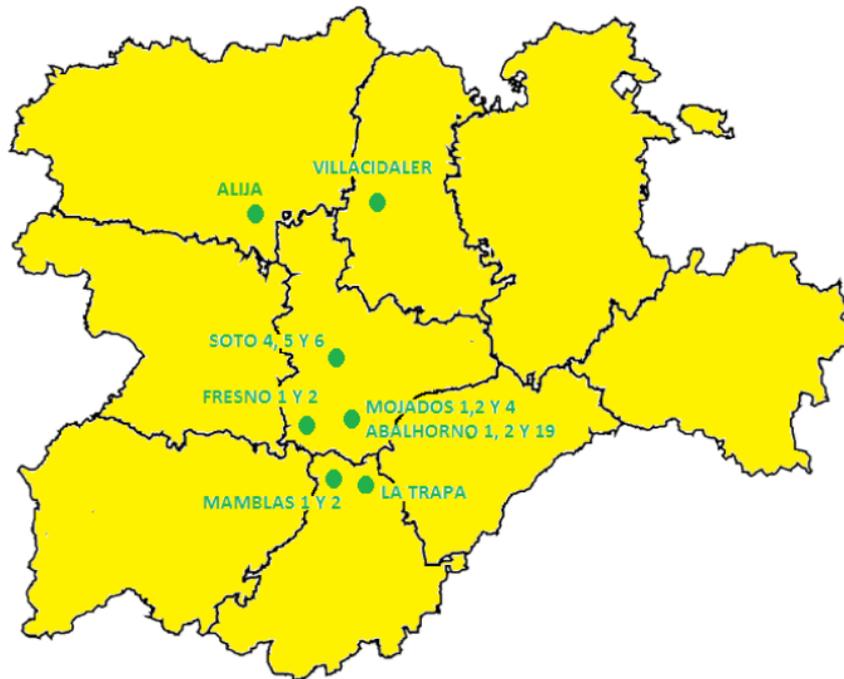


Figura 13: Ubicación de las instalaciones policristalinas

Todas estas instalaciones tienen los paneles colocados a 30° de inclinación y una potencia nominal de 100kW (excepto la instalación número 16). De esta forma se pretende obtener una correlación general que permita estimar la producción en instalaciones policristalinas con **30° de inclinación**.

Las características de las instalaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Instalaciones policristalinas estudiadas

Instalación		Localidad	Provincia	Tecnología panel	Tipología	Potencia nominal (kW)	Potencia pico (kW)
Inst. 1	Mojados 1	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 2	Mojados 2	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 3	Mojados 4	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 4	Abalhorno 1	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 5	Abalhorno 2	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 6	Abalhorno 19	Mojados	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	109,2
Inst. 7	Fresno 1	Fresno	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	99,33
Inst. 8	Fresno 2	Fresno	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	99,33
Inst. 9	Villacidaler	Villacidaler	Palencia	Policristalino	Fija 30°	100	109,52
Inst. 10	Mamblas 1	Mamblas	Ávila	Policristalino	Fija 30°	100	100,8
Inst. 11	Mamblas 2	Mamblas	Ávila	Policristalino	Fija 30°	100	100,8
Inst. 12	Soto 5	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	99,96
Inst. 13	Soto 6	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	99,96
Inst. 14	Soto 4	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Policristalino	Fija 30°	100	99,96
Inst. 15	La Trapa	Arévalo	Ávila	Policristalino	Fija 30°	100	100,8
Inst. 16	Alija	Alija del infantado	León	Policristalino	Fija 30°	50	52,8

4.3 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS

Para obtener los valores de las variables meteorológicas utilizados en las correlaciones, se consultarán las estaciones SIAR que estén en un radio de 30 kilómetros de cada instalación, como se indicó en el apartado 3.2.3.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones que se encuentran cerca de cada instalación, así como la distancia a la misma.

Tabla 2: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas

Instalación		Localidad	Estación SIAR	Distancia (km)
Instalación 1	Mojados 1	Mojados (VA)	Olmedo	15,98
Instalación 2	Mojados 2			
Instalación 3	Mojados 4			
Instalación 4	Abalhorno 1		Tordesillas	28,75
Instalación 5	Abalhorno 2			
Instalación 6	Abalhorno 19			
Instalación 7	Fresno 1	Fresno (VA)	Torrecilla de la Orden	15,98
Instalación 8	Fresno 2			
Instalación 9	Villacidaler	Villacidaler (PA)	Sahagún	17,2
			Fuentes de Nava	21,78
			Mayorga	24,34
Instalación 10	Mamblas 1	Mamblas (ÁV)	Nava de Arévalo	20,47
Instalación 11	Mamblas 2		Torrecilla de la Orden	29,93

Instalación 12	Soto 5	Torrecilla de la Torre (VA)	Tordesillas	18,57
Instalación 13	Soto 6		Medina de Rioseco	24,25
Instalación 14	Soto 4		Finca Zamadueñas	28,46
Instalación 15	La Trapa	Arévalo (ÁV)	Nava de Arévalo	10
Instalación 16	Alija	Alija del infantado (LE)	Quintana del Marco	7,69

La localización de las estaciones SIAR a consultar para estimar la producción de las 16 instalaciones policristalinas estudiadas se muestra en la figura 14.

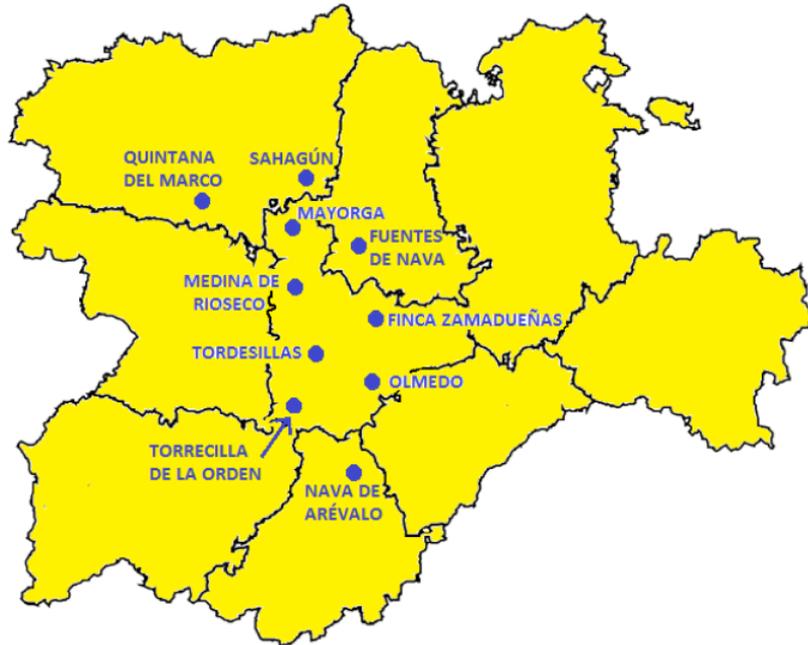


Figura 14: Ubicación estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas

Para las instalaciones que no cuentan con instalación SIAR en un radio de 10 km, se interpolarán los datos meteorológicos según el método del inverso de la distancia.

4.4 CÁLCULO DE LAS CORRELACIONES

Como se explicó en el Capítulo 3 “Metodología”, se calcula el cociente entre los datos reales de producción de las instalaciones y los rendimientos del panel e inversor y la superficie del panel para estimar la **irradiación diaria equivalente** (H_{eq}).

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}}$$

A continuación, se relacionan las variables meteorológicas de tal forma que se ajusten a los resultados obtenidos de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}), mediante una regresión múltiple.

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}} = f(T, W, v, H)$$

Se calcularán las siete correlaciones propuestas por Calderón para obtener así la estimación más exacta posible de la producción, teniendo en cuenta la complejidad de las expresiones.

Las correlaciones policristalinas se calcularán en tres grupos: instalación, ubicación y general.

- ✓ **Instalación:** correlaciones específicas para cada instalación.
 - Anuales: se obtendrán las siete correlaciones para cada uno de los siete años comprendidos entre el 2010 y el 2016 para cada instalación.
 - Globales: se calcularán las siete correlaciones para cada instalación, considerando conjuntamente los datos de los siete años. Así se obtiene una correlación específica para cada instalación que puede usarse para predecir la producción de esa instalación.
- ✓ **Ubicación:** en aquellas localizaciones donde existan dos o más instalaciones se calcularán correlaciones particulares para esa zona.
 - Globales: se obtendrán correlaciones particulares para esa ubicación evaluando de forma conjunta los datos de todos los años y todas las instalaciones de la ubicación. De esta forma se podría predecir la producción de una futura instalación que se situara en esa ubicación.
- ✓ **General:** correlaciones para instalaciones policristalinas a 30° de inclinación.
 - Globales: tomando los datos de los 7 años de las 16 instalaciones policristalinas y analizándolos de forma conjunta, se calcularán las correlaciones generales que servirán para estimar la producción de cualquier instalación policristalina situada a 30° de inclinación. Previsiblemente su error será mayor que en los casos anteriores pero puede ser una estimación válida para cualquier instalación.

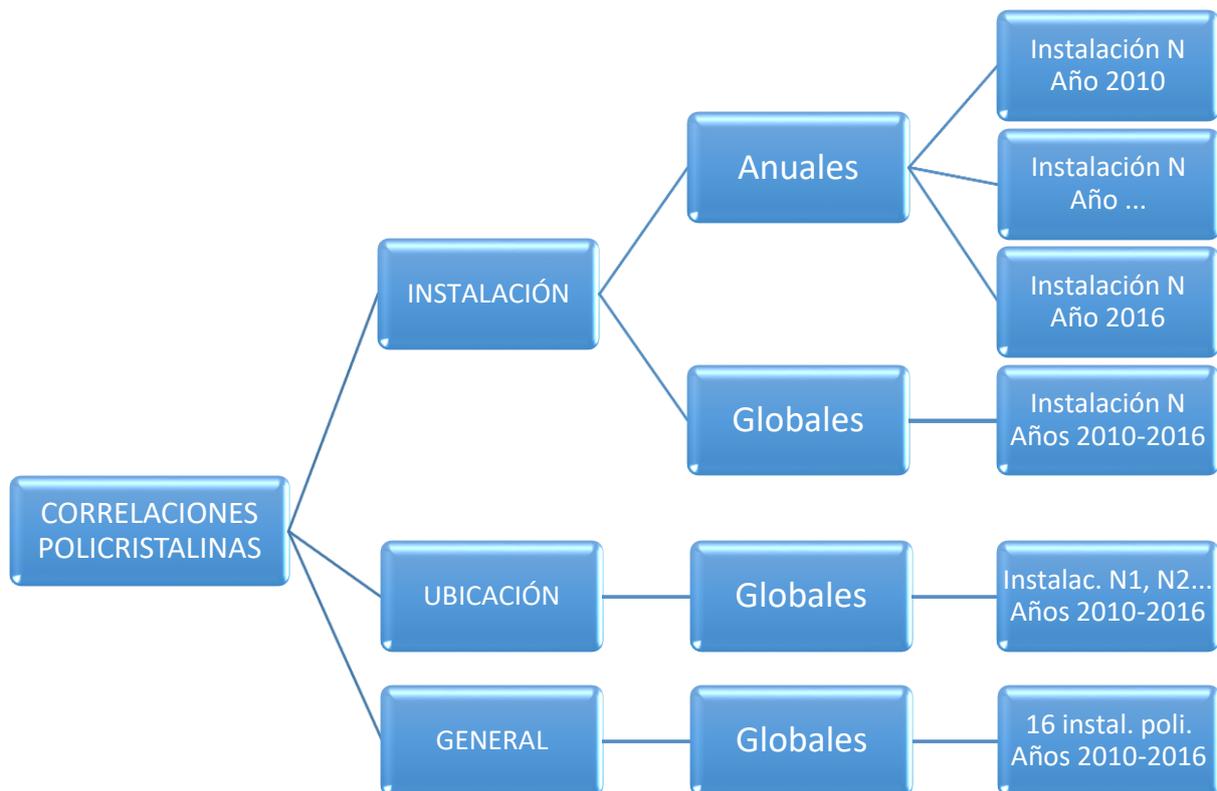


Figura 15: Esquema de las correlaciones calculadas para las instalaciones policristalinas

4.4.1 Cálculo de las correlaciones para cada instalación policristalina

Para cada una de las 16 instalaciones policristalinas se calcularán las siete correlaciones para los siete años comprendidos entre el 2010 y el 2016 (**correlaciones anuales**) y las siete correlaciones generales para cada instalación considerando el total de los datos de los años 2010 a 2016 (**correlaciones globales**).

4.4.1.1 Cálculo de las correlaciones anuales para cada instalación policristalina

En este apartado se calculan las siete correlaciones **anuales** para cada instalación. Con los datos de cada año, se calculan las correlaciones correspondientes a ese año y esa instalación, por lo que al tener datos de siete años se obtienen un total de 49 correlaciones por instalación.

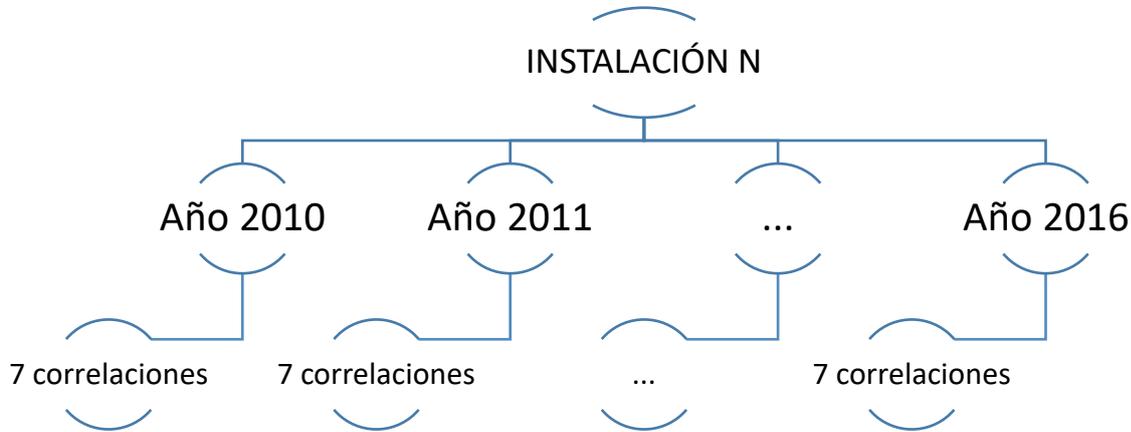


Figura 16: Esquema de correlaciones anuales para cada instalación

De esta forma se obtienen las correlaciones anuales para cada instalación, cuyas expresiones se incluyen en el ‘Anexo 1: Correlaciones anuales para cada instalación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada.’

Como se han calculado 49 correlaciones para cada una de las 16 instalaciones, en total se han generado 784 correlaciones que sirven para estimar la irradiación equivalente.

Para presentar todo este trabajo se va a mostrar en primer lugar los resultados de una instalación en concreto (Abalhorn 2) y posteriormente un resumen de las 16 instalaciones estudiadas, incluyendo los siguientes apartados:

- ❖ Correlaciones anuales específicas Abalhorn 2
 - Correlaciones años 2010 a 2016
 - Análisis de la validez de las correlaciones anuales para cada instalación policristalina
 - T de Student y F de Snedecor
 - R-cuadrado, Rmse y Mbe
 - Gráficas anuales 2010-2016
 - Gráficas valores medios anuales años 2010-2016
- ❖ Correlaciones anuales específicas de las 16 instalaciones policristalinas
 - Análisis de la validez de las correlaciones anuales para las 16 instalaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe medio
 - Gráficas anuales medias 2010-2016
 - Gráficas valores medios anuales totales (de las 16 instalaciones) años 2010-2016

Ahora se procede a desarrollar el esquema propuesto.

❖ Correlaciones anuales específicas Abalhorn 2

- Correlaciones años 2010 a 2016

A continuación se muestran las correlaciones para una de las instalaciones, **Abalhorn 2** (instalación 5), que servirá de ejemplo para mostrar las comprobaciones realizadas para todas las instalaciones.

➤ Instalación 5: Abalhorn 2

Año 2010

1. $H_{eq} = 27.3672 - 0.0827 \cdot T - 0.0330 \cdot W - 0.1659 \cdot v + 0.7938 \cdot H$
2. $H_{eq} = -33.4455 + 0.3227 \cdot T + 0.0178 \cdot W - 0.6429 \cdot v + 1.1799 \cdot H - 0.0007 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0698 \cdot v^2 - 0.0451 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.3347 - 0.0577 \cdot T + 1.6911 \cdot H - 0.0707 \cdot H^2 - 0.4489 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.8935 - 0.0571 \cdot T + 1.5030 \cdot H - 0.0628 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.2184 - 0.0539 \cdot T - 0.1339 \cdot H + 3.0997 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 11.9394 - 0.0507 \cdot T + 3.5879 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6092 + 3.1384 \cdot \sqrt{H}$

Año 2011

1. $H_{eq} = 29.8509 - 0.1005 \cdot T - 0.0083 \cdot W - 0.1335 \cdot v + 0.9826 \cdot H$
2. $H_{eq} = 163.88 - 1.0564 \cdot T - 0.0023 \cdot W - 0.3406 \cdot v + 1.9156 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0560 \cdot v^2 - 0.10000 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 22.2653 - 0.0891 \cdot T + 0.6560 \cdot H - 0.0465 \cdot H^2 + 3.0668 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 25.8674 - 0.0951 \cdot T + 1.9238 \cdot H - 0.0983 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 19.3476 - 0.0841 \cdot T - 0.4286 \cdot H + 5.6108 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 23.3593 - 0.0937 \cdot T + 4.0324 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7850 + 3.2414 \cdot \sqrt{H}$

Año 2012

1. $H_{eq} = 19.0530 - 0.0636 \cdot T - 0.0004 \cdot W - 0.1596 \cdot v + 0.9161 \cdot H$
2. $H_{eq} = 74.2711 - 0.4817 \cdot T + 0.0683 \cdot W - 0.3166 \cdot v + 1.5742 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0045 \cdot v^2 - 0.0812 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.1385 - 0.0533 \cdot T + 0.9154 \cdot H - 0.0579 \cdot H^2 + 2.0784 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.0997 - 0.0557 \cdot T + 1.7649 \cdot H - 0.0921 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.3705 - 0.0503 \cdot T - 0.4424 \cdot H + 5.2814 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.5004 - 0.0602 \cdot T + 3.6489 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6153 + 3.1395 \cdot \sqrt{H}$

Año 2013

1. $H_{eq} = 17.7295 - 0.0562 \cdot T - 0.0039 \cdot W - 0.2323 \cdot v + 0.8699 \cdot H$
2. $H_{eq} = 6.9691 - 0.0019 \cdot T + 0.0084 \cdot W - 0.6170 \cdot v + 1.6663 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0703 \cdot v^2 - 0.0866 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 10.5442 - 0.0479 \cdot T + 0.0459 \cdot H - 0.0174 \cdot H^2 + 4.0401 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.4236 - 0.0528 \cdot T + 1.7357 \cdot H - 0.0894 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.7466 - 0.0469 \cdot T - 0.3391 \cdot H + 4.9237 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.5562 - 0.0531 \cdot T + 3.6577 \cdot \sqrt{H}$

$$7. H_{eq} = -1.6658 + 3.2036 \cdot \sqrt{H}$$

Año 2014

1. $H_{eq} = 24.3625 - 0.0721 \cdot T - 0.0279 \cdot W - 0.2146 \cdot v + 0.7477 \cdot H$
2. $H_{eq} = 72.2903 - 0.4320 \cdot T + 0.0270 \cdot W - 0.5052 \cdot v + 1.5861 \cdot H +$
 $+0.0006 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0544 \cdot v^2 - 0.0826 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.3921 - 0.0594 \cdot T + 0.7555 \cdot H - 0.0559 \cdot H^2 + 2.6791 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.9875 - 0.0627 \cdot T + 1.8594 \cdot H - 0.1013 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 11.4059 - 0.0550 \cdot T - 0.5177 \cdot H + 5.6315 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.5465 - 0.0602 \cdot T + 3.6506 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7753 + 3.2115 \cdot \sqrt{H}$

Año 2015

1. $H_{eq} = 31.4941 - 0.1026 \cdot T - 0.0200 \cdot W - 0.0777 \cdot v + 0.8827 \cdot H$
2. $H_{eq} = 10.1774 - 0.0016 \cdot T + 0.0322 \cdot W - 0.5245 \cdot v + 1.8225 \cdot H -$
 $-0.0001 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0687 \cdot v^2 - 0.0922 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 20.1423 - 0.0840 \cdot T + 0.3736 \cdot H - 0.0371 \cdot H^2 + 3.8571 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 22.9703 - 0.0851 \cdot T + 1.9134 \cdot H - 0.0981 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.6672 - 0.0835 \cdot T - 0.5071 \cdot H + 5.9795 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 22.4210 - 0.0908 \cdot T + 4.0219 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.8072 + 3.1984 \cdot \sqrt{H}$

Año 2016

1. $H_{eq} = 41.1768 - 0.1283 \cdot T - 0.0444 \cdot W - 0.1230 \cdot v + 0.7654 \cdot H$
2. $H_{eq} = 109.235 - 0.6699 \cdot T + 0.0338 \cdot W - 0.3477 \cdot v + 1.2743 \cdot H +$
 $+0.0010 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 + 0.0327 \cdot v^2 - 0.0583 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.6382 - 0.0579 \cdot T + 0.2791 \cdot H - 0.0245 \cdot H^2 + 3.4236 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.8444 - 0.0617 \cdot T + 1.6886 \cdot H - 0.0824 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.5823 - 0.0569 \cdot T - 0.2815 \cdot H + 4.7334 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.6608 - 0.0649 \cdot T + 3.7050 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7482 + 3.1569 \cdot \sqrt{H}$

- Análisis de la validez de las correlaciones anuales para cada instalación policristalina

Una vez obtenidos los valores de los coeficientes de las correlaciones, se ha analizado la validez de los resultados obtenidos calculando los estadísticos explicados en el punto 3.2.2.2 Análisis de la validez del modelo utilizado. De esta forma se puede verificar la validez del modelo globalmente y de las variables de forma individual.

A continuación se muestra la información referente a los estadísticos estudiados para la instalación 5. En primer lugar se presentan los datos referentes a la t de Student y la F de Snedecor y posteriormente los valores del R-cuadrado, rmse y mbe.

- T de Student y F de Snedecor para las correlaciones anuales de la instalación 5: Abalhorn 2.

En las siguientes tablas se recogen los valores de los estadísticos t y F para cada correlación de la instalación 5, así como su significación, señalando en rojo aquellos valores que no están dentro del intervalo de confianza deseado.

Tabla 3: Estadísticos t y F correlación 1 Abalhorn 2

Correlación n°1	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Humedad		Veloc. viento		Irradiación		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	-8,39	0,00	-5,55	0,00	-3,85	0,00	21,06	0,00	476,58	0,00
Año 2011	-9,69	0,00	-2,37	0,02	-2,79	0,01	33,97	0,00	612,80	0,00
Año 2012	-6,72	0,00	-0,12	0,91	-3,37	0,00	29,73	0,00	460,50	0,00
Año 2013	-6,05	0,00	-0,74	0,46	-6,02	0,00	25,52	0,00	560,04	0,00
Año 2014	-6,72	0,00	-4,57	0,00	-5,92	0,00	20,26	0,00	631,94	0,00
Año 2015	-9,96	0,00	-3,74	0,00	-1,80	0,07	25,40	0,00	552,75	0,00
Año 2016	-13,42	0,00	-9,80	0,00	-3,86	0,00	26,45	0,00	793,50	0,00

En la tabla 3 podemos observar que en la correlación 1 existe una variable, la humedad relativa, que no es individualmente significativa en los años 2012 y 2013, ya que su p-valor es superior a 0,05, por lo que no entra en el intervalo del 95% de confianza. En cuanto al estadístico F, se puede observar que el modelo es globalmente significativo ya que en todos los años el p-valor es menor de 0,05.

Tabla 4: Estadísticos t y F correlación 2 Abalhorn 2

Correlación n°2	t de Student/significación												F Snedecor/sign.					
	Temp.		Hum.		Vel. Viento		Irrad.		Temp.^2		Hum.^2		Vel. Viento^2		Irrad.^2		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	0,67	0,50	0,58	0,56	-4,46	0,00	10,65	0,00	-0,81	0,42	-1,61	0,11	3,28	0,00	-4,36	0,00	279,41	0,00
Año 2011	-2,65	0,01	-0,14	0,89	-2,04	0,04	24,21	0,00	2,40	0,02	-0,22	0,83	1,78	0,08	-13,86	0,00	546,05	0,00
Año 2012	-1,06	0,29	4,32	0,00	-2,31	0,02	18,03	0,00	0,95	0,34	-4,38	0,00	0,20	0,84	-10,25	0,00	408,50	0,00
Año 2013	0,00	1,00	0,32	0,75	-4,60	0,00	17,18	0,00	-0,09	0,92	-0,42	0,67	3,16	0,00	-9,50	0,00	398,49	0,00
Año 2014	-0,84	0,40	1,26	0,21	-4,50	0,00	16,84	0,00	0,70	0,48	-1,99	0,05	3,06	0,00	-10,02	0,00	551,30	0,00
Año 2015	0,00	1,00	1,55	0,12	-4,29	0,00	20,37	0,00	-0,18	0,86	-1,81	0,07	3,36	0,00	-11,60	0,00	480,43	0,00
Año 2016	-1,45	0,15	1,77	0,08	-3,68	0,00	14,47	0,00	1,25	0,21	-3,58	0,00	2,20	0,03	-7,51	0,00	552,80	0,00

En la tabla 4 se muestran los valores de los estadísticos referidos a la correlación 2, que es la que incluye una mayor combinación de variables al considerarlas en su forma lineal y cuadrática. Por ello es lógico que la significación individual de cada una de ellas sea menor, siendo únicamente válidas los siete años la irradiación y la irradiación al cuadrado, lo que indica que es la variable más significativa. Observando los valores del estadístico F se puede concluir que el modelo es globalmente significativo.

Tabla 5: Estadísticos t y F correlación 3 Abalhorn 2

Correlación n°3	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^2		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	-6,11	0,00	2,68	0,01	-2,52	0,01	-0,30	0,76	480,85	0,00
Año 2011	-11,12	0,00	1,22	0,22	-2,05	0,04	2,38	0,02	1052,65	0,00
Año 2012	-6,67	0,00	1,62	0,11	-2,45	0,01	1,52	0,13	689,78	0,00
Año 2013	-6,16	0,00	0,08	0,94	-0,68	0,50	2,96	0,00	717,31	0,00

4 Estimación de la producción en instalaciones policristalinas a 30°

Año 2014	-7,22	0,00	1,61	0,11	-2,77	0,01	2,37	0,02	971,30	0,00
Año 2015	-11,76	0,00	0,73	0,47	-1,74	0,08	3,02	0,00	925,94	0,00
Año 2016	-7,41	0,00	0,54	0,59	-1,11	0,27	2,75	0,01	855,04	0,00

Respecto a la correlación número 3, las variables más significativas para el modelo propuesto son la temperatura y la raíz cuadrada de la irradiación, siendo la correlación propuesta globalmente significativa.

Tabla 6: Estadísticos t y F correlación 4 Abalhorn 2

Correlación n°4	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación ²		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	-6,19	0,00	17,10	0,00	-6,70	0,00	642,76	0,00
Año 2011	-12,45	0,00	30,98	0,00	-15,53	0,00	1383,80	0,00
Año 2012	-7,09	0,00	25,37	0,00	-12,81	0,00	915,65	0,00
Año 2013	-6,87	0,00	22,50	0,00	-11,02	0,00	933,49	0,00
Año 2014	-7,68	0,00	27,91	0,00	-15,31	0,00	1276,80	0,00
Año 2015	-11,80	0,00	28,64	0,00	-14,87	0,00	1204,53	0,00
Año 2016	-7,96	0,00	25,61	0,00	-11,77	0,00	1117,27	0,00

En la correlación 4 todas las variables son individualmente significativas y el modelo global también.

Tabla 7: Estadísticos t y F correlación 5 Abalhorn 2

Correlación n°5	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación ^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	-5,74	0,00	0,99	0,32	6,16	0,00	629,48	0,00
Año 2011	-10,97	0,00	-4,50	0,00	15,61	0,00	1389,74	0,00
Año 2012	-6,32	0,00	-3,98	0,00	12,60	0,00	905,16	0,00
Año 2013	-6,14	0,00	-3,02	0,00	11,51	0,00	957,69	0,00
Año 2014	-6,75	0,00	-5,48	0,00	15,21	0,00	1269,14	0,00
Año 2015	-11,66	0,00	-5,09	0,00	15,19	0,00	1226,64	0,00
Año 2016	-7,33	0,00	-2,70	0,01	12,14	0,00	1138,93	0,00

En la tabla 7 se muestra que la correlación 5 es globalmente significativa, así como cada una de las variables en ella incluida.

Tabla 8: Estadísticos t y F correlación 6 Abalhorn 2

Correlación n°6	t de Student/significación				F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación ^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor		
Año 2010	-5,74	0,00	33,54	0,00	943,77	0,00
Año 2011	-12,40	0,00	48,74	0,00	1969,51	0,00
Año 2012	-7,82	0,00	40,44	0,00	1296,66	0,00
Año 2013	-7,14	0,00	41,46	0,00	1400,50	0,00
Año 2014	-7,15	0,00	44,39	0,00	1748,71	0,00
Año 2015	-12,51	0,00	46,54	0,00	1709,40	0,00
Año 2016	-8,96	0,00	44,96	0,00	1675,81	0,00

La correlación 6, al igual que las dos anteriores, es globalmente significativa y sus variables lo son de forma individual. Hay que tener en cuenta que al considerar correlaciones con pocas

variables, éstas serán necesariamente más significativas que si se considerarán gran cantidad de variables.

Tabla 9: Estadísticos t y F correlación 7 Abalhorn 2

Correlación nº7	t de Student/significación		F Snedecor/sign.	
	Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor		
Año 2010	41,25	0,00	1701,92	0,00
Año 2011	51,61	0,00	2663,75	0,00
Año 2012	46,62	0,00	2173,44	0,00
Año 2013	49,17	0,00	2417,68	0,00
Año 2014	55,03	0,00	3028,11	0,00
Año 2015	47,79	0,00	2283,55	0,00
Año 2016	51,83	0,00	2686,54	0,00

La correlación 7 cuenta con una sola variable, por lo que ésta es individualmente significativa, así como el modelo de forma global.

- R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones anuales de la instalación 5: Abalhorn 2

Tabla 10: R-cuadrado, rmse y mbe instalación 5 Abalhorn 2

Año	Correlación nº1			Correlación nº2			Correlación nº3		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
2010	84,38%	19,65	1,13E-03	86,50%	18,49	9,02E-04	84,49%	19,76	-9,19E-04
2011	87,19%	16,24	9,97E-04	92,46%	12,45	7,65E-04	92,12%	12,73	-3,76E-03
2012	83,61%	19,07	-3,76E-03	90,15%	14,79	-4,08E-03	88,43%	16,03	-5,72E-03
2013	86,15%	16,94	2,70E-03	89,95%	14,42	1,47E-03	88,85%	15,19	4,10E-03
2014	87,53%	16,48	-2,60E-03	92,53%	12,76	1,40E-03	91,52%	13,59	-8,18E-04
2015	86,00%	17,24	-4,58E-03	91,52%	13,41	-3,45E-03	91,14%	13,71	-2,68E-03
2016	89,79%	14,87	5,00E-03	92,53%	12,71	5,38E-03	90,45%	14,37	3,41E-03
MEDIA 2010-2016	86,38%	17,21	-1,61E-04	90,81%	14,15	3,39E-04	89,57%	15,06	-9,13E-04

Año	Correlación nº4			Correlación nº5		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
2010	84,49%	19,77	-3,45E-04	84,21%	19,99	-4,40E-04
2011	92,00%	12,83	-3,41E-03	92,03%	12,81	-3,37E-03
2012	88,36%	16,08	-4,58E-03	88,24%	16,17	-6,14E-03
2013	88,58%	15,38	2,36E-03	88,84%	15,20	4,90E-03
2014	91,39%	13,70	-1,63E-03	91,34%	13,73	-1,65E-03
2015	90,92%	13,89	-3,67E-03	91,07%	13,77	-4,28E-03
2016	90,25%	14,52	2,48E-03	90,42%	14,39	3,61E-03
MEDIA 2010-2016	89,43%	15,17	-1,26E-03	89,45%	15,15	-1,05E-03

Año	Correlación nº6			Correlación nº7		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
2010	84,17%	20,03	-4,86E-04	82,70%	20,93	1,99E-05
2011	91,58%	13,16	-2,97E-03	88,01%	15,71	-2,17E-03
2012	87,72%	16,52	-4,60E-03	85,65%	17,85	-4,62E-03
2013	88,56%	15,40	4,33E-03	86,95%	16,44	4,43E-03
2014	90,62%	14,29	-2,03E-03	89,30%	15,27	-1,77E-03
2015	90,43%	14,26	-3,36E-03	86,28%	17,06	-2,59E-03
2016	90,23%	14,54	2,83E-03	88,07%	16,07	2,64E-03
MEDIA 2010-2016	89,04%	15,46	-8,98E-04	86,71%	17,05	-5,82E-04

En un primer análisis fijándose en los valores medios se puede observar que la correlación que mejor R-cuadrado tiene es la número 2 (90,81%), resultado lógico ya que es la que mayor combinación de variables utiliza. Por su parte la correlación número 5 presenta un R-cuadrado del 89,45%, el tercero mayor de las siete correlaciones, a pesar de que solo utiliza dos variables (la temperatura y la irradiación). La correlación más simple, la número 7, presenta un valor de R-cuadrado aceptable (86,71%) usando solamente una variable.

En referencia a los estadísticos rmse y mbe, todas las correlaciones presentan valores admisibles, estando el rmse entre 14 y 18 y el mbe muy próximo a 0 en todas ellas.

Para poder valorar mejor estos datos se representarán gráficamente. Las primeras tres gráficas muestran los valores de los tres estadísticos para cada año y para cada correlación. Las tres siguientes hacen referencia a los valores medios de los siete años de los estadísticos para cada correlación.

- Gráficas anuales 2010-2016 instalación 5 Abalhorn 2: Se obtienen calculando el valor del estadístico para cada año (valores recogidos en la tabla 10, años 2010 a 2016). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas los siete años.

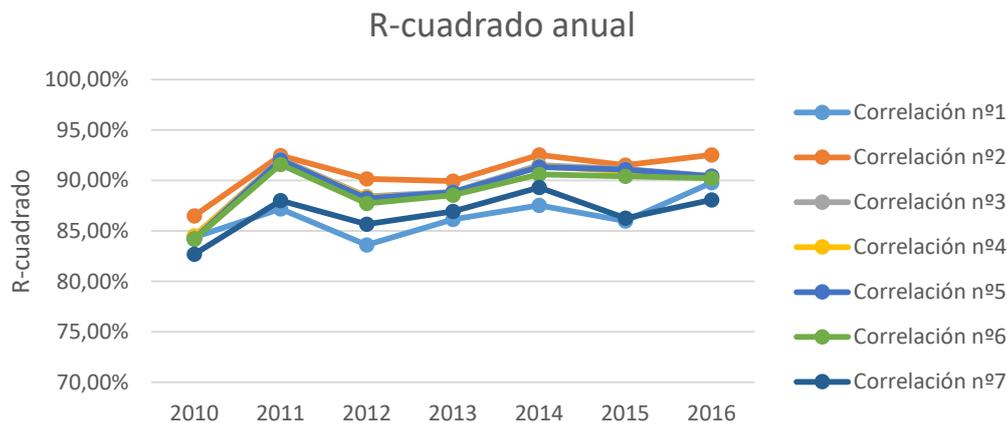


Figura 17: R-cuadrado anual años 2010-2016 Abalhorn 2

En la figura 17 se observa que la correlación con mayor R-cuadrado anual es la número 2, seguida de la 5, la 3, la 4 y la 6, estando algo más lejos la 1 y la 7, aunque sus valores siguen siendo superiores al 80%. Así mismo se puede ver que el menor valor de R-cuadrado de todas las correlaciones tiene lugar en el año 2010.

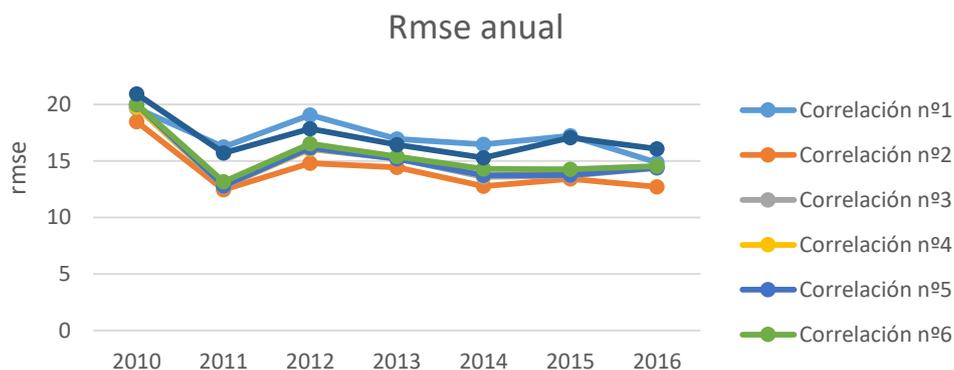


Figura 18: Rmse anual años 2010-2016 Abalhorn 2

En referencia al rmse anual se mantiene la misma tendencia que para el R-cuadrado, siendo las mejores correlaciones la 2 y la 5, y las menos buenas la 1 y la 7, siendo aceptables sus valores.

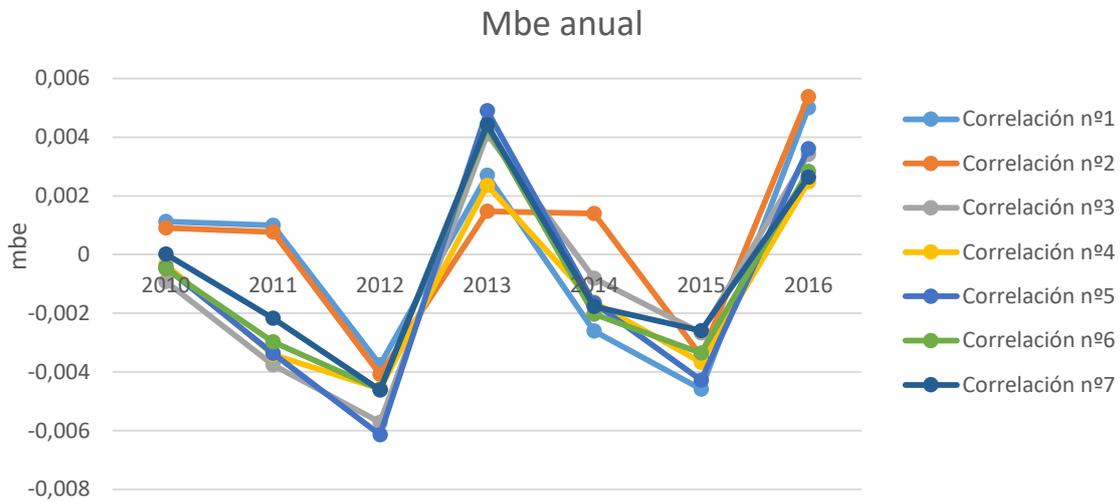


Figura 19: Mbe anual años 2010-2016 Abalhorno 2

Respecto al mbe anual, todas las correlaciones presentan valores muy cercanos a 0.

- Gráficas valores medios anuales años 2010-2016 instalación 5 Abalhorno 2: Se obtienen calculando la media de los valores del estadístico en los siete años estudiados (valores recogidos en la última fila de la tabla 10, media de los años 2010 a 2016). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

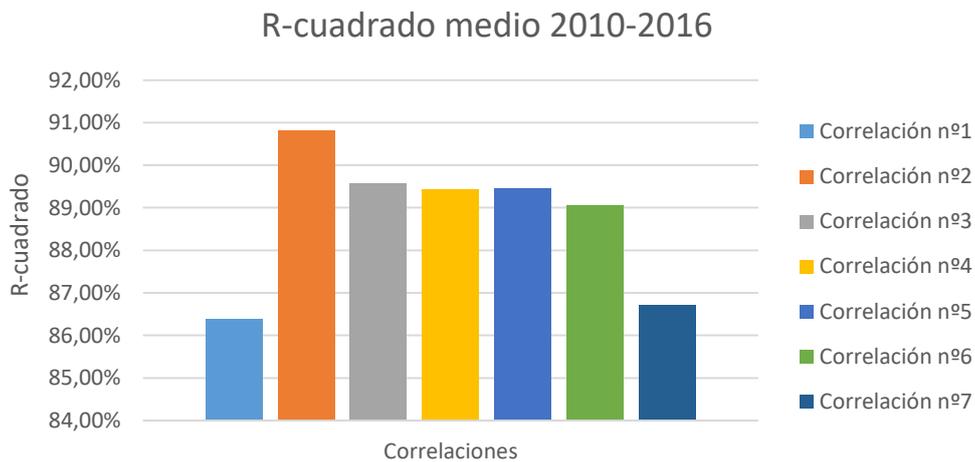


Figura 20: R-cuadrado medio años 2010-2016 Abalhorno 2

Como ya se había mencionado, las correlaciones 2, 3 y 5 presentan el mayor R-cuadrado, estando todos en valores superiores al 80%.

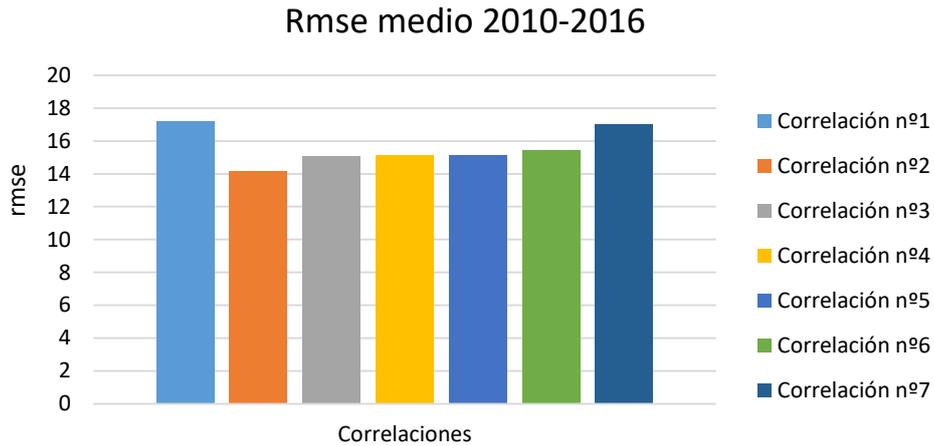


Figura 21: Rmse medio años 2010-2016 Abalhornos 2

Los valores medios del rmse son similares para todas las correlaciones.

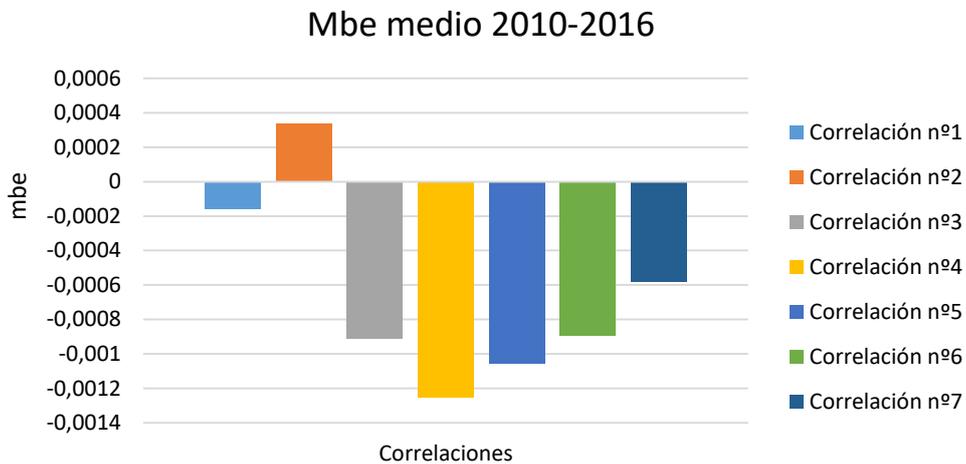


Figura 22: Mbe medio años 2010-2016 Abalhornos 2

Los valores medios del mbe son cercanos a cero para todas las correlaciones, siendo el mayor el correspondiente a la correlación 4.

❖ Correlaciones anuales específicas de las 16 instalaciones policristalinas

Para poder valorar las **correlaciones anuales** para las **16 instalaciones** policristalinas en general, se presentan a continuación una serie de tablas y gráficos que resumen los valores de los estadísticos R-cuadrado, rmse y mbe para todas las instalaciones estudiadas entre los años 2010 y 2016.

- Análisis de la validez de las correlaciones anuales para las 16 instalaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones anuales de las 16 instalaciones policristalinas: valores obtenidos haciendo la media de los valores anuales de cada instalación y correlación.

4 Estimación de la producción en instalaciones policristalinas a 30°

Tabla 11: R-cuadrado, rmse y mbe medio 2010-2016 instalaciones policristalinas

Instalación	Correlación nº1			Correlación nº2			Correlación nº3		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	83,73%	19,02	6,06E-02	87,85%	16,32	5,55E-02	86,74%	17,16	6,03E-02
Mojados 2	82,01%	19,76	1,07E-03	86,88%	16,80	5,12E-04	85,82%	17,56	1,59E-03
Mojados 4	83,29%	19,15	2,16E-03	87,14%	16,68	5,14E-03	86,10%	17,45	2,63E-03
Abalhorn 1	87,02%	16,81	5,10E-02	91,41%	13,72	4,59E-02	90,25%	14,62	4,95E-02
Abalhorn 2	86,38%	17,21	-1,61E-04	90,81%	14,15	3,39E-04	89,57%	15,06	-9,13E-04
Abalhorn 19	85,99%	17,45	-2,76E-04	90,22%	14,59	5,74E-04	88,96%	15,50	2,00E-04
Fresno 1	86,92%	15,44	4,52E-02	93,05%	11,22	7,95E-03	92,36%	11,76	1,29E-02
Fresno 2	86,71%	15,55	-3,50E-03	92,91%	11,35	-5,69E-03	92,19%	11,90	-4,37E-03
Villacidaler	86,48%	16,75	-2,19E-03	91,03%	13,56	-4,16E-03	90,32%	14,07	-1,21E-03
Mamblas 1	83,70%	17,10	1,15E-01	89,51%	13,85	1,32E-01	88,57%	14,45	1,39E-01
Mamblas 2	84,02%	16,82	-3,09E-02	89,87%	13,45	-1,61E-02	88,94%	14,03	-1,67E-02
Sotos 5	86,18%	16,38	4,40E-02	91,58%	12,87	4,26E-02	90,78%	13,46	4,72E-02
Sotos 6	84,58%	17,46	6,18E-02	89,36%	14,37	5,59E-02	88,52%	14,88	6,01E-02
Sotos 4	85,92%	16,55	6,67E-02	91,13%	13,11	4,82E-02	90,33%	13,70	4,40E-02
La Trapa	84,55%	16,66	-5,66E-02	89,97%	13,60	-8,60E-02	88,54%	14,95	-1,60E-01
Alija	83,04%	19,69	1,16E-01	87,04%	17,17	1,30E-01	84,53%	18,69	1,19E-01
MEDIA	85,03%	17,36	2,94E-02	89,99%	14,17	2,58E-02	88,91%	14,95	2,21E-02

Instalación	Correlación nº4			Correlación nº5		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	86,56%	17,26	6,05E-02	86,57%	17,27	6,09E-02
Mojados 2	85,65%	17,66	1,12E-03	85,55%	17,73	2,26E-03
Mojados 4	85,90%	17,56	2,77E-03	85,96%	17,54	3,85E-03
Abalhorn 1	90,12%	14,72	4,90E-02	90,14%	14,71	4,93E-02
Abalhorn 2	89,43%	15,17	-1,26E-03	89,45%	15,15	-1,05E-03
Abalhorn 19	88,78%	15,63	-1,69E-04	88,88%	15,56	5,65E-04
Fresno 1	92,28%	11,82	1,12E-02	92,07%	11,99	2,31E-02
Fresno 2	92,09%	11,98	-4,81E-03	91,92%	12,11	-4,78E-03
Villacidaler	89,99%	14,32	-9,35E-04	90,19%	14,17	-8,47E-04
Mamblas 1	88,23%	14,63	1,37E-01	88,52%	14,49	1,38E-01
Mamblas 2	88,62%	14,23	-1,35E-02	88,88%	14,07	-1,98E-02
Sotos 5	90,53%	13,64	4,74E-02	90,68%	13,53	4,75E-02
Sotos 6	88,23%	15,07	5,95E-02	88,46%	14,93	6,01E-02
Sotos 4	89,99%	13,92	4,62E-02	90,24%	13,77	4,41E-02
La Trapa	88,28%	14,72	-1,00E-01	88,36%	15,29	-1,88E-01
Alija	84,36%	18,80	1,19E-01	84,30%	18,83	1,19E-01
MEDIA	88,69%	15,07	2,58E-02	88,76%	15,07	2,09E-02

Instalación	Correlación nº6			Correlación nº7		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	86,23%	17,50	6,11E-02	83,98%	18,89	6,07E-02
Mojados 2	84,94%	18,10	2,26E-03	82,71%	19,44	2,14E-03
Mojados 4	85,62%	17,77	2,98E-03	83,26%	19,21	3,46E-03
Abalhorn 1	89,76%	14,99	5,02E-02	87,47%	16,52	4,38E-02
Abalhorn 2	89,04%	15,46	-8,98E-04	86,71%	17,05	-5,82E-04
Abalhorn 19	88,55%	15,79	5,34E-04	86,03%	17,44	3,93E-04
Fresno 1	91,24%	12,62	3,50E-02	88,72%	14,34	4,38E-02
Fresno 2	91,07%	12,74	-4,58E-03	88,41%	14,52	-3,78E-03
Villacidaler	89,47%	14,69	-1,47E-03	86,73%	16,52	-1,10E-03
Mamblas 1	87,59%	15,02	1,26E-01	84,48%	16,74	1,40E-01
Mamblas 2	87,95%	14,65	-2,46E-02	84,86%	16,35	-2,35E-02
Sotos 5	89,99%	14,02	4,68E-02	85,65%	16,65	3,77E-02
Sotos 6	87,84%	15,36	6,03E-02	83,88%	17,75	5,39E-02
Sotos 4	89,52%	14,26	5,26E-02	85,60%	16,75	4,87E-02
La Trapa	87,43%	15,45	-1,41E-01	85,32%	16,48	-1,18E-01
Alija	84,11%	18,92	1,19E-01	82,72%	19,78	1,19E-01
MEDIA	88,15%	15,46	2,40E-02	85,41%	17,15	2,54E-02

Observando la media de las 16 instalaciones se puede concluir que se mantiene la tendencia vista en la instalación 5, ya que las correlaciones con mayor R-cuadrado son la 2, la 3 y la 5.

En referencia a los estadísticos rmse y mbe, todas las correlaciones presentan valores admisibles, siendo el rmse menor de 18 y el mbe muy próximo a 0 en todas ellas.

Para poder valorar mejor estos datos se representarán gráficamente. Las primeras tres gráficas muestran los valores de los tres estadísticos para cada año y para cada correlación en las 16 instalaciones. Las tres siguientes hacen referencia a la media de los valores medios de los siete años de los estadísticos de las correlaciones de las 16 instalaciones.

- Gráficas anuales medias 2010-2016 instalaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos anuales para cada instalación y correlación, y hallando después la media de esos siete años para cada instalación (valores recogidos en la tabla 11, instalaciones 1 a 16). Se muestra en el eje de ordenadas el valor medio del estadístico estudiado en el periodo 2010-2016 y en el eje de abscisas la instalación correspondiente.

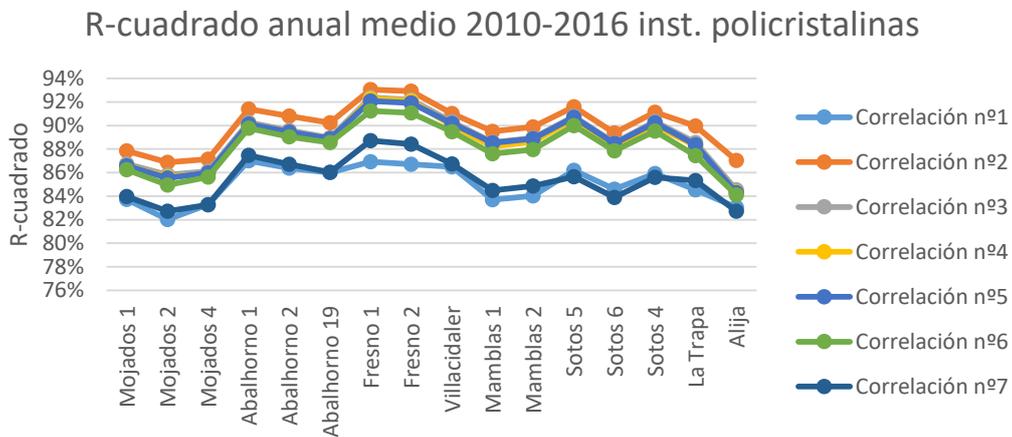


Figura 23: R-cuadrado anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Podemos ver que para todas las instalaciones se mantiene la tendencia de Abalhorn 2, siendo la correlación 2 y la 5 las que presentan mayor R-cuadrado. Las correlaciones 1 y 7 siguen siendo las menos buenas, estando su R-cuadrado entre el 82 y el 89%.

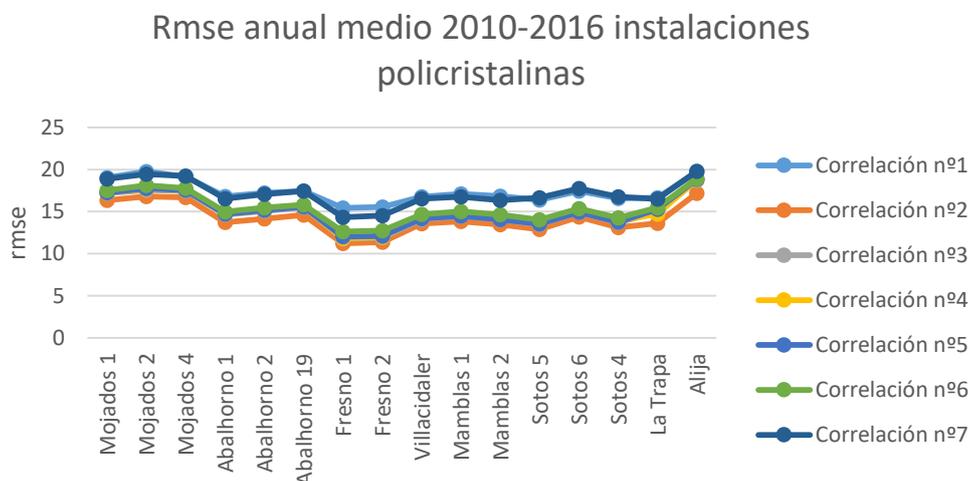


Figura 24: Rmse anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas

En referencia al rmse anual medio, se mantiene la misma tendencia que para el R-cuadrado, siendo las mejores correlaciones la 2 y la 5, y las menos buenas la 1 y la 7, siendo aceptables sus valores.

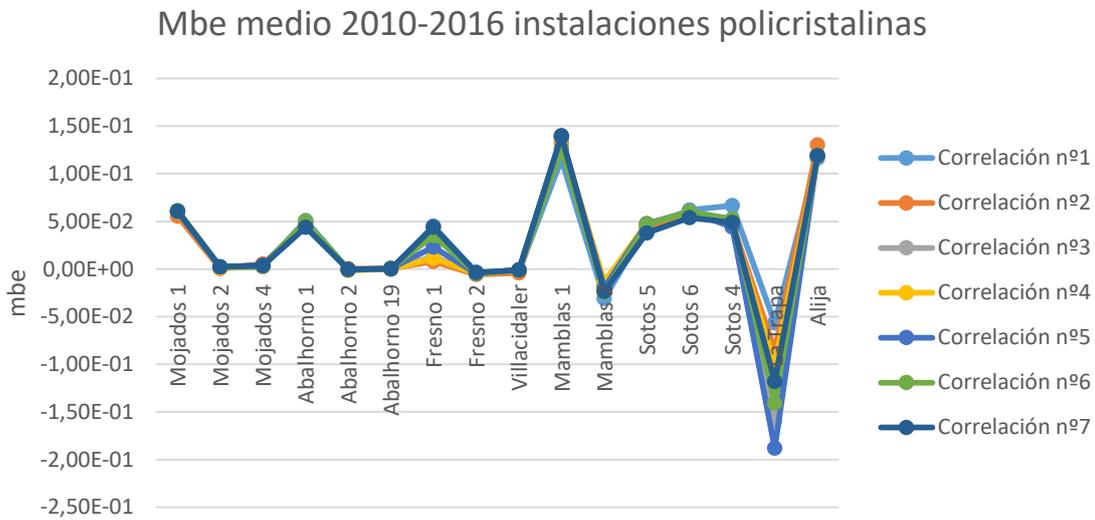


Figura 25: Mbe anual medio años 2010-2016 instalaciones policristalinas

En la figura 25 se muestra que cada instalación tiene valores distintos del mbe, si bien todos son próximos a cero.

- Gráficas valores medios anuales totales años 2010-2016 instalaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos anuales para cada instalación, hallando la media para esa instalación y haciendo la media de esos valores medios de todas las instalaciones (valores recogidos en la última fila de la tabla 11, media de las instalaciones 1 a 16). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

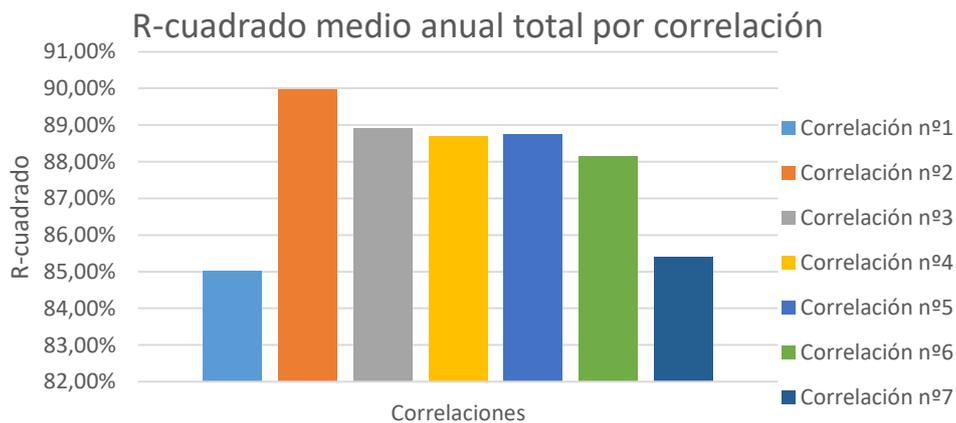


Figura 26: R-cuadrado medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Podemos ver de nuevo que las correlaciones 2, 3 y 5 presentan el mayor R-cuadrado.

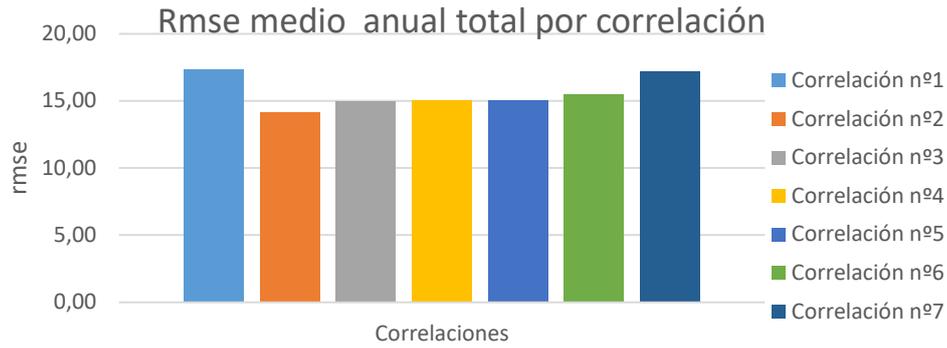


Figura 27: Rmse medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Los valores medios del rmse son similares y aceptables para todas las correlaciones.

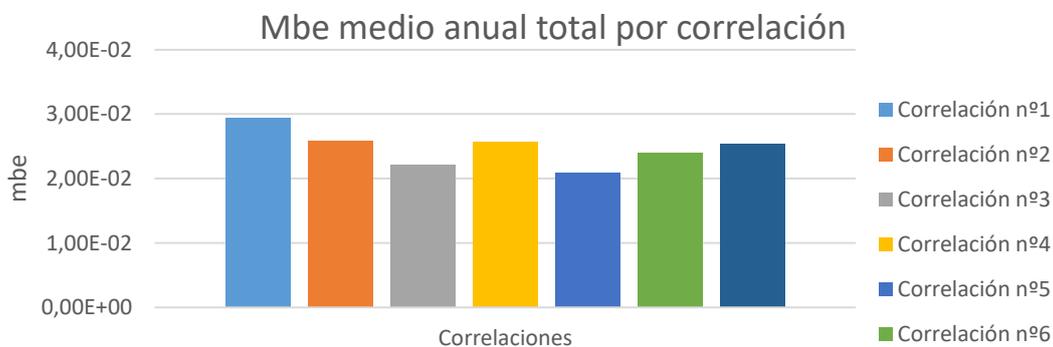


Figura 28: Mbe medio anual total años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Los valores medios del mbe son cercanos a cero para todas las correlaciones, siendo el mayor el correspondiente a la correlación 1.

4.4.1.2 Cálculo de las correlaciones globales para cada instalación policristalina

En este apartado se calculan las siete correlaciones **globales** para cada instalación. Con los datos de los siete años, se calculan las correlaciones correspondientes al conjunto de esos años y esa instalación, obteniendo siete correlaciones globales para cada instalación. De esta forma se obtienen correlaciones específicas de cada instalación, pero no año a año, sino que engloban siete años de estudio, de tal forma que suponen una estimación más fiable y general de la producción de cada instalación, por lo que pueden emplearse para predecir la producción de esa misma instalación en el futuro.



Figura 29: Esquema de correlaciones globales para cada instalación

De esta forma se obtienen las correlaciones globales para cada instalación, cuyas expresiones se incluyen en el Anexo 2.

De igual forma que para las correlaciones específicas anuales de cada instalación, se van a mostrar primero los resultados de la instalación 5 (Abalhorn 2) y posteriormente un resumen de las 16 instalaciones estudiadas, de la siguiente forma:

- ❖ Correlaciones globales Abalhorn 2
 - Correlaciones globales años 2010-2016
 - Análisis de la validez de las correlaciones globales para Abalhorn 2
 - T de Student y F de Snedecor
 - R-cuadrado, rmse y mbe
 - Gráficas valores globales años 2010-2016
- ❖ Correlaciones globales de las 16 instalaciones policristalinas
 - Correlaciones n°5 y n°7 globales años 2010-2016 instalaciones policristalinas
 - Análisis de la validez de las correlaciones globales para las 16 instalaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe medio
 - Gráficas globales 2010-2016
 - Gráficas valores medios globales (de las 16 instalaciones) años 2010-2016

Ahora se procede a desarrollar el esquema propuesto.

- ❖ **Correlaciones globales Abalhorn 2**
 - Correlaciones globales años 2010-2016 Abalhorn 2
- Instalación 5: Abalhorn 2
 1. $H_{eq} = 23.838 - 0.0769 \cdot T - 0.0119 \cdot W - 0.1527 \cdot v + 0.8792 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 63.0314 - 0.3810 \cdot T + 0.0424 \cdot W - 0.4473 \cdot v + 1.5695 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0463 \cdot v^2 - 0.0775 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.4979 - 0.0624 \cdot T + 0.8106 \cdot H - 0.0503 \cdot H^2 + 2.3245 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.7119 - 0.0651 \cdot T + 1.7663 \cdot H - 0.0895 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.0981 - 0.0595 \cdot T - 0.3417 \cdot H + 5.0164 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.1113 - 0.0665 \cdot T + 3.7431 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7098 + 3.1817 \cdot \sqrt{H}$
 - Análisis de la validez de las correlaciones globales para Abalhorn 2

Para evaluar la bondad de las correlaciones obtenidas, se procede a mostrar los valores de los estadísticos correspondientes.

- T de Student y F de Snedecor para las correlaciones globales de la instalación 5: Abalhorn 2.

Tabla 12: Estadísticos t y F correlación 1 global Abalhorn 2

Correlación n°1	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Humedad		Veloc. viento		Irradiación		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-20,87	0,00	-7,26	0,00	-9,91	0,00	72,88	0,00	3796,77	0,00

En el global de los años 2010-2016, para la correlación 1, todas las variables son individualmente significativas.

Tabla 13: Estadísticos t y F correlación 2 global Abalhorn 2

Correlación nº2	t de Student/significación														F Snedecor/sign.			
	Temp.		Hum.		Vel. Viento		Irrad.		Temp^2		Hum.^2		Vel. Viento^2		Irrad.^2		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-2,27	0,02	6,08	0,00	-9,57	0,00	45,57	0,00	1,88	0,06	-7,30	0,11	6,12	0,00	-24,73	0,00	2931,79	0,00

La variable temperatura al cuadrado no es individualmente significativa. El modelo global si lo es.

Tabla 14: Estadísticos t y F correlación 3 global Abalhorn 2

Correlación nº3	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^2		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-20,48	0,00	3,96	0,00	-5,74	0,00	4,71	0,00	5319,08	0,00

Tabla 15: Estadísticos t y F correlación 4 global Abalhorn 2

Correlación nº4	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^2		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-21,67	0,00	65,87	0,00	-32,43	0,00	7026,31	0,00

Tabla 16: Estadísticos t y F correlación 5 global Abalhorn 2

Correlación nº5	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-19,69	0,00	-8,36	0,00	32,20	0,00	6993,30	0,00

Tabla 17: Estadísticos t y F correlación 6 global Abalhorn 2

Correlación nº6	t de Student/significación				F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor		
Años 2010-2016	-22,56	0,00	111,37	0,00	10179,39	0,00

Tabla 18: Estadísticos t y F correlación 7 global Abalhorn 2

Correlación nº7	t de Student/significación		F Snedecor/sign.	
	Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor		
Años 2010-2016	128,65	0,00	16551,67	0,00

En las tablas 14 a 18 vemos que las correlaciones nº3, 4, 5, 6 y 7 son globalmente significativas, siendo todas sus variables relevantes de forma individual. Al tomar datos de varios años y un número no muy amplio de variables, es lógico que todas esas variables independientes tengan importancia a la hora de reproducir los valores de la variable dependiente (irradiación diaria equivalente).

- R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones globales de la instalación 5: Abalhorno 2

Tabla 19: R-cuadrado, rmse y mbe globales instalación 5 Abalhorno 2

Correlación nº	1	2	3	4	5	6	7
R ²	85,65%	90,23%	89,32%	89,22%	89,18%	88,88%	86,66%
rmse	17,73	14,70	15,37	15,43	15,48	15,68	17,15
mbe	1,21E-01	1,15E-01	1,22E-01	1,19E-01	1,25E-01	1,22E-01	1,30E-01

Respecto a los valores del estadístico R-cuadrado, todas las correlaciones presentan valores superiores al 85%, lo que quiere decir que los modelos explican más del 85% de la variabilidad de la H_{eq} . La mejor correlación en este aspecto es la número 2, que es la que incluye mayor combinación de variables.

En relación con el error cuadrático medio (rmse), los resultados de las siete correlaciones son válidos, ya que están comprendidos entre 15 y 18.

El último estadístico calculado, el error medio relativo (mbe) presenta valores cercanos a cero en todas las correlaciones, lo que indica que el error que se cometería al usar las correlaciones es muy pequeño.

A continuación se representan gráficamente los valores de la tabla 19.

- Gráficas valores globales años 2010-2016 instalación 5 Abalhorno 2: Se obtienen calculando los valores del estadístico para las correlaciones globales (valores recogidos en la tabla 19). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

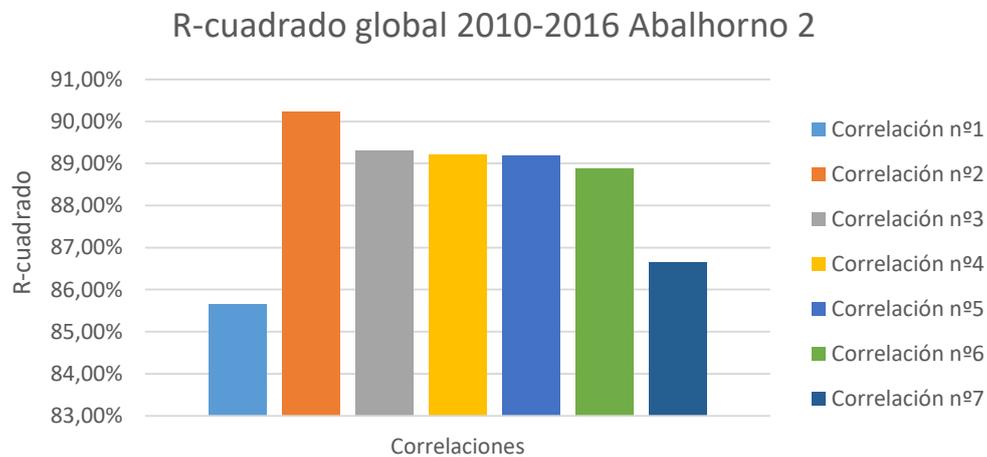


Figura 30: R-cuadrado global años 2010-2016 Abalhorno 2

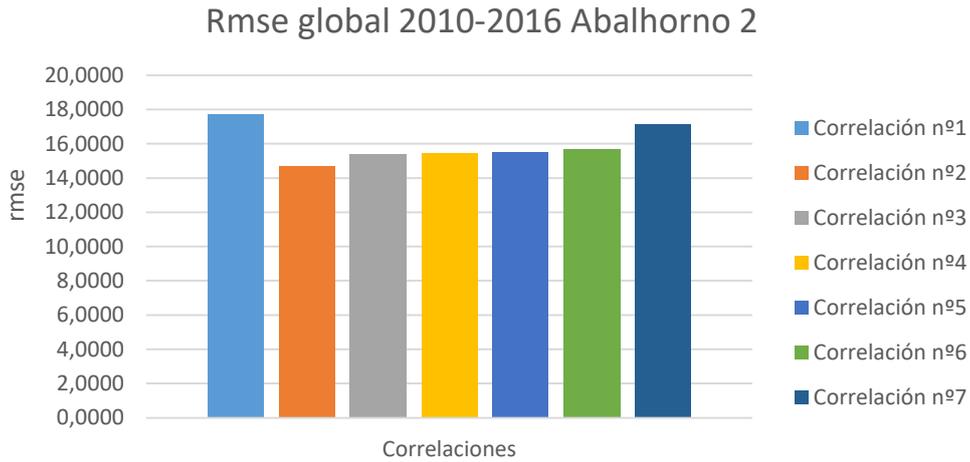


Figura 31: Rmse global años 2010-2016 Abalhorno 2

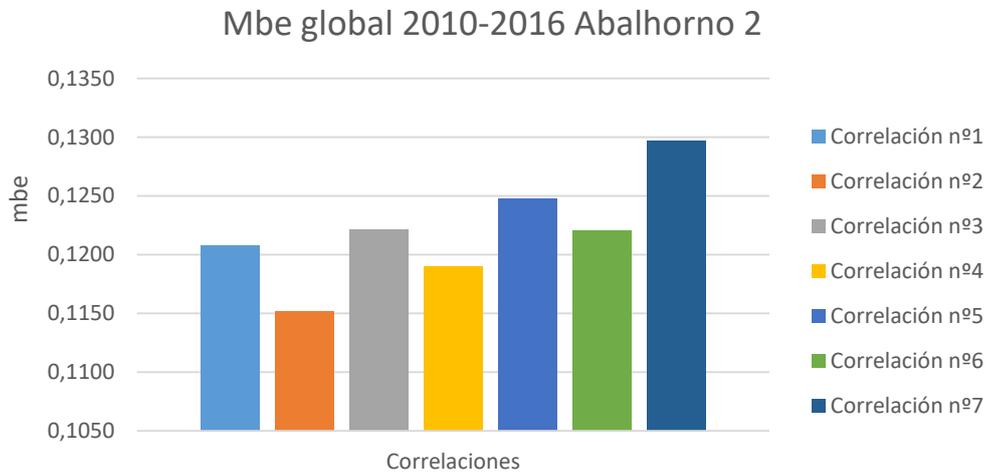


Figura 32: Mbe global años 2010-2016 Abalhorno 2

En las gráficas se observa que todas las correlaciones tienen buenos valores de los tres estadísticos, siendo la mejor la correlación número 2, que es a su vez la más compleja.

❖ **Correlaciones globales específicas de las 16 instalaciones policristalinas**

- Correlaciones nº5 y nº7 globales años 2010-2016 instalaciones policristalinas

En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de las **correlaciones globales nº5 y nº7 específicas de cada instalación** (en el apartado 4.4 se justifica la elección de estas correlaciones). Observando los valores de los coeficientes de la tabla se aprecia que las correlaciones de las instalaciones situadas en la misma ubicación tienen coeficientes muy similares.

4 Estimación de la producción en instalaciones policristalinas a 30°

Tabla 20: Coeficientes correlaciones nº5 y nº7 globales de las instalaciones policristalinas

Planta	Ubicación	Correlación nº5				Correlación nº7	
		$H_{eq\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
		cte	A	B	C	cte	A
Mojados 1	Mojados (VA)	13,56	-0,06	-0,32	4,94	-1,71	3,18
Mojados 2	Mojados (VA)	12,71	-0,06	-0,42	5,30	-1,66	3,17
Mojados 4	Mojados (VA)	13,38	-0,06	-0,31	4,72	-1,63	3,00
Abalhorno 1	Mojados (VA)	13,11	-0,06	-0,36	5,11	-1,76	3,21
Abalhorno 2	Mojados (VA)	13,10	-0,06	-0,34	5,02	-1,71	3,18
Abalhorno 19	Mojados (VA)	13,97	-0,06	-0,34	5,05	-1,73	3,19
Fresno 1	Fresno El Viejo (VA)	10,06	-0,05	-0,49	5,29	-1,56	2,90
Fresno 2	Fresno El Viejo (VA)	10,45	-0,05	-0,50	5,34	-1,56	2,91
Villacidaler	Villacidaler (PA)	12,85	-0,06	-0,45	5,18	-1,40	3,01
Mamblas 1	Mamblas (ÁV)	12,12	-0,06	-0,54	5,50	-1,28	2,88
Mamblas 2	Mamblas (ÁV)	12,04	-0,06	-0,54	5,52	-1,30	2,89
Soto 5	Torrecilla de la Torre (VA)	15,69	-0,07	-0,41	4,73	-1,09	2,59
Soto 6	Torrecilla de la Torre (VA)	16,52	-0,07	-0,38	4,80	-1,16	2,77
Soto 4	Torrecilla de la Torre (VA)	15,87	-0,07	-0,44	5,07	-1,22	2,81
La Trapa	Arévalo (ÁV)	9,84	-0,05	-0,54	5,83	-1,61	3,24
Alija	Alija del Infantado (LE)	10,30	-0,04	-0,09	3,36	-1,40	2,72

Para poder valorar las **correlaciones globales** para las **16 instalaciones** policristalinas en general, se presentan a continuación una serie de tablas y gráficos que resumen los valores de los estadísticos R-cuadrado, rmse y mbe para todas las 16 instalaciones estudiadas.

- Análisis de la validez de las correlaciones globales para las 16 instalaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones globales de las 16 instalaciones policristalinas: valores obtenidos calculando las correlaciones globales con los siete años para cada instalación.

Tabla 21: R-cuadrado, rmse y mbe global 2010-2016 instalaciones policristalinas

Instalación	Correlación nº1			Correlación nº2			Correlación nº3		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	82,77%	19,81	6,10E-02	86,94%	17,29	6,22E-02	86,25%	17,74	6,17E-02
Mojados 2	80,97%	20,58	9,30E-04	85,80%	17,78	2,05E-03	85,15%	18,18	2,09E-03
Mojados 4	82,26%	6,26	3,37E-03	86,21%	5,52	7,44E-04	85,57%	5,65	2,03E-03
Abalhorno 1	86,23%	17,36	5,25E-02	90,88%	14,17	4,95E-02	90,08%	14,77	4,85E-02
Abalhorno 2	85,65%	17,73	1,21E-01	90,23%	14,70	1,15E-01	89,32%	15,37	1,22E-01
Abalhorno 19	85,10%	18,04	-7,94E-04	89,56%	15,10	3,13E-04	88,69%	15,72	-1,69E-04
Fresno 1	86,38%	15,80	-5,91E-03	92,71%	11,56	-5,20E-03	92,20%	11,95	-7,41E-03
Fresno 2	86,18%	15,91	-4,44E-03	92,57%	11,66	-3,25E-03	92,01%	12,09	-3,98E-03
Villacidaler	85,61%	17,30	-2,03E-03	90,31%	14,20	-3,23E-03	89,77%	14,59	-2,29E-03
Mamblas 1	83,52%	17,21	1,93E-01	89,19%	14,14	2,01E-01	88,39%	14,65	2,08E-01
Mamblas 2	83,80%	16,95	5,40E-02	89,55%	13,70	5,25E-02	88,76%	14,19	5,18E-02
Sotos 5	85,63%	16,79	4,68E-02	91,04%	13,36	5,13E-02	90,51%	13,72	4,89E-02
Sotos 6	83,70%	18,02	6,39E-02	88,28%	15,33	6,04E-02	87,84%	15,60	6,16E-02
Sotos 4	85,36%	17,05	7,12E-02	90,53%	13,70	5,16E-02	89,97%	14,06	4,34E-02
La Trapa	84,37%	16,91	-5,81E-02	89,38%	14,13	-8,84E-02	88,12%	15,29	-1,49E-01
Alija	81,44%	20,98	1,17E-01	85,57%	18,63	1,24E-01	83,12%	20,06	1,20E-01
MEDIA	84,31%	17,05	4,46E-02	89,30%	14,06	4,19E-02	88,48%	14,60	3,79E-02

4 Estimación de la producción en instalaciones policristalinas a 30°

Instalación	Correlación nº4			Correlación nº5		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	86,14%	17,82	5,96%	86,16%	17,80	6,20%
Mojados 2	85,06%	18,23	0,05%	84,98%	18,28	0,16%
Mojados 4	85,44%	5,68	0,14%	85,49%	5,66	0,38%
Abalhorn 1	89,97%	14,85	4,94%	89,94%	14,87	5,04%
Abalhorn 2	89,22%	15,43	11,90%	89,18%	15,48	12,47%
Abalhorn 19	88,55%	15,81	0,06%	88,60%	15,78	-0,02%
Fresno 1	92,15%	12,00	-0,69%	91,90%	12,18	-0,78%
Fresno 2	91,94%	12,15	-0,43%	91,74%	12,30	-0,44%
Villacidaler	89,46%	14,81	-0,06%	89,68%	14,65	-0,20%
Mamblas 1	88,10%	14,79	20,01%	88,34%	14,69	21,02%
Mamblas 2	88,49%	14,35	5,17%	88,70%	14,22	5,10%
Sotos 5	90,29%	13,88	5,00%	90,41%	13,79	4,85%
Sotos 6	87,57%	15,76	6,02%	87,79%	15,63	6,22%
Sotos 4	89,71%	14,25	4,49%	89,89%	14,12	4,52%
La Trapa	87,96%	15,06	-10,21%	87,99%	15,70	-18,61%
Alija	83,05%	20,10	12,17%	82,98%	20,14	12,12%
MEDIA	88,32%	14,68	4,03E-02	88,36%	14,71	3,63E-02

Instalación	Correlación nº6			Correlación nº7		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Mojados 1	85,91%	17,97	6,30E-02	83,70%	19,28	6,13E-02
Mojados 2	84,55%	18,54	2,38E-03	82,36%	19,81	2,10E-03
Mojados 4	85,23%	5,72	3,54E-03	82,93%	6,14	3,34E-03
Abalhorn 1	89,62%	15,11	5,10E-02	87,38%	16,60	4,51E-02
Abalhorn 2	88,88%	15,68	1,22E-01	86,66%	17,15	1,30E-01
Abalhorn 19	88,31%	15,98	-3,98E-04	85,90%	17,55	5,50E-04
Fresno 1	91,10%	12,77	-7,29E-03	88,67%	14,41	-6,25E-03
Fresno 2	90,92%	12,90	-5,15E-03	88,38%	14,59	-3,84E-03
Villacidaler	89,04%	15,10	-1,84E-03	86,48%	16,77	-1,29E-03
Mamblas 1	87,49%	15,14	2,02E-01	84,51%	16,79	2,15E-01
Mamblas 2	87,84%	14,74	5,15E-02	84,87%	16,41	5,50E-02
Sotos 5	89,75%	14,24	4,96E-02	85,52%	16,79	3,79E-02
Sotos 6	87,33%	15,92	6,30E-02	83,51%	18,09	5,50E-02
Sotos 4	89,27%	14,56	4,93E-02	85,45%	16,92	4,39E-02
La Trapa	87,27%	15,76	-1,46E-01	85,27%	16,70	-1,21E-01
Alija	82,95%	20,16	1,21E-01	81,68%	20,86	1,21E-01
MEDIA	87,84%	15,02	3,86E-02	85,20%	16,55	3,98E-02

Todas las correlaciones presentan, en la media de las 16 instalaciones, valores de R-cuadrado altos, siendo las correlaciones con mayor R-cuadrado la 2, la 3 y la 5 (89,30%, 88,48% y 88,36% respectivamente)

En referencia a los estadísticos rmse y mbe, todas las correlaciones presentan valores admisibles, siendo la mejor la nº2.

Para poder valorar mejor estos datos se representarán gráficamente. Las primeras tres gráficas muestran los valores de los tres estadísticos para cada correlación global en las 16 instalaciones. Las tres siguientes hacen referencia a la media de los valores de los estadísticos de las correlaciones globales de las 16 instalaciones.

- Gráficas globales 2010-2016 instalaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos globales para cada instalación y correlación (valores recogidos en la tabla 21). Se muestra en el eje de ordenadas el valor del estadístico estudiado en el periodo global 2010-2016 y en el eje de abscisas la instalación correspondiente.

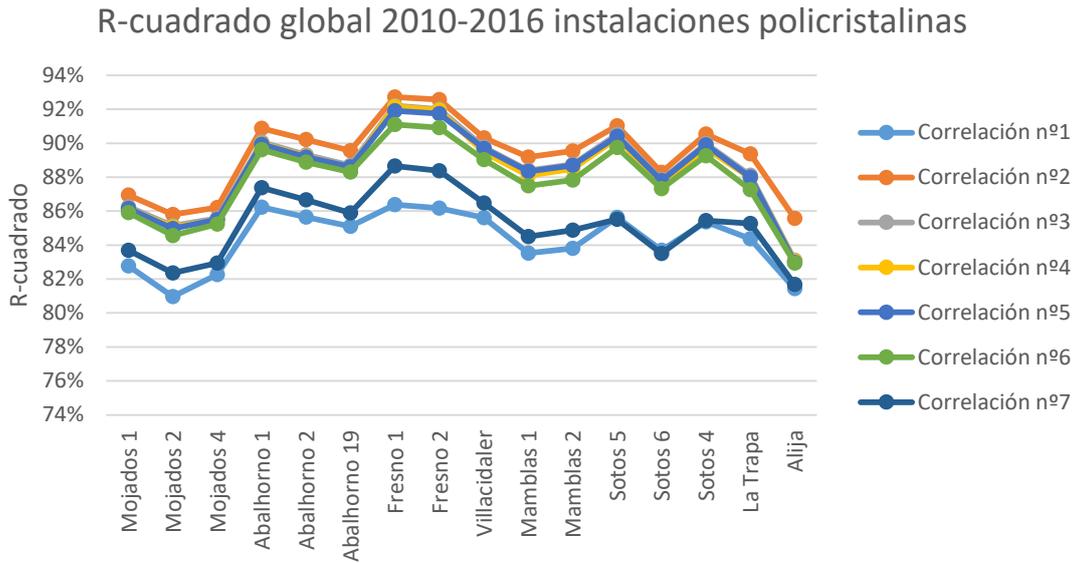


Figura 33: R-cuadrado global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Todas las instalaciones muestran la misma tendencia respecto a la bondad de las correlaciones, teniendo todas ellas valores superiores al 80%. Se puede observar que hay dos grupos de correlaciones: el primero incluye las correlaciones 2, 3, 4, 5 y 6, con valores en torno al 88%, y un segundo grupo, compuesto por las correlaciones 1 y 7 (las más simples), con valores de R-cuadrado entre el 84 y 85%.

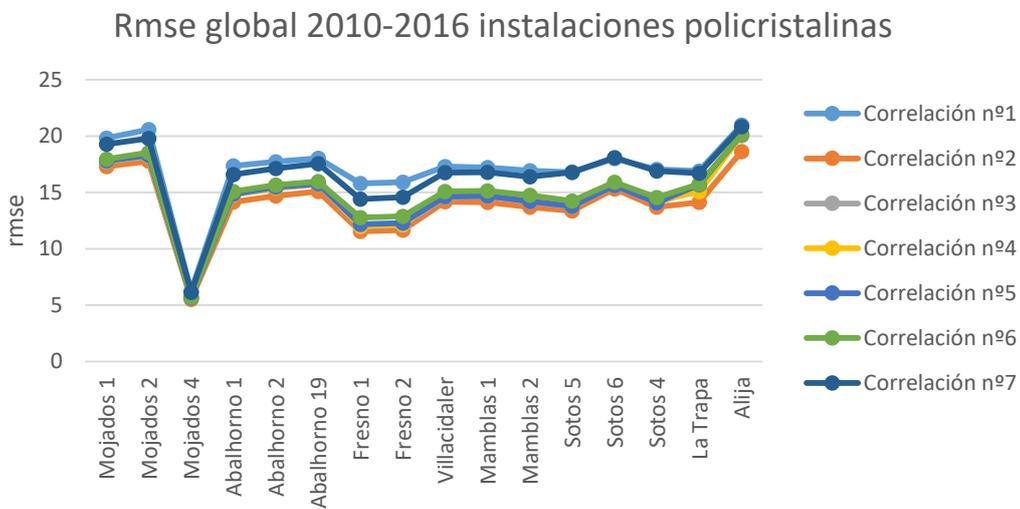


Figura 34: Rmse global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

En referencia al rmse global, se mantiene la misma tendencia que para el R-cuadrado, existiendo dos grupos bien diferenciados de correlaciones.

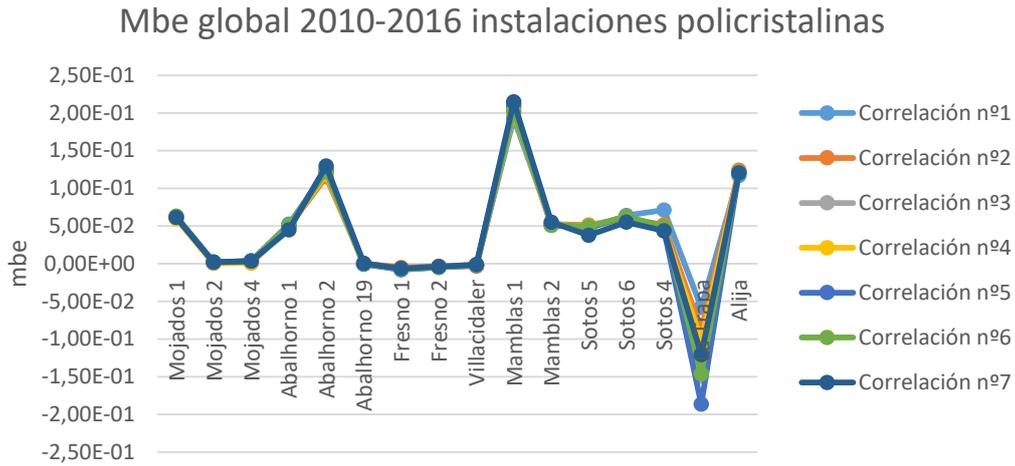


Figura 35: Mbe global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

Cada instalación tiene valores distintos de mbe, pero dentro de cada instalación se observa que todas las correlaciones tienen valores muy parecidos de este estadístico, a excepción de La Trapa, en la que hay mayor variedad.

- Gráficas valores medios globales años 2010-2016 instalaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos globales para cada instalación y haciendo la media de esos valores de todas las instalaciones (valores en la última fila de la tabla 21). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

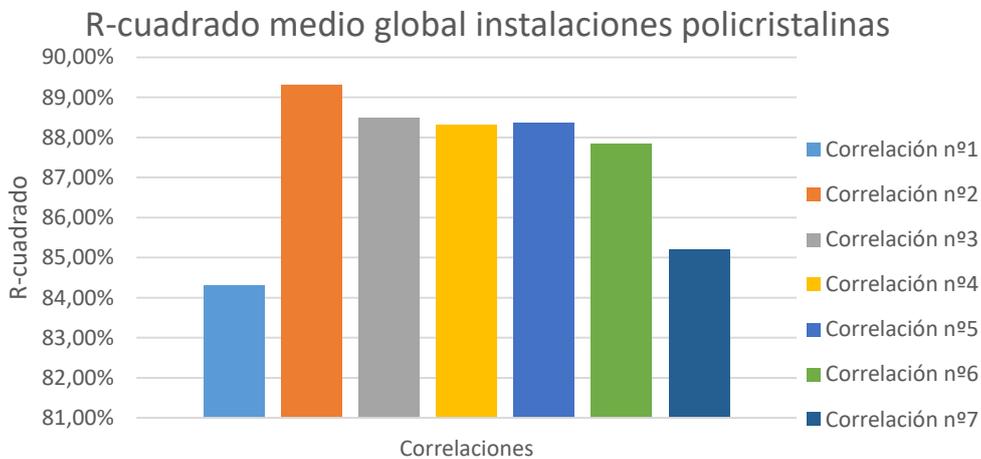


Figura 36: R-cuadrado medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

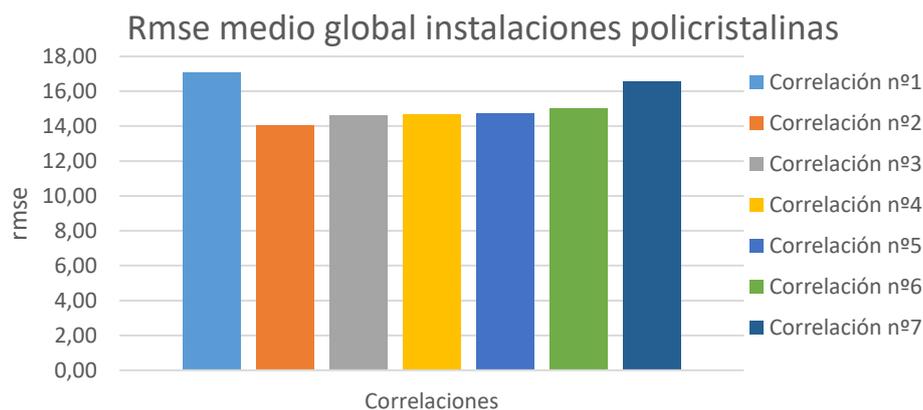


Figura 37: Rmse medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

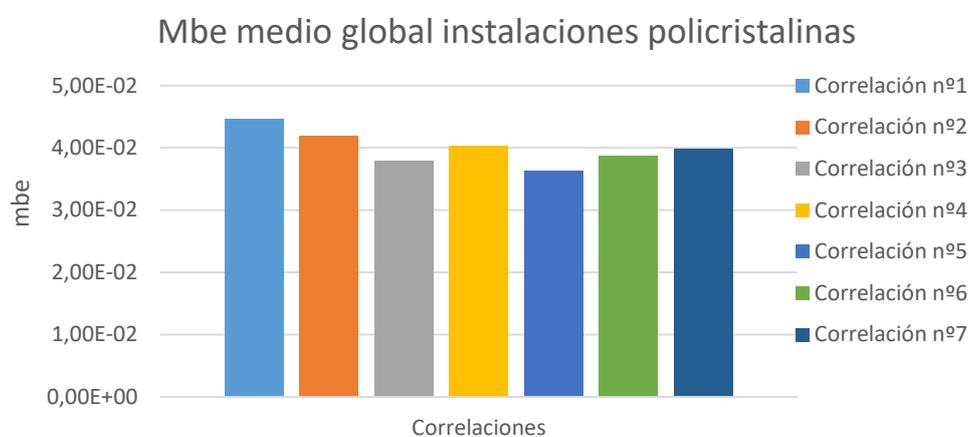


Figura 38: Mbe medio global años 2010-2016 instalaciones policristalinas

4.4.2 Cálculo de las correlaciones para cada ubicación policristalina

Varias de las instalaciones estudiadas están situadas en la misma ubicación, es decir, en el mismo término municipal. Por ello se pretende evaluar de forma conjunta los datos de las instalaciones situadas en la misma ubicación para desarrollar las correspondientes correlaciones que permitan predecir la producción fotovoltaica en esa zona. Las ubicaciones estudiadas y las instalaciones incluidas en cada una se muestran en la tabla 22.

Tabla 22: Ubicaciones estudiadas e instalaciones implicadas

Ubicación	Planta	Localidad	Instalaciones incluidas
Mojados*	Mojados- Abalhornos	Mojados (VA)	Mojados 1
			Mojados 2
			Abalhorno 1
			Abalhorno 2
			Abalhorno 19
Sotos y Sotillos	Sotos y Sotillos	Torrecilla de la Torre (VA)	Soto 4 Soto 5 Soto 6
Fresno	Fresno	Fresno El Viejo (VA)	Fresno 1 Fresno 2
Mamblas	Mamblas	Mamblas (ÁV)	Mamblas 1 Mamblas 2

*No se ha incluido Mojados 4 por presentar un año atípico (2012) con valores de R-cuadrado menores del 40%

4.4.2.1 Cálculo de las correlaciones globales para cada ubicación

En este apartado se calculan las siete correlaciones **globales** para cada ubicación. Para cada una de las ubicaciones de la Tabla 22, se analizan de forma conjunta los datos de los siete años de las instalaciones implicadas en esa ubicación.

Así se obtienen las correlaciones que permiten estimar la producción de cualquier instalación de características similares situada en esas ubicaciones.

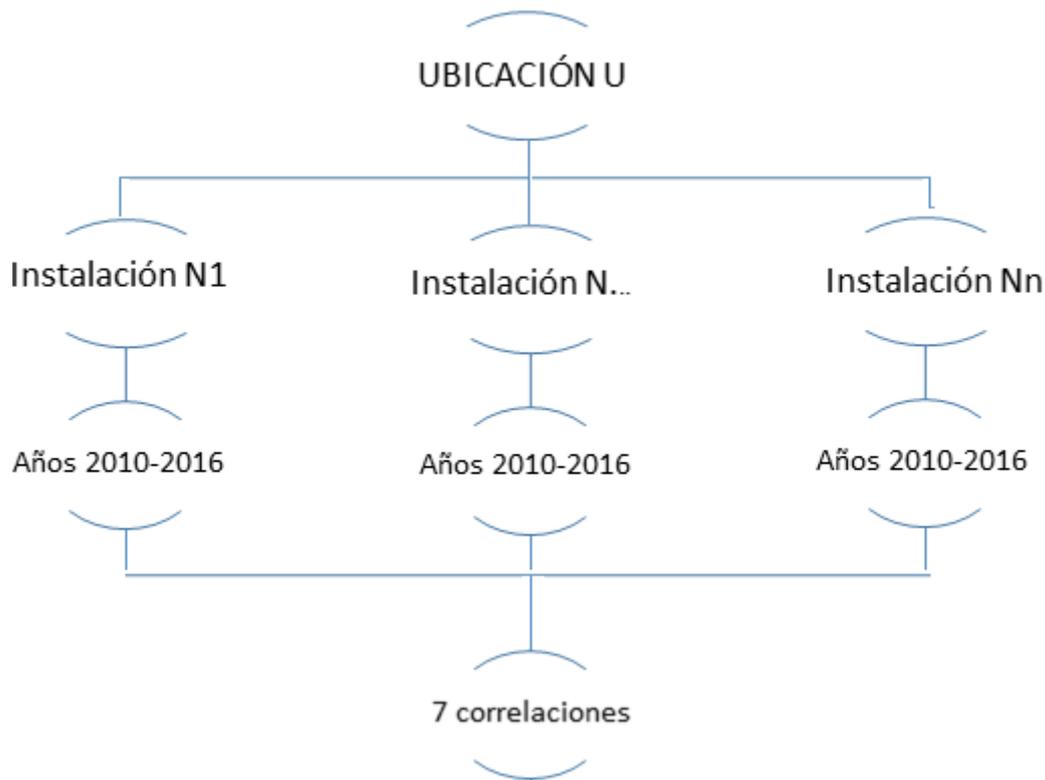


Figura 39: Esquema de correlaciones globales para cada ubicación

De esta forma se obtienen las correlaciones globales para cada ubicación, cuyas expresiones se incluyen en el ‘Anexo 3: Correlaciones globales para cada ubicación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada.’

Para resumir el trabajo realizado, se desarrollará el siguiente esquema:

- ❖ Correlaciones globales de las ubicaciones policristalinas
 - Correlaciones nº5 y nº7 globales años 2010-2016 ubicaciones policristalinas
 - Análisis de la validez de las correlaciones globales para las ubicaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe
 - Gráficas globales 2010-2016
 - Gráficas valores medios globales años 2010-2016

Ahora se procede a desarrollar el esquema propuesto.

❖ Correlaciones globales de las ubicaciones policristalinas

- Correlaciones nº5 y nº7 globales años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

En la siguiente tabla se muestran las **correlaciones globales nº5 y nº7 de cada ubicación** (en el apartado 4.4 se justifica la elección de estas correlaciones):

Estimación de la producción de instalaciones fotovoltaicas

Tabla 23: Coeficientes de las correlaciones 5 y 7 globales de las ubicaciones policristalinas

Ubicación	Localización	Correlación nº5				Correlación nº7	
		$H_{eq\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
		cte	A	B	C	cte	A
Mojados-Abalhornos	Mojados (VA)	13,08	-0,06	-0,36	5,09	-1,72	3,19
Sotos y Sotillos	Torrecilla de la Torre (VA)	15,83	-0,07	-0,41	4,87	-1,16	2,73
Fresno	Fresno El Viejo (VA)	10,26	-0,05	-0,49	5,31	-1,56	2,90
Mamblas	Mamblas (ÁV)	12,31	-0,06	-0,53	5,49	-1,31	2,89

Para poder valorar las **correlaciones globales** para las **ubicaciones** policristalinas en general, se presentan a continuación una serie de tablas y gráficos que resumen los valores de los estadísticos R-cuadrado, rmse y mbe.

- Análisis de la validez de las correlaciones globales para las ubicaciones policristalinas
 - R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones globales de las ubicaciones policristalinas: valores obtenidos calculando las correlaciones globales con los siete años de las instalaciones de cada ubicación.

Tabla 24: R-cuadrado, rmse y mbe global 2010-2016 ubicaciones policristalinas

Ubicación	Correlación nº1			Correlación nº2			Correlación nº3		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
Mojados	83,71%	18,93	1,75E-03	88,25%	16,07	3,95E-03	87,49%	16,59	1,82E-03
Sotos y Sotillos	84,06%	17,72	8,83E-04	89,07%	14,67	-1,42E-03	88,59%	14,99	2,85E-03
Fresno	86,28%	15,86	-4,31E-03	92,64%	11,62	-4,06E-03	92,10%	12,03	-6,51E-03
Mamblas	83,25%	17,08	-4,70E-04	88,87%	13,92	-3,59E-04	88,06%	14,42	-1,08E-03
MEDIA	84,33%	17,39	-5,37E-04	89,71%	14,07	-4,74E-04	89,06%	14,51	-7,30E-04

Ubicación	Correlación nº4			Correlación nº5		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
Mojados	87,39%	16,65	-1,08E-04	87,35%	16,68	5,87E-04
Sotos y Sotillos	88,34%	15,15	4,92E-05	88,52%	15,04	1,78E-03
Fresno	92,04%	12,08	-7,15E-03	91,81%	12,25	-5,24E-03
Mamblas	87,81%	14,57	-3,45E-04	88,00%	14,46	-1,29E-03
MEDIA	88,90%	14,61	-1,89E-03	88,92%	14,61	-1,04E-03

Ubicación	Correlación nº6			Correlación nº7		
	R^2	rmse	mbe	R^2	rmse	mbe
Mojados	87,03%	16,89	2,11E-03	84,81%	18,26	-3,92E-03
Sotos y Sotillos	87,94%	15,41	2,29E-03	84,10%	17,69	1,23E-03
Fresno	91,00%	12,84	-4,88E-03	88,52%	14,50	-5,39E-03
Mamblas	87,18%	14,94	-1,21E-03	84,18%	16,60	-7,14E-04
MEDIA	88,29%	15,02	-4,23E-04	85,40%	16,77	-2,20E-03

Las siete instalaciones presentan valores medios de R-cuadrado superiores al 84%, siendo las mejores la nº2, 3 y 5.

En referencia a los estadísticos rmse y mbe, todas las correlaciones presentan valores admisibles, siendo la mejor la nº2.

A continuación se representan gráficamente los datos de la tabla anterior. Las primeras tres gráficas muestran los valores de los tres estadísticos para cada correlación global en las 4 ubicaciones. Las tres siguientes hacen referencia a la media de los valores de los estadísticos de las correlaciones globales de las 4 ubicaciones.

- Gráficas globales 2010-2016 ubicaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos globales para cada ubicación y correlación (valores recogidos en la tabla 24). Se muestra en el eje de ordenadas el valor del estadístico estudiado en el periodo global 2010-2016 y en el eje de abscisas la ubicación correspondiente.

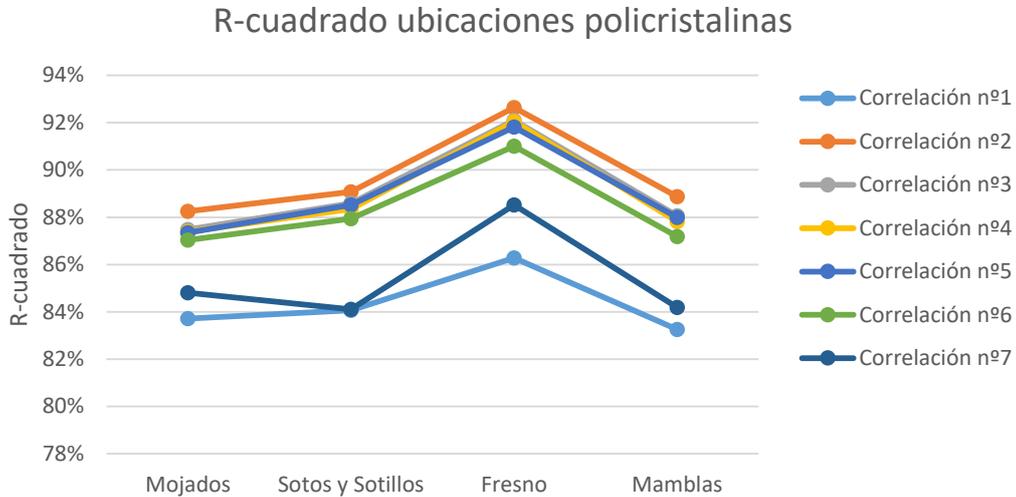


Figura 40: R-cuadrado global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

Todas las ubicaciones tienen valores superiores al 80% para todas las correlaciones, siendo la ubicación con mejor R-cuadrado Fresno.

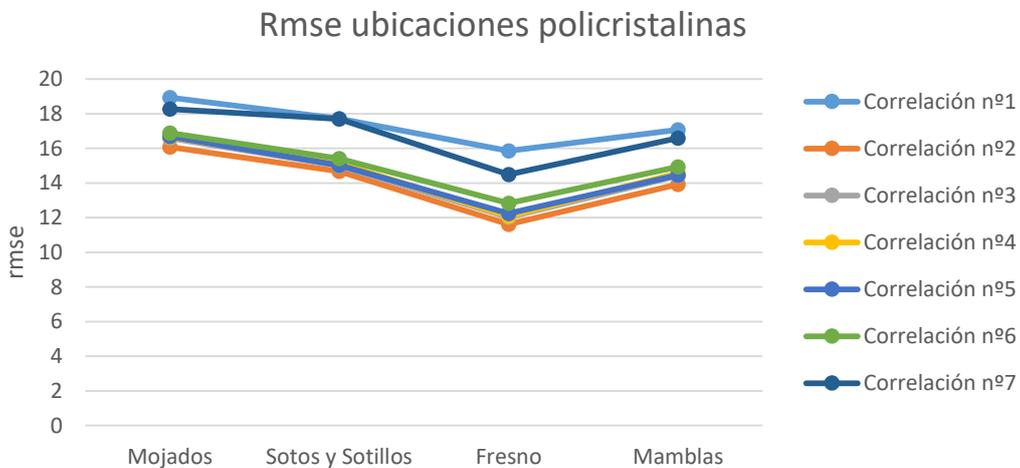


Figura 41: Rmse global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

Se observa que todas las ubicaciones presentan valores aceptables menores de 20.

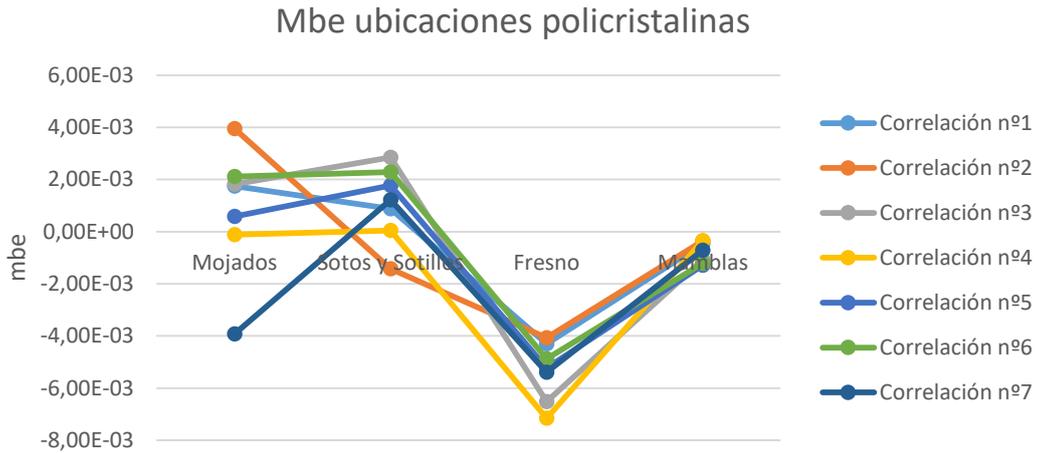


Figura 42: Mbe global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

Cada ubicación tiene valores distintos de mbe, pero todas presentan valores cercanos a cero, por lo que el error cometido al usar las correlaciones sería muy pequeño.

- Gráficas valores medios globales años 2010-2016 ubicaciones policristalinas: se obtienen calculando los estadísticos globales para cada ubicación y haciendo la media de esos valores de todas las ubicaciones (valores en la última fila de la tabla 24). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

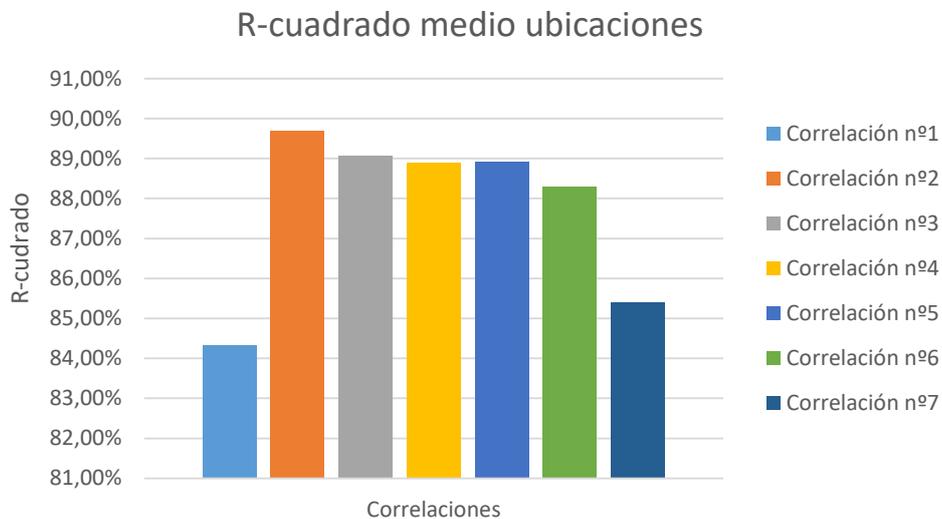


Figura 43: R-cuadrado medio global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

Al igual que en el caso de las instalaciones, se observa que existen dos grupos de correlaciones en función del valor de R-cuadrado. El primer grupo, formado por las correlaciones 2, 3, 4, 5 y 6, tiene valores entre el 87 y 92%. El segundo grupo, compuesto por las correlaciones 1 y 7, ofrece valores entre el 83 y el 88%.

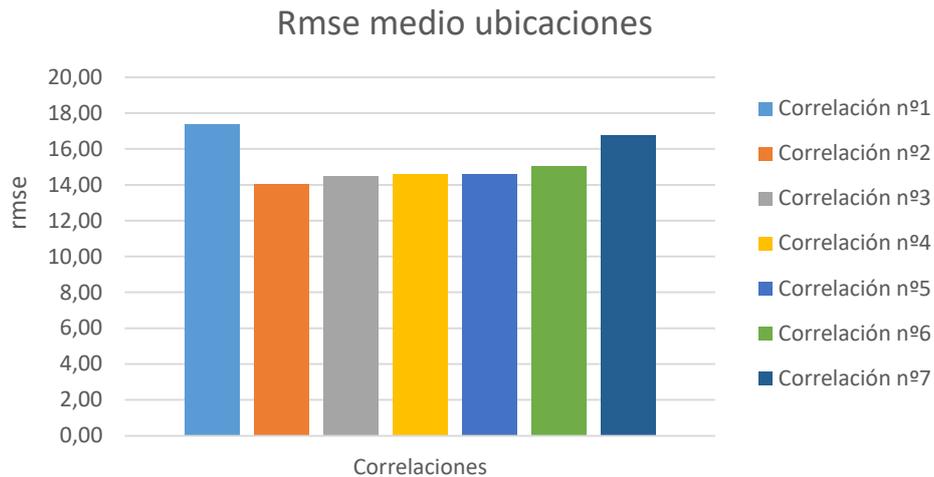


Figura 44: Rmse medio global años 2010-2016 ubicaiones policristalinas

De nuevo se observan los dos grupos de correlaciones claramente diferenciados, siendo el rmse medio de las ubicaciones para todas las correlaciones menor de 18.

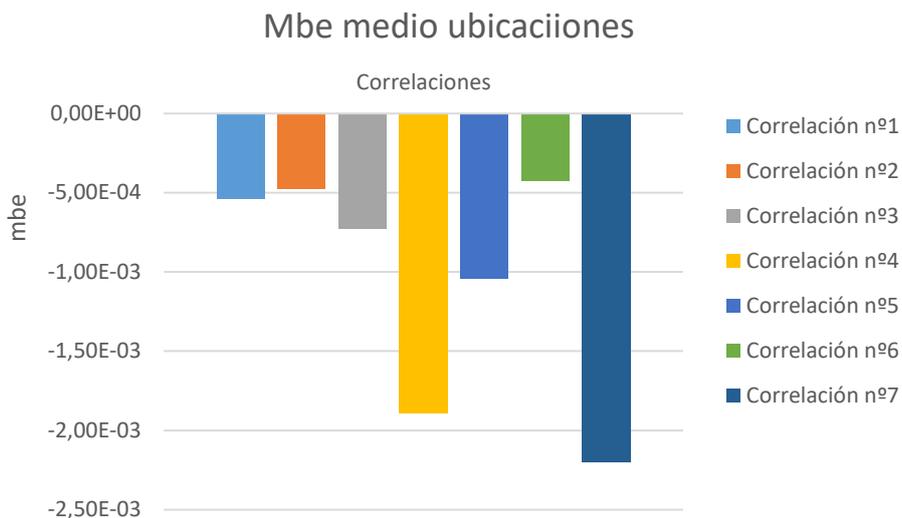


Figura 45: Mbe medio global años 2010-2016 ubicaciones policristalinas

El mbe medio de las 4 ubicaciones presenta valores negativos próximos a cero para todas las correlaciones.

4.4.3 Cálculo de las correlaciones generales policristalinas

Para poder predecir la producción de cualquier instalación fotovoltaica de paneles policristalinos situados a 30° de inclinación, se pretende desarrollar una serie de correlaciones generales a partir de las 16 instalaciones estudiadas.

4.4.3.1 Cálculo de las correlaciones generales globales policristalinas

En este apartado se calculan las siete correlaciones **generales globales** para las instalaciones policristalinas. Estas correlaciones se obtienen evaluando de forma conjunta los datos de los siete años de las 16 instalaciones.

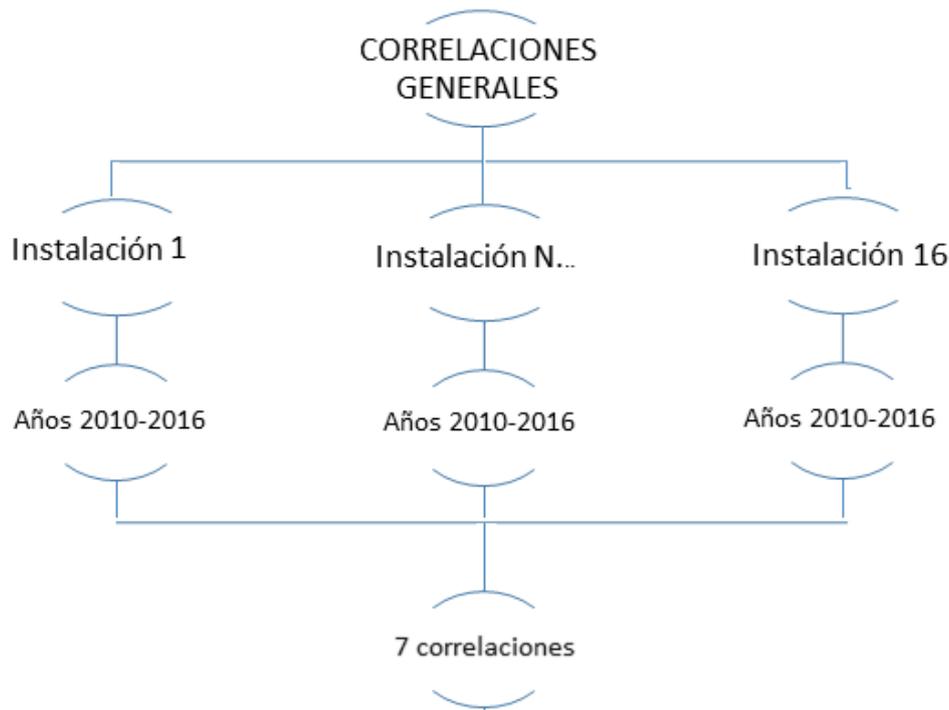


Figura 46: Esquema de correlaciones generales globales policristalinas

Las correlaciones así calculadas se incluyen en el ‘Anexo 4: Correlaciones generales globales para instalaciones policristalinas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada.’

Los resultados obtenidos se resumen siguiendo el siguiente esquema:

- ❖ Correlaciones generales globales policristalinas
 - Correlaciones n°5 y n°7 generales globales años 2010-2016 policristalinas
 - Análisis de la validez de las correlaciones globales para las ubicaciones policristalinas
 - T de Student y F de Snedecor
 - R-cuadrado, R-cuadrado ajustado, rmse y mbe
 - Gráficas generales globales 2010-2016

Ahora se procede a desarrollar el esquema propuesto.

- ❖ **Correlaciones generales globales policristalinas**
 - Correlaciones n°5 y n°7 generales globales años 2010-2016 policristalinas

Los coeficientes de las correlaciones generales n°5 y n°7 para las instalaciones policristalinas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 25: Coeficientes de las correlaciones 5 y 7 generales globales policristalinas

Correlaciones generales instalaciones policristalinas	Correlación n°5				Correlación n°7	
	$H_{eq\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
	cte	A	B	C	cte	A
	12,41	-0,06	-0,38	4,92	-1,48	2,98

- Análisis de la validez de las correlaciones generales globales
 - T de Student y F de Snedecor para las correlaciones generales globales

Tabla 26: Estadísticos t y F correlación 1 general global policristalina

Correlación nº1	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Humedad		Veloc. viento		Irradiación		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
General	-85,92	0,00	-41,63	0,00	-25,53	0,00	256,75	0,00	47830,20	0,00

Tabla 27: Estadísticos t y F correlación 2 general global policristalina

Correlación nº2	t de Student/significación										F Snedecor/sign.							
	Temp.		Hum.		Vel. Viento		Irrad.		Temp.^2		Hum.^2		Vel. Viento^2		Irrad.^2		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
General	-9,58	0,00	8,70	0,00	-22,10	0,00	171,37	0,00	8,03	0,00	-15,98	0,00	13,09	0,00	-97,57	0,00	34501,26	0,00

Tabla 28: Estadísticos t y F correlación 3 general global policristalina

Correlación nº3	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^2		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
General	-73,22	0,00	13,95	0,00	-21,66	0,00	18,72	0,00	65114,26	0,00

Tabla 29: Estadísticos t y F correlación 4 general global policristalina

Correlación nº4	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^2		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
General	-77,66	0,00	238,96	0,00	-121,06	0,00	85961,20	0,00

Tabla 30: Estadísticos t y F correlación 5 general global policristalina

Correlación nº5	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
General	-70,36	0,00	-35,33	0,00	120,39	0,00	85672,90	0,00

Tabla 31: Estadísticos t y F correlación 6 general global policristalina

Correlación nº6	t de Student/significación				F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor		
General	-82,69	0,00	395,98	0,00	124068,62	0,00

Tabla 32: Estadísticos t y F correlación 7 global policristalina

Correlación nº7	t de Student/significación		F Snedecor/sign.	
	Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor		
General	454,41	0,00	206486,04	0,00

En las tablas de los estadísticos t y F para las correlaciones generales, podemos ver que todas las variables son individualmente significativas, así como las correlaciones de forma global. Esto es debido a que al calcular las correlaciones se han utilizado los datos de los 365 días de los siete años de las 16 instalaciones, por lo que al existir tantos valores distintos, todas las variables son importantes para describir cada modelo.

- R-cuadrado, R-cuadrado ajustado, rmse y mbe para las correlaciones generales globales policristalinas

Tabla 33: R-cuadrado, R-cuadrado ajustado, rmse y mbe generales globales policristalinas

Correlación nº	1	2	3	4	5	6	7
R ²	82,52%	87,19%	86,53%	86,41%	86,38%	85,96%	83,59%
R ² ajustado	82,51%	87,19%	86,53%	86,41%	86,37%	85,96%	83,59%
rmse	18,96	16,22	16,64	16,71	16,73	16,99	18,37
mbe	-2,63E-03	-3,13E-03	-3,18E-03	-2,04E-03	-2,99E-03	-3,80E-03	-2,45E-03

Respecto a los valores del estadístico R-cuadrado y R-cuadrado ajustado, todas las correlaciones presentan valores superiores al 82%, lo que quiere decir que los modelos explican más del 82% de la variabilidad de la H_{eq} . La mejor correlación en este aspecto es la número 2, que es la que incluye mayor combinación de variables.

En cuanto al rmse, todas las correlaciones tienen valores aceptables, siendo de nuevo la mejor la número 2.

Por último, el mbe tiene en todos los casos valores cercanos a cero, lo que indica que el error cometido al usar las correlaciones es muy pequeño.

Representando gráficamente estos valores se aprecia que, como ya se había visto para las instalaciones y las ubicaciones, existen dos grupos de correlaciones.

- Gráficas valores generales globales años 2010-2016 policristalinas: Se obtienen calculando los valores del estadístico para las correlaciones generales globales (valores recogidos en la tabla 33). Se muestra en el eje de ordenadas el estadístico estudiado y en el de abscisas las siete correlaciones.

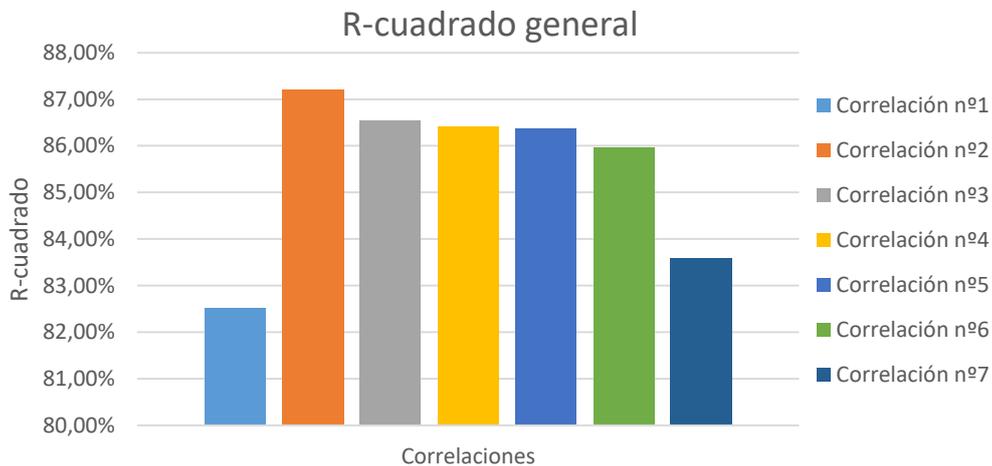


Figura 47: R-cuadrado general global años 2010-2016 policristalinas

En la gráfica de R-cuadrado para las correlaciones generales se observan claramente los dos grupos de correlaciones: las nº2, 3, 4, 5 y 6, con valores entre el 85 y 90%, y las nº1 y 7, que oscilan entre el 80 y 85%.

Como los valores de R-cuadrado ajustado son muy similares a los de R-cuadrado, no se ha incluido la gráfica correspondiente.

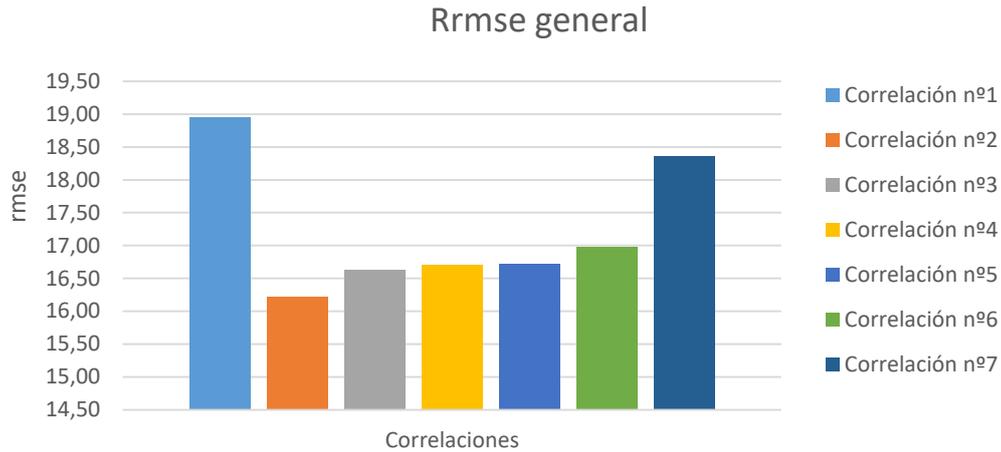


Figura 48: Rmse general global años 2010-2016 policristalinas

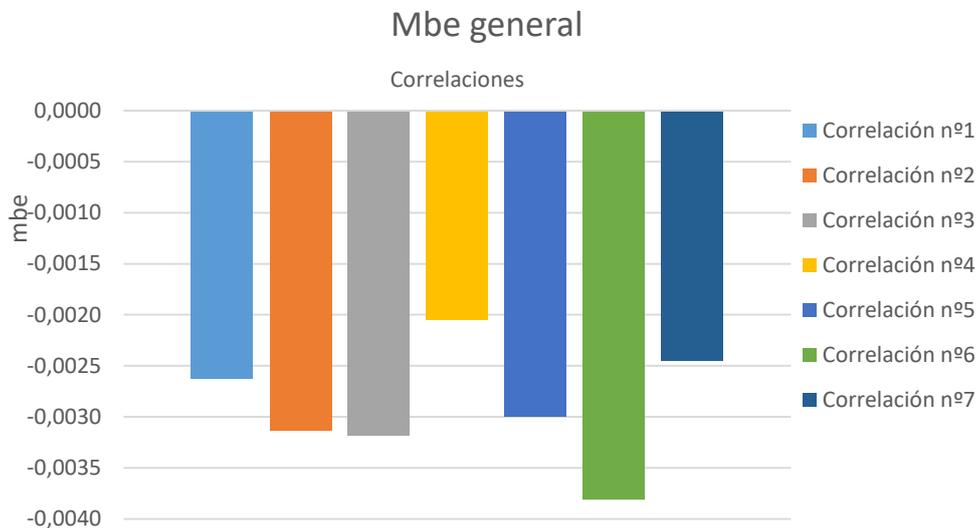


Figura 49: Mbe general global años 2010-2016 policristalinas

4.5 ELECCIÓN DE LAS CORRELACIONES MÁS IDÓNEAS

Una vez calculadas las correlaciones para cada instalación, ubicación y las generales, se hace necesario, para su uso práctico, elegir una o dos correlaciones con las cuales comprobar si la estimación proporcionada es o no aceptable, para en caso afirmativo poder usar estas correlaciones para predecir la producción.

La elección de las correlaciones más idóneas se llevará a cabo, en primer lugar, basándose en los valores de los estadísticos analizados en el apartado 4.4 para cada tipo de correlación. Para confirmar que las correlaciones elegidas son válidas, se llevará a cabo en el apartado 4.6 la comprobación de la estimación de la irradiación equivalente.

Para poder valorar las correlaciones en cuanto a su complejidad (variables utilizadas y dificultad de cálculo) y los resultados que aportan, se recuerda la expresión general de las siete correlaciones.

1. $H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot W + D \cdot v + E \cdot H$
2. $H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot W + D \cdot v + E \cdot H + F \cdot T^2 + G \cdot W^2 + J \cdot v^2 + K \cdot H^2$
3. $H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot H + D \cdot H^2 + E \cdot \sqrt{H}$

$$4. H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot H + D \cdot H^2$$

$$5. H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot H + D \cdot \sqrt{H}$$

$$6. H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = A + B \cdot \sqrt{H}$$

Para resumir los valores medios de R-cuadrado, rmse y mbe de las correlaciones calculadas, se muestra la siguiente tabla.

Tabla 34: Valores medios de los estadísticos para cada tipo de correlación

Tipo de correlación	Correlación nº1			Correlación nº2			Correlación nº3		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Instalación anual	85,03%	17,36	3,68E-02	89,99%	14,17	3,34E-02	88,91%	14,95	3,00E-02
Instalación global	84,31%	17,05	4,46E-02	89,30%	14,06	4,19E-02	88,48%	14,60	3,79E-02
Ubicación	84,33%	17,39	-5,37E-04	89,71%	14,07	-4,74E-04	89,06%	14,51	-7,30E-04
General	82,52%	18,96	-2,63E-03	87,19%	16,22	-3,13E-03	86,53%	16,64	-3,18E-03
MEDIA	84,05%	17,69	1,96E-02	89,05%	14,63	1,79E-02	88,25%	15,17	1,60E-02

Tipo de correlación	Correlación nº4			Correlación nº5		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Instalación anual	88,69%	15,07	3,36E-02	88,76%	15,07	2,90E-02
Instalación global	88,32%	14,68	4,03E-02	88,36%	14,71	3,63E-02
Ubicación	88,90%	14,61	-1,89E-03	88,92%	14,61	-1,04E-03
General	86,41%	16,71	-2,04E-03	86,38%	16,73	-2,99E-03
MEDIA	88,08%	15,27	1,75E-02	88,10%	15,28	1,53E-02

Tipo de correlación	Correlación nº6			Correlación nº7		
	R ²	rmse	mbe	R ²	rmse	mbe
Instalación anual	88,15%	15,46	3,22E-02	85,41%	17,15	3,39E-02
Instalación global	87,84%	15,02	3,86E-02	85,20%	16,55	3,98E-02
Ubicación	88,29%	15,02	-4,23E-04	85,40%	16,77	-2,20E-03
General	85,96%	16,99	-3,80E-03	83,59%	18,37	-2,45E-03
MEDIA	87,56%	15,62	1,66E-02	84,90%	17,21	1,73E-02

Para analizar esta información, se representa gráficamente la media de los valores de los estadísticos para los cuatro tipos de correlaciones calculadas (última fila de la tabla anterior).

- R-cuadrado medio correlaciones instalación, ubicación y general

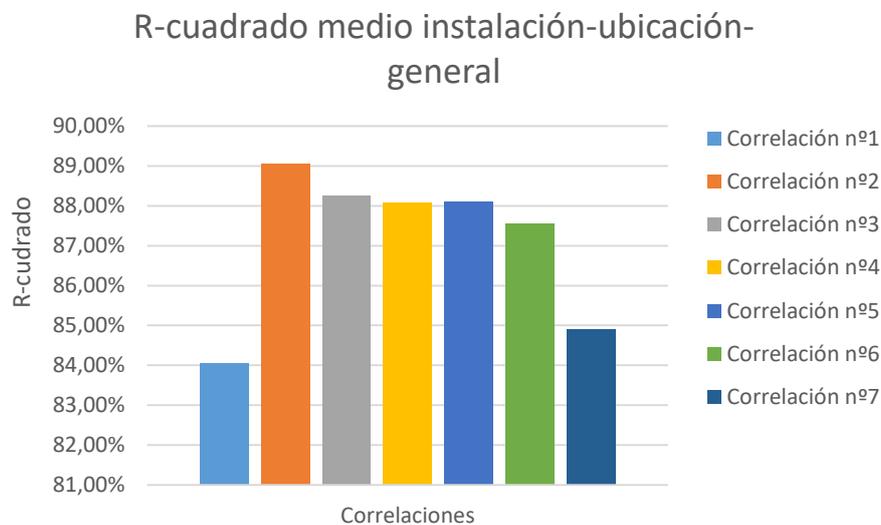


Figura 50: R-cuadrado medio instalación-ubicación-general policristalinas

En la gráfica de R-cuadrado medio se observa la tendencia ya señalada sobre la existencia de dos grupos de correlaciones, de tal forma que se opta por escoger una correlación de cada grupo para estimar la irradiación, una de forma más simple con resultados aceptables y otra de forma más compleja con mejores resultados.

Las correlaciones 1 y 7 tienen valores de R-cuadrado entre el 84 y 85%, lo cual supone que el modelo explica un alto porcentaje de la variabilidad de la irradiación diaria equivalente. De estas dos correlaciones, la nº7 es la más simple (solo utiliza una variable, la irradiación) y la que tiene mayor R-cuadrado (84.90%), por lo que podría ser interesante usarla para realizar una primera estimación de forma rápida de la producción de una instalación. Para ello hay que analizar también los otros dos estadísticos.

Respecto al otro grupo de correlaciones, formado por la 2, 3, 4, 5 y 6, cabe destacar que presentan valores medios de R-cuadrado más elevados, entre el 87 y 89%. Como se ha visto en el cálculo de los diferentes tipos de correlaciones, la mejor de todas ellas es la nº2, que es a su vez la más compleja, ya que incluye 8 variables (4 variables meteorológicas), consideradas de forma lineal y cuadrada, lo que aumenta su dificultad y tiempo de cálculo. Además esta correlación presenta en el caso de varias instalaciones y ubicaciones, valores del estadístico t para alguna variable superiores a 0.05, de tal forma que esas variables no son individualmente significativas, por lo que se opta por escoger otra correlación más sencilla de este grupo. El resto de correlaciones de este grupo presenta valores similares de R-cuadrado, ligeramente superiores al 88%, excepto la correlación nº6. Las correlaciones nº3 y nº5 tienen un R-cuadrado respectivamente de 88,25% y 88,10%. Ambas correlaciones usan dos variables meteorológicas (la temperatura y la irradiación), si bien la nº3 las combina en el modelo propuesto en forma de 4 variables independientes (temperatura, irradiación, irradiación al cuadrado y raíz de la irradiación), mientras que la nº5 usa solo 3 variables independientes (temperatura, irradiación y raíz de la irradiación). Al igual que en el caso de la correlación 2, la 3 presenta en algunos casos valores del estadístico t superiores a 0.05. Por tanto, ofreciendo ambas correlaciones resultados casi idénticos, se opta por escoger la correlación nº5 para estimar de forma más precisa la irradiación diaria equivalente, siempre que los otros estadísticos estudiados ofrezcan valores aceptables.

- Rmse medio correlaciones instalación, ubicación y general

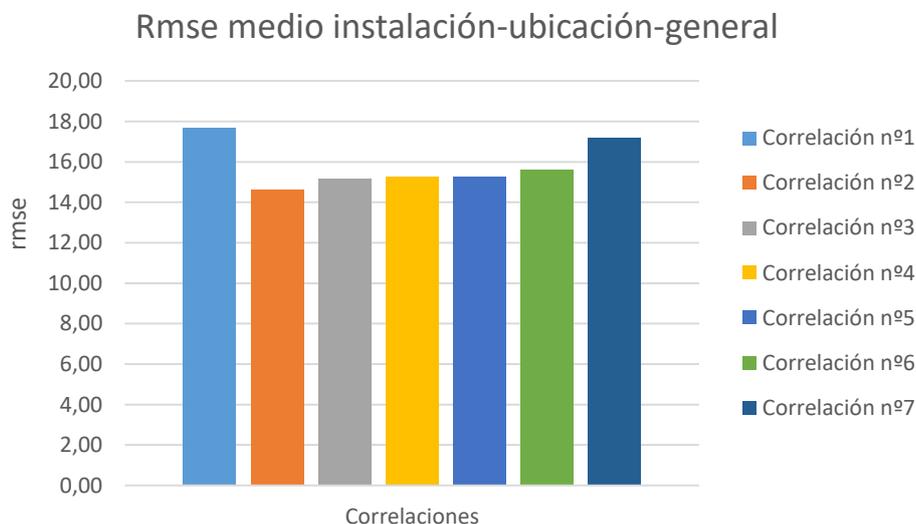


Figura 51: Rmse medio instalación-ubicación-general policristalinas

La desviación cuadrática media de todas las correlaciones presenta valores aceptables, todos ellos menores de 18.

De nuevo se aprecian los dos grupos de correlaciones, siendo el rmse de las 1 y 7 valores entre 17 y 18. Por otra parte, el otro grupo de correlaciones tienen valores de rmse menores de 16.

Los valores medios del rmse de las correlaciones preseleccionadas, la n°5 y la n°7, tienen respectivamente valores de 15,28 y 17,21, ambos inferiores a 20, por lo que pueden considerarse válidas las correlaciones en lo que a este estadístico se refiere.

- Mbe medio correlaciones instalación, ubicación y general

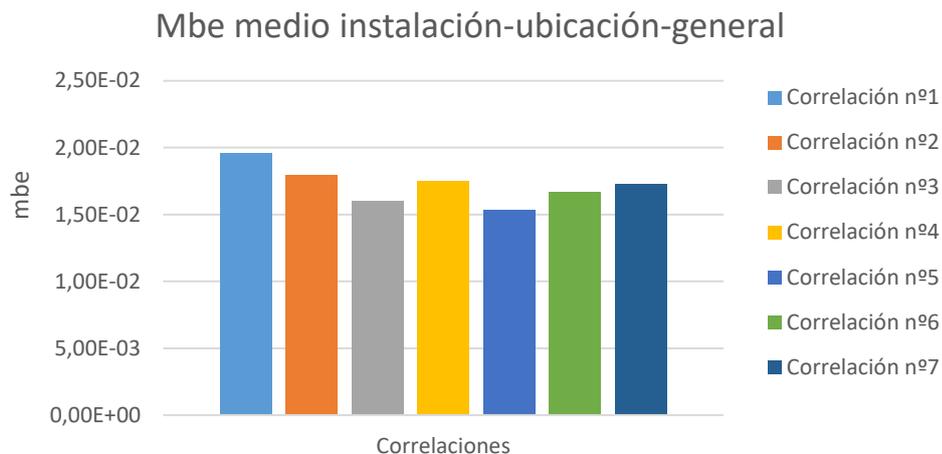


Figura 52: Mbe medio instalación-ubicación-general policristalinas

La desviación media relativa de las siete correlaciones tiene valores muy próximos a 0, lo que indica que el error cometido al usar las correlaciones es muy pequeño.

Todos los valores son positivos, lo que significa que las correlaciones ofrecen valores de la variable ligeramente superiores a los valores reales. No obstante, hay que tener en cuenta que los valores representados son la media del mbe de las instalaciones (anual y global), ubicaciones y general.

Los valores medios del mbe de las correlaciones preseleccionadas, la n°5 y la n°7, tienen respectivamente valores de 0.0153 y 0,0173, ambos próximos a 0, por lo que pueden considerarse válidas las correlaciones en lo que a este estadístico se refiere.

Por tanto, basándose en los estadísticos analizados y en las justificaciones realizadas, se eligen las **correlaciones n°5 y n°7** para estimar la irradiación diaria equivalente, que deben ser confirmadas como válidas al comprobar los valores reales y estimados de la irradiación (apartado 4.5).

4.5.1 Resumen de las correlaciones elegidas

En la siguiente tabla se ofrece un resumen de los coeficientes de las correlaciones elegidas para cada instalación, ubicación y generales. Además se incluye en la última fila los coeficientes de la correlación general n°7 calculada en el Trabajo de Fin de Máster precedente [Calderón, 2016], con el fin de comparar ambas correlaciones generales.

Tabla 35: Resumen de las correlaciones nº5 y nº7

Tipo de correlación	Planta	Ubicación	Correlación nº5				Correlación nº7	
			$H_{ea\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{ea\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
			cte	A	B	C	cte	A
INSTALACIONES	Mojados 1	Mojados (VA)	13,56	-0,06	-0,32	4,94	-1,71	3,18
	Mojados 2	Mojados (VA)	12,71	-0,06	-0,42	5,30	-1,66	3,17
	Mojados 4	Mojados (VA)	13,38	-0,06	-0,31	4,72	-1,63	3,00
	Abalhornos 1	Mojados (VA)	13,11	-0,06	-0,36	5,11	-1,76	3,21
	Abalhornos 2	Mojados (VA)	13,10	-0,06	-0,34	5,02	-1,71	3,18
	Abalhornos 19	Mojados (VA)	13,97	-0,06	-0,34	5,05	-1,73	3,19
	Fresno 1	Fresno El Viejo (VA)	10,06	-0,05	-0,49	5,29	-1,56	2,90
	Fresno 2	Fresno El Viejo (VA)	10,45	-0,05	-0,50	5,34	-1,56	2,91
	Villacidaler	Villacidaler (PA)	12,85	-0,06	-0,45	5,18	-1,40	3,01
	Mamblas 1	Mamblas (ÁV)	12,12	-0,06	-0,54	5,50	-1,28	2,88
	Mamblas 2	Mamblas (ÁV)	12,04	-0,06	-0,54	5,52	-1,30	2,89
	Soto 5	Torrecilla de la Torre (VA)	15,69	-0,07	-0,41	4,73	-1,09	2,59
	Soto 6	Torrecilla de la Torre (VA)	16,52	-0,07	-0,38	4,80	-1,16	2,77
	Soto 4	Torrecilla de la Torre (VA)	15,87	-0,07	-0,44	5,07	-1,22	2,81
	La Trapa	Arévalo (ÁV)	9,84	-0,05	-0,54	5,83	-1,61	3,24
Alija	Alija del Infantado (LE)	10,30	-0,04	-0,09	3,36	-1,40	2,72	
UBICACIONES	Mojados-Abalhornos	Mojados (VA)	13,08	-0,06	-0,36	5,09	-1,72	3,19
	Sotos y Sotillos	Torrecilla de la Torre (VA)	15,83	-0,07	-0,41	4,87	-1,16	2,73
	Fresno	Fresno El Viejo (VA)	10,26	-0,05	-0,49	5,31	-1,56	2,90
	Mamblas	Mamblas (ÁV)	12,31	-0,06	-0,53	5,49	-1,31	2,89
GENERAL	Correlación general policristalinos		12,41	-0,06	-0,38	4,92	-1,48	2,98
	Correlación general Calderón (2016)						-1,50	3,00

En la tabla se puede observar que algunas correlaciones de las instalaciones (Mojados, Abalhornos, Villacidaler y Mamblas) presentan coeficientes muy similares a los de las correlaciones generales, por lo que en principio las correlaciones generales deberían funcionar mejor en estas instalaciones que en otras, como Fresno, Soto, La Trapa y Alija. Esta similitud en los coeficientes puede deberse al mayor peso de estas instalaciones en el cálculo de las correlaciones generales.

4.6 COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES

En este apartado se va a llevar a cabo la comprobación de las correlaciones elegidas para así determinar su utilidad y precisión reales.

Estas comprobaciones se llevan a cabo calculando, para cada instalación, la **irradiación equivalente estimada** con las correlaciones elegidas. Con este valor, se determina el error relativo respecto de la **irradiación equivalente real**, obtenida a partir de los datos de producción, la superficie del panel y los rendimientos del panel y del inversor, como se explicó en el apartado 3 Metodología. Este proceso es equivalente a comparar la producción estimada (calculada como el producto de la irradiación estimada, los rendimientos del panel e inversor y la superficie del panel) y la producción real (definida como el producto de la irradiación real, los rendimientos del panel e inversor y la superficie del panel).

Esta comprobación se realizará evaluando los datos de forma diaria, ya que las correlaciones se han calculado considerando los datos día a día, y de forma mensual, ya que resulta más cómodo y permite ver los resultados gráficamente con mayor facilidad.

4.6.1 Comprobaciones diarias

En este apartado se muestran los errores relativos resultantes de aplicar las correlaciones nº5 y nº7 de forma diaria a cada instalación, así como la media de estos valores para cada correlación. Para cada día, se tienen los valores de producción, con los que se calcula la irradiación diaria equivalente real. Se conocen los valores medios diarios de temperatura e irradiación, con los que se calcula la irradiación diaria equivalente estimada por cada correlación.

Se han calculado las correlaciones de los tres tipos desarrollados, instalación, ubicación y generales. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 36: Resumen de errores relativos diarios

Instalación	Correl. 5 instalación	Correl. 7 instalación	Correl. 5 ubicación	Correl. 7 ubicación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón
Mojados 1	0,06%	0,06%	0,15%	0,15%	-4,37%	-3,96%	-3,45%
Mojados 2	0,00%	0,00%	-0,25%	-0,25%	-4,76%	-4,35%	-3,84%
Mojados 4	-0,01%	-0,09%	6,22%	6,21%	1,42%	1,86%	2,40%
Abalhorno 1	0,05%	0,05%	-0,15%	-0,15%	-4,66%	-4,25%	-3,74%
Abalhorno 2	0,12%	0,13%	0,25%	0,24%	-4,29%	-3,87%	-3,36%
Abalhorno 19	0,00%	0,00%	0,22%	0,21%	-4,31%	-3,90%	-3,39%
Fresno 1	-0,01%	-0,01%	0,31%	0,31%	5,35%	5,27%	5,84%
Fresno 2	0,00%	0,00%	-0,32%	-0,32%	4,69%	4,60%	5,17%
Villacidaler	0,00%	0,00%			-2,73%	-3,06%	-2,55%
Mamblas 1	0,21%	0,21%	0,00%	0,00%	0,60%	0,09%	0,63%
Mamblas 2	0,05%	0,06%	0,00%	0,00%	0,61%	0,10%	0,63%
Soto 5	0,05%	0,04%	5,01%	5,01%	9,20%	9,55%	10,13%
Soto 6	0,06%	0,06%	-2,18%	-2,18%	1,73%	2,05%	2,59%
Soto 4	0,05%	0,04%	-2,47%	-2,47%	1,42%	1,74%	2,29%
La Trapa	-0,19%	-0,12%			-7,64%	-8,41%	-7,92%
Alija	0,12%	0,12%			12,09%	10,86%	11,45%
Error medio diario	0,04%	0,03%	0,52%	0,52%	0,27%	0,27%	0,81%

Podemos observar que los errores cometidos usando las correlaciones correspondientes a cada **instalación** son muy pequeños, siendo la media de las 16 instalaciones un 0,04% para la correlación 5 y un 0,03% para la correlación 7.

En cuanto a las correlaciones de las **ubicaciones**, en general los errores son pequeños, siendo de media del 0,52% para ambas correlaciones. En la instalación de Mojados 4 el error es superior al 6%, resultado cuya explicación radica en que no se usaron los datos de Mojados 4 para calcular las correlaciones de Mojados-Abalhornos, debido a la existencia de valores atípicos en alguno de sus años. Soto 5 tiene un error del 5,01%, lo que supone una desviación aceptable, si bien se analizará esta instalación más adelante.

En referencia a los errores de las correlaciones **generales**, vemos que funcionan bastante bien en la mayoría de las instalaciones y en la media de todas ellas. No obstante, individualmente existen 3 instalaciones con valores superiores al 7% (Fresno 1 tiene valores aceptables ligeramente superiores al 5%) que se analizarán más adelante.

Para ver mejor el comportamiento de las correlaciones, se representa gráficamente la media de los errores de las instalaciones para cada correlación.

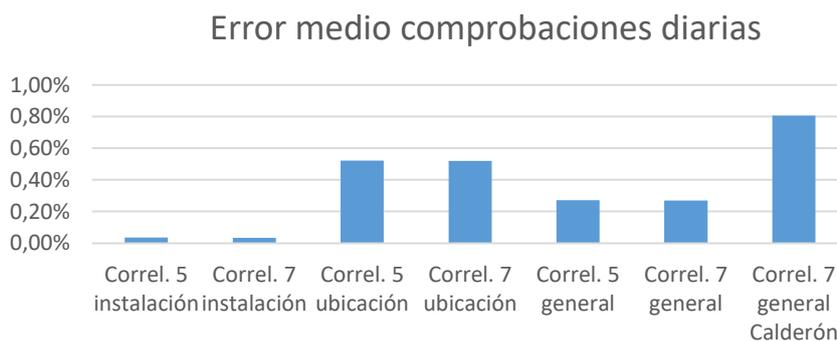


Figura 53: Error medio comprobaciones diarias

En el gráfico se aprecia que todos los errores medios son inferiores al 0,8%. Además se observa que el error medio de la correlación 7 general es inferior al calculado con la correlación 7 general de Calderón. También mencionar que aunque el error medio de las correlaciones de las ubicaciones es mayor que el de las generales, individualmente en cada instalación funcionan mejor las correlaciones de la ubicación que las generales, como en principio era lógico pensar.

Así pues, como conclusión a las comprobaciones diarias podemos afirmar que las correlaciones elegidas se ajustan fielmente en sus predicciones a los valores reales, no observándose diferencias apreciables entre los errores proporcionados por la correlación nº5 y nº7.

Para valorar si las correlaciones elegidas de entre los siete tipos de correlaciones planteadas son las adecuadas, se han realizado las comprobaciones diarias con todas las correlaciones en las 16 instalaciones estudiadas. Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla, remarcando en rojo los valores del error superior al 5% y señalando con el fondo verde la correlación con menor error para cada instalación.

Tabla 37: Error comprobaciones diarias correlaciones 1 a 7 instalaciones policristalinas

Instalación	Correl. 1 general	Correl. 2 general	Correl. 3 general	Correl. 4 general	Correl. 5 general	Correl. 6 general	Correl. 7 general
Mojados 1	-4,01%	-4,34%	-4,40%	-4,42%	-4,37%	-4,40%	-3,96%
Mojados 2	-4,40%	-4,73%	-4,78%	-4,80%	-4,76%	-4,78%	-4,35%
Mojados 4	1,80%	1,45%	1,39%	1,37%	1,42%	1,39%	1,86%
Abalhorno 1	-4,30%	-4,63%	-4,69%	-4,71%	-4,66%	-4,69%	-4,25%
Abalhorno 2	-3,92%	-4,25%	-4,31%	-4,33%	-4,29%	-4,31%	-3,87%
Abalhorno 19	-3,95%	-4,28%	-4,34%	-4,36%	-4,31%	-4,34%	-3,90%
Fresno 1	4,68%	4,07%	5,23%	5,12%	5,35%	5,33%	5,27%
Fresno 2	4,02%	3,41%	4,56%	4,45%	4,69%	4,67%	4,60%
Villacidaler	-2,15%	-2,34%	-2,58%	-2,42%	-2,73%	-2,50%	-3,06%
Mamblas 1	-0,54%	-0,33%	0,52%	0,43%	0,60%	0,47%	0,09%
Mamblas 2	-0,54%	-0,32%	0,53%	0,44%	0,61%	0,47%	0,10%
Soto 5	9,93%	10,31%	9,26%	9,33%	9,20%	9,24%	9,55%
Soto 6	2,41%	2,76%	1,79%	1,85%	1,73%	1,76%	2,05%
Soto 4	2,10%	2,45%	1,48%	1,54%	1,42%	1,46%	1,74%
La Trapa	-8,35%	-7,87%	-7,56%	-7,61%	-7,64%	-7,57%	-8,41%
Alija	12,13%	13,43%	12,39%	12,54%	12,09%	12,18%	10,86%
Erro medio diario	0,30%	0,30%	0,28%	0,28%	0,27%	0,27%	0,27%

En la tabla se observa que los errores cometidos para cada instalación son similares usando cualquiera de las siete correlaciones, si bien la nº7 (la correlación más simple) es la que mejor funciona en 8 de las 16 instalaciones. La siguiente correlación que ofrece mejores resultados es la nº5, que tiene los menores errores en 3 instalaciones (las de Soto, localizadas en Torrecilla de la Torre), mientras que la nº2 (la más compleja) es la que mejor funciona en 2 instalaciones. En cuanto la media de los errores diarios de las 16 instalaciones, las correlaciones que presentan menor error son la nº5, nº6 y nº7 con un 0,27%, siendo ligeramente superior el de las otras correlaciones.

Destaca el hecho de que la correlación con mayor R-cuadrado (la nº2) no es la que mejor funciona al realizar las comprobaciones diarias. El estadístico R-cuadrado se calculó para los datos de todos los años de todas las instalaciones de forma conjunta, lo que no implica que la correlación con mayor R-cuadrado sea la que mejor funcione individualmente para cada instalación y año, como demuestra la tabla anterior.

A pesar de que se han elegido las correlaciones n°5 y n°7 para realizar las comprobaciones de las distintas instalaciones, el resto de correlaciones muestran errores muy similares a los de éstos, lo cual se aprecia mejor representado gráficamente los datos de la tabla anterior.

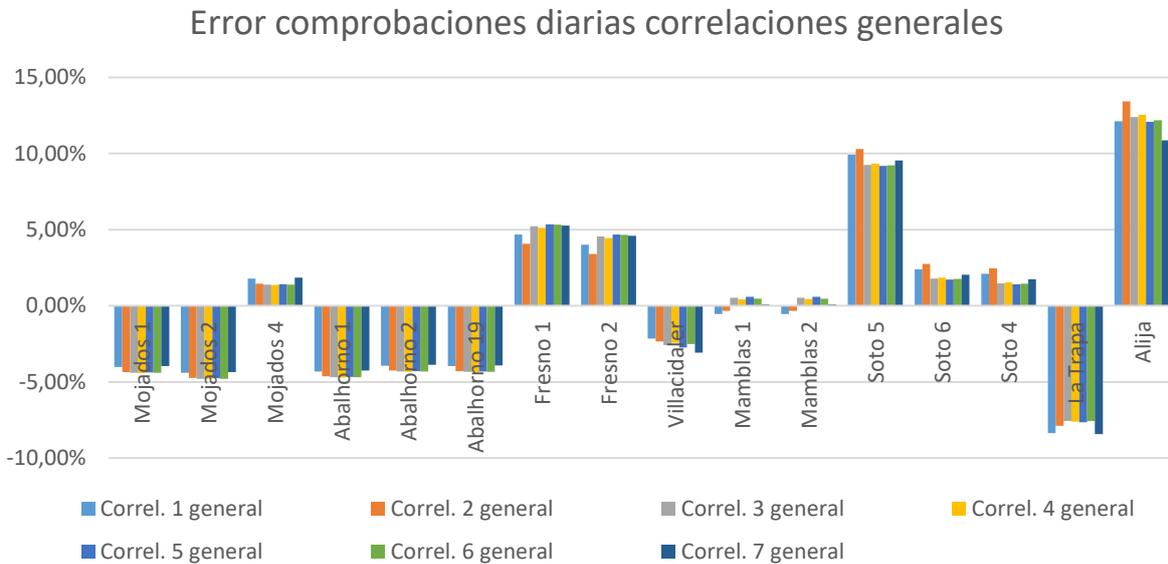


Figura 54: Errores comprobaciones diarias con las correlaciones generales

Por tanto, las comprobaciones realizadas en este apartado demuestran que las correlaciones calculadas son válidas para estimar la irradiación diaria equivalente, siendo las correlaciones n°5 y n°7 las que ofrecen mejores resultados en la mayoría de las instalaciones a pesar de ser las que incluyen menos variables. El hecho de que las correlaciones que mejor funcionan (en la media de las 16 instalaciones) sean la n°5 y n°6 (que incluyen la temperatura y la radiación) y la n°7 (que solo incluye la radiación), demuestra que las variables más relevantes en la estimación son la temperatura y especialmente la radiación.

4.6.2 Comprobaciones mensuales

Ahora se muestran los errores relativos resultantes de aplicar las correlaciones n°5 y n°7 de forma mensual a cada instalación, así como la media de estos valores para cada correlación. Se debe tener en cuenta que al realizar las comprobaciones de forma mensual se comete un error, ya que las correlaciones se han calculado a partir de los datos diarios meteorológicos y de producción.

La metodología consiste en calcular las siguientes variables:

- Temperatura media diaria mensual: con los datos del SIAR, se determina la temperatura media diaria de cada mes sumando las temperaturas medias diarias de todos los días del mes (en Kelvin) y dividiendo entre el número de días del mes.
- Irradiación media diaria mensual: con los datos del SIAR, se determina la irradiación media diaria de cada mes sumando los valores de irradiación diaria de todos los días del mes y dividiendo entre el número de días del mes.
- Irradiación equivalente real mensual: se obtiene sumando los valores de irradiación equivalente real diarios de todos los días del mes, calculados como el cociente de la producción diaria y los rendimientos de panel e inversor y la superficie del panel.
- Irradiación equivalente estimada mensual: se obtiene aplicando las correlaciones elegidas. Se calcula el valor medio diario mensual con los correspondientes valores de temperatura e irradiación media diaria mensual, y se multiplica por el número de días del mes.

A continuación se muestra una de estas tablas calculadas:

Tabla 38: Comprobación mensual del año 2015 de Abalhornos 2

Año 2015	Temp. SIAR media diaria mensual (K)	Irrad. SIAR media diaria mensual (kWh/(m ² .día))	Irrad. equiv. real mensual (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correlación 5 Abalhornos 2 (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correlación 7 Abalhornos 2 (kWh/(m ² .mes))
Enero	274,58	1,87	89,75	91,96	81,71
Febrero	277,15	2,6	92,56	106,26	95,67
Marzo	281,02	4,29	160,03	164,15	151,36
Abril	284,7	5,25	161,23	175,56	167,47
Mayo	288,95	7,43	206,01	217,91	215,79
Junio	293,43	7,32	181,78	201,11	207,04
Julio	297,34	7,98	208,04	212,01	225,56
Agosto	294,63	6,72	189,68	194,26	202,7
Septiembre	289,37	5,13	167,41	164,32	164,82
Octubre	285,9	3,22	125,3	123,43	124,05
Noviembre	280,88	2,05	92,05	85,88	85,46
Diciembre	278,68	1,49	64,6	66,01	67,56
TOTAL			1.738,44	1.802,86	1.789,19
			Error %	3,71%	2,92%

Irrad. eq. est. correl. 5 Mojados-Abalhornos (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correl. 7 Mojados-Abalhornos (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correl. 5 general (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correl. 7 general (kWh/(m ² .mes))	Irrad. eq. est. correl. 7 general Calderón (kWh/(m ² .mes))
92,11	81,76	89,48	80,05	80,37
106,53	95,75	102,83	92,76	93,19
164,58	151,53	157,42	145,2	145,98
175,94	167,68	167,68	160,15	161,05
218,1	216,08	206,41	205,46	206,68
201,28	207,32	190,53	197,16	198,32
212,09	225,86	200,35	214,6	215,88
194,5	202,97	184,46	193,22	194,35
164,68	165,02	157,07	157,67	158,55
123,77	124,17	119,17	119,65	120,25
86,05	85,52	83,64	83,44	83,79
66,02	67,58	64,74	66,81	67,04
1.805,65	1.791,25	1.723,79	1.716,16	1.725,43
3,87%	3,04%	-0,84%	-1,28%	-0,75%

Al igual que en las comprobaciones diarias, se han calculado las correlaciones de los tres tipos desarrollados, instalación, ubicación y generales. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 39: Resumen de errores relativos mensuales

Instalación	Correl. 5 instalación	Correl. 7 instalación	Correl. 5 ubicación	Correl. 7 ubicación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón
Mojados 1	2,52%	1,65%	2,69%	1,74%	-1,92%	-2,47%	-1,95%
Mojados 2	2,62%	1,57%	2,27%	1,33%	-2,32%	-2,87%	-2,35%
Mojados 4	2,48%	1,50%	8,91%	7,90%	4,02%	3,43%	3,99%
Abalhorno 1	2,57%	1,63%	2,36%	1,42%	-2,23%	-2,79%	-2,26%
Abalhorno 2	2,62%	1,71%	2,78%	1,83%	-1,84%	-2,39%	-1,87%
Abalhorno 19	2,51%	1,58%	2,74%	1,79%	-1,87%	-2,42%	-1,90%
Fresno 1	2,66%	1,46%	2,98%	1,78%	7,83%	6,77%	7,35%
Fresno 2	2,66%	1,45%	2,33%	1,13%	7,14%	6,09%	6,66%
Villacidaler	3,02%	1,77%			0,14%	-1,31%	-0,78%
Mamblas 1	2,71%	1,52%	2,49%	1,31%	2,84%	1,44%	1,99%
Mamblas 2	2,55%	1,36%	2,49%	1,31%	2,84%	1,44%	1,99%
Soto 5	2,78%	1,54%	7,82%	6,59%	12,05%	11,27%	11,87%
Soto 6	2,70%	1,60%	0,50%	-0,66%	4,44%	3,71%	4,27%
Soto 4	2,78%	1,57%	0,15%	-0,99%	4,08%	3,36%	3,91%
La Trapa	2,64%	1,46%			-5,25%	-6,96%	-6,45%
Alija	2,75%	2,31%			15,84%	13,27%	13,87%
Error medio mensual	2,66%	1,61%	3,12%	2,04%	2,86%	1,85%	2,40%

Los errores cometidos usando las correlaciones correspondientes a cada **instalación** de forma mensual son pequeños, estando para la correlación n°5 entre el 2-3% y para la n°7 entre el 1-2% en la mayoría de instalaciones. De media se mantiene esta tendencia, siendo el error de la correlación n°7 menor que el de la n°5 a pesar de su mayor simplicidad.

En relación a las correlaciones de las **ubicaciones**, en general los errores están entre el 1 y el 3%, siendo de media un 3,12% para la n°5 y un 2,04% para la n°7. Como ya se explicó, Mojados 4 no fue incluida en la correlación de su ubicación. Soto 5 tiene un error superior al 5%.

Respecto a los errores de las correlaciones **generales**, vemos que funcionan bastante bien en la mayoría de las instalaciones (errores de entre el 2 y 3%) y en la media de todas ellas (2,86% para la n°5 y 1,85% para la n°7).

Analicemos ahora las instalaciones cuyo error es superior al 5% con las correlaciones generales.

- Fresno 1 y Fresno 2

Las instalaciones 7 y 8 (Fresno 1 y Fresno 2) presentan un comportamiento similar a lo largo de los años estudiados, por lo que se analizan aquí de forma conjunta.

En ambas instalaciones existe un año atípico en cuanto a la producción (el año 2012), en el cual se observan picos en la irradiación equivalente, especialmente los meses de abril y junio.

La estimación realizada en este año, así como la ligera sobreestimación en el resto de los años, hace que el error cometido por las correlaciones generales sea de en torno al 7%, por lo que en el caso de estas instalaciones es más adecuado utilizar las correlaciones de la instalación y de la ubicación para predecir la producción.

La comprobación mensual del año 2012 de la instalación Fresno 2 se muestra en la siguiente figura.

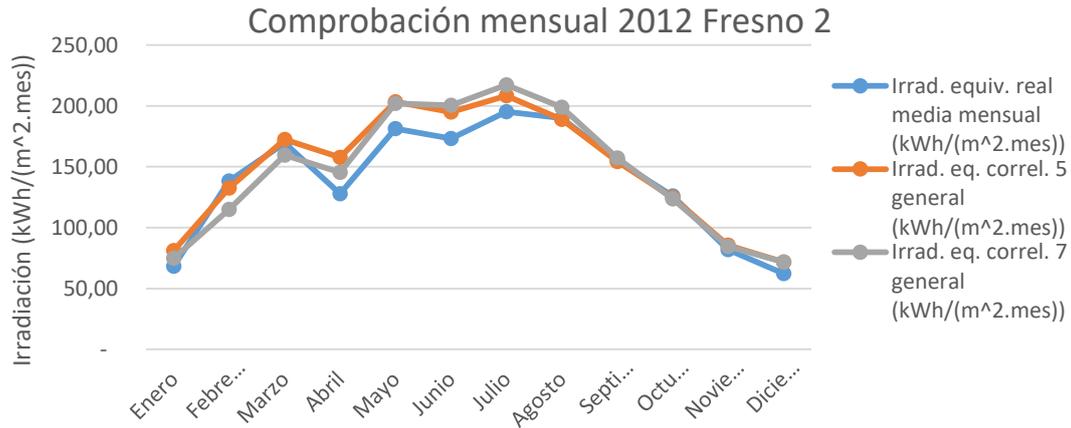


Figura 55: Comprobación mensual año 2012 Fresno 2

- Soto 5

La instalación 12 (Soto 5) tiene dos años atípicos, el 2012 y el 2015, en los cuales la producción sufre un descenso en los meses que habitualmente aumenta, por lo que la irradiación estimada con las correlaciones de ubicación y general resulta superior a la real.

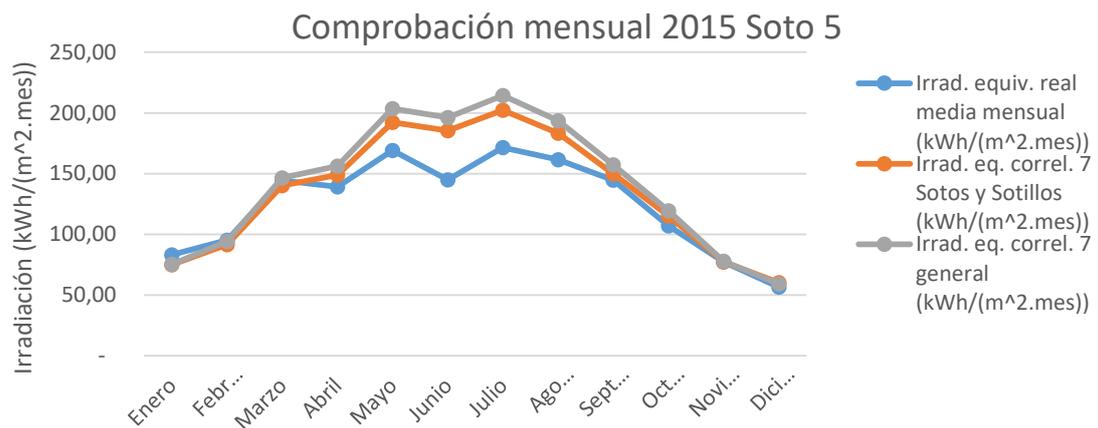


Figura 56: Comprobación mensual año 2015 Soto 5

Además, en varios de los años estudiados, la irradiación estimada se ajusta a la real en una parte del año pero en los meses centrales (entre abril y septiembre) sobreestima la producción, de tal forma que se incrementa el error relativo.

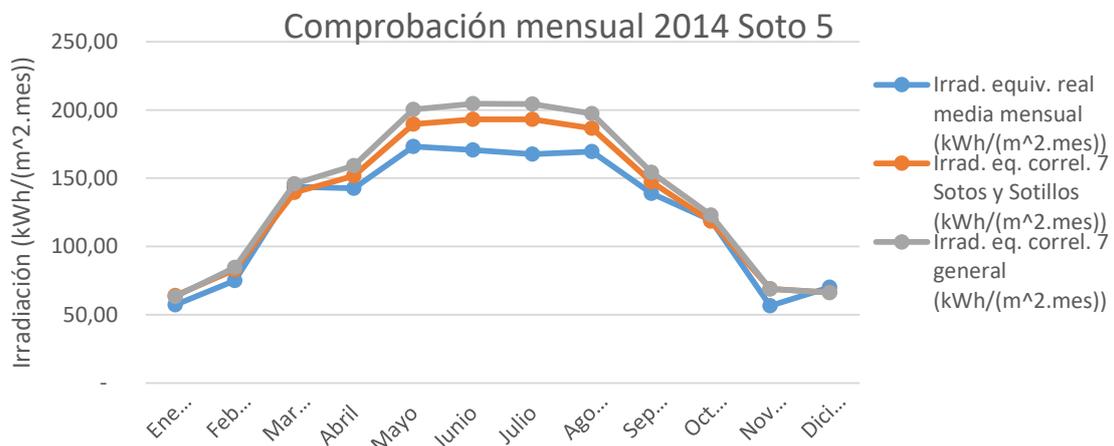


Figura 57: Comprobación mensual año 2014 Soto 5

Esta circunstancia también se observa en las gráficas de irradiación equivalente acumulada, como es el caso de la del año 2010.

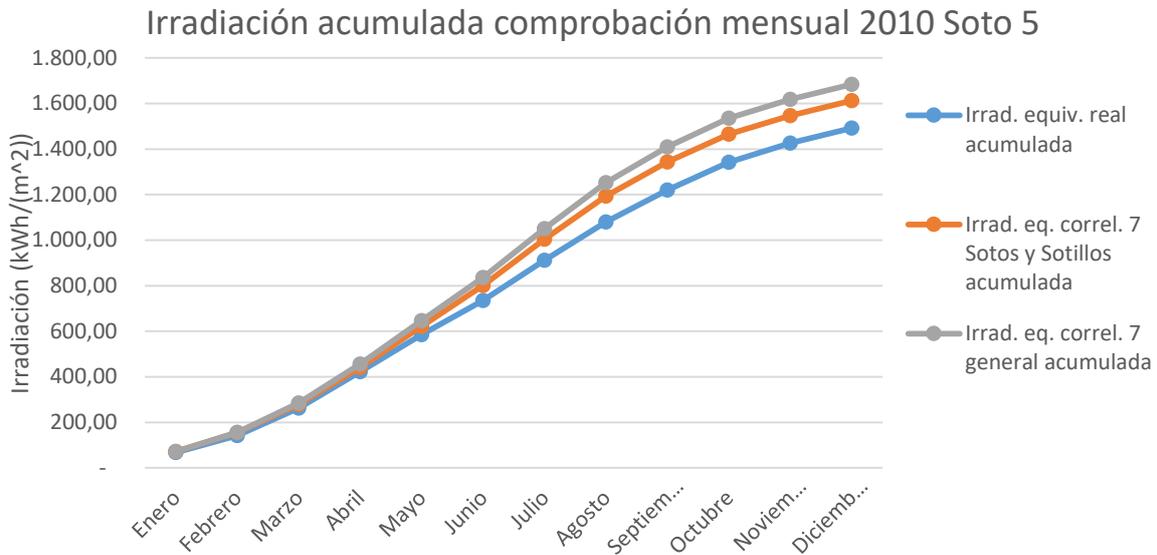


Figura 58: Irradiación acumulada comprobación mensual año 2010 Soto 5

La combinación de los dos años atípicos (2012 y 2015) y la sobreestimación de los meses centrales de algunos de los otros años, hace que el error cometido al usar las correlaciones de la ubicación esté en torno al 7% y al utilizar las generales sea aproximadamente del 12%, por lo que en el caso de Soto 5 es más correcto utilizar las correlaciones específicas de la instalación.

- La Trapa

En la instalación 15 se repite la situación de los casos anteriores, ya que existe un año (el 2012) en el que la producción en el mes de abril es muy inferior a la esperada, por lo que se comete un error al usar las correlaciones generales. No obstante, el mayor error que tiene lugar en esta instalación es la subestimación de la irradiación en la mayoría de los años. Estas dos circunstancias se aprecian en la gráfica de irradiación del año 2012.

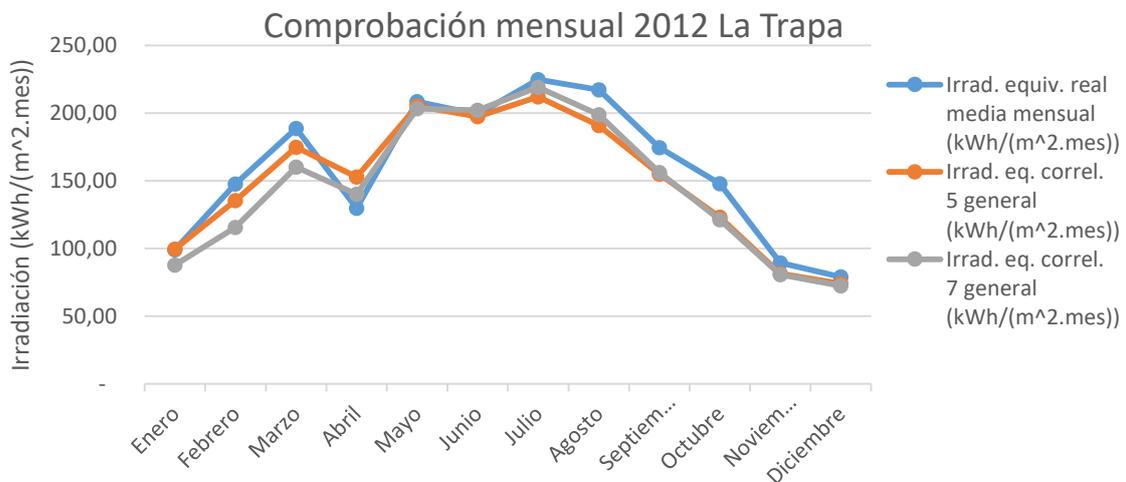


Figura 59: Comprobación mensual año 2012 La Trapa

Pese a la situación explicada, los errores cometidos por las correlaciones generales no son excesivamente elevados, siendo menores del 7%.

- Alija

En la instalación 16 el error cometido al usar las correlaciones generales nº5 y 7 es del 15 y 13% respectivamente, lo que supone una estimación no aceptable de la irradiación equivalente.

En este caso la principal razón del error es la sobreestimación de las correlaciones generales, si bien el año 2012 presenta de nuevo valores atípicos.

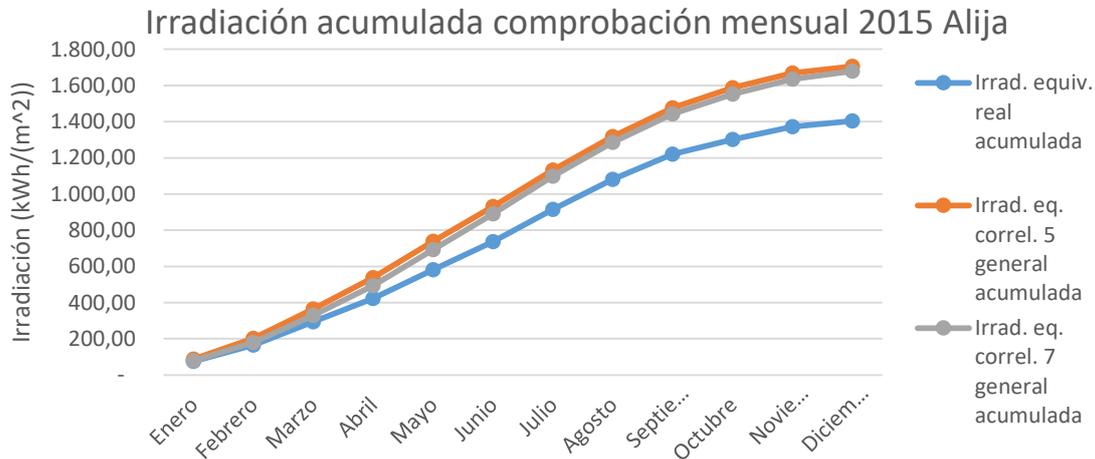


Figura 60: Irradiación acumulada comprobación mensual año 2015 Alija

Por lo tanto, para estimar la producción de esta instalación se usarán las correlaciones específicas de la instalación.

Este fallo en la estimación de las instalaciones de Fresno, Soto, La Trapa y Alija puede ser debido al poco peso de estas instalaciones a la hora de calcular las correlaciones generales frente a otras instalaciones como Mojados o Mambblas que cuentan con más datos, por lo que hacen que las correlaciones generales reproduzcan mejor su producción. Como ya se indicó, esto puede observarse fijándose en los valores de los coeficientes de las correlaciones nº5 y nº7 de la Tabla 35, en la que se aprecia que los coeficientes de las correlaciones generales son más parecidos a las de otras instalaciones que a las de La Trapa o Alija.

Para valorar el comportamiento global de las correlaciones, se representa gráficamente la media de los errores de las instalaciones para cada correlación.

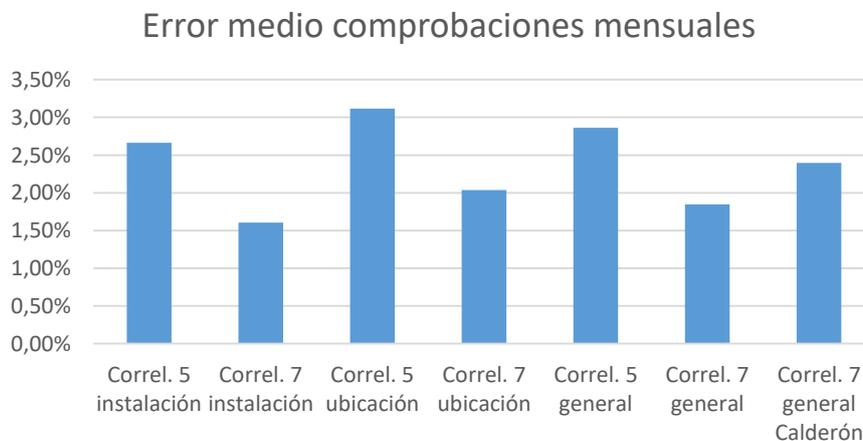


Figura 61: Error medio comprobaciones mensuales

En el gráfico se aprecia que todos los errores medios son inferiores al 3,20%. Además se observa que el error medio de la correlación 7 general es inferior al calculado con la

correlación 7 general de Calderón. También mencionar que aunque el error medio de las correlaciones de las ubicaciones es mayor que el de las generales, individualmente en cada instalación funcionan mejor las correlaciones de la ubicación que las generales, como en principio era lógico pensar. Así mismo se observa en los tres tipos de correlaciones (individual, ubicación y general) que de media las correlaciones n°7 presentan un error menor al de las n°5.

Como ya se indicó las comprobaciones mensuales añaden un error, que se aprecia al representar los valores medios de los errores diarios frente a los mensuales.

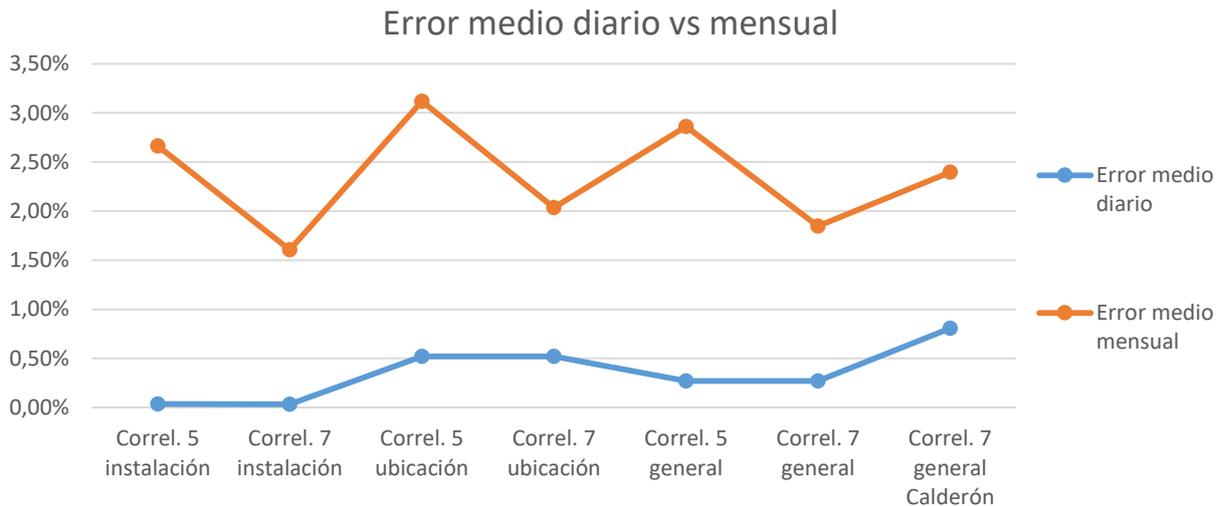


Figura 62: Error medio diario frente a error medio mensual

A pesar de que el error aumenta al realizar las comprobaciones de forma mensual, los valores obtenidos son aceptables y este tipo de comprobación implica un cálculo más sencillo y rápido. Así mismo, el cálculo de las comprobaciones diarias sirve para verificar que las correlaciones n°5 y n°7 predicen con gran exactitud la irradiación equivalente en una instalación fotovoltaica, usando respectivamente dos y una variables meteorológicas mediante expresiones no demasiado complejas y cuyo cálculo puede programarse fácilmente.

4.7 CONCLUSIONES

Para evaluar la validez de las correlaciones calculadas se ha llevado a cabo el análisis de los estadísticos y las comprobaciones de la irradiación equivalente.

En el **análisis de los estadísticos** se verificó la existencia de dos grupos de correlaciones. En el primero, formado por las más simples (la n°1 y n°7), resultó sencillo elegir la mejor de ellas, la n°7, basándose en los estadísticos. En el segundo, existían varias correlaciones con valores similares de los estadísticos R-cuadrado, rmse y mbe, si bien las que tenían mejor R-cuadrado presentaban en ocasiones valores fuera del intervalo de confianza de la t de Student de alguna de sus variables. Por esta razón se optó por seleccionar la correlación n°5, que presenta valores aceptables de todos los estadísticos y cuya expresión es más sencilla que otras.

Para verificar la validez de las correlaciones elegidas, se llevaron a cabo las **comprobaciones de la irradiación** equivalente estimada frente a la real, así como el cálculo del error relativo cometido. Las comprobaciones diarias demostraron que las correlaciones n°5 y n°7 de la instalación, ubicación y general predicen con un alto nivel de confianza la irradiación diaria equivalente en la mayoría de instalaciones analizadas, si bien en alguna de ellas el error aumenta debido a circunstancias meteorológicas atípicas que son difíciles de predecir. También se comprobó que las correlaciones generales que mejor funcionan son la n°5 y la

nº7, ya que ofrecen los menores errores en la mayoría de las instalaciones. Así mismo, se demostró que para mayor simplicidad pueden realizarse estas comprobaciones de forma mensual, siendo el error cometido aceptable.

Tras llevar a cabo el análisis de los estadísticos y las comprobaciones para cada tipo de correlación e instalación, se puede concluir que las correlaciones calculadas son en general **instrumentos válidos** para la estimación de la irradiación equivalente, ya que predicen de forma sencilla y con **gran exactitud** la irradiación equivalente, que permite calcular la producción fotovoltaica de las instalaciones policristalinas estudiadas.

Para determinar que correlación usar en cada caso, se presenta la gráfica de R-cuadrado para cada tipo de correlación, obtenida con los valores de la Tabla 34.

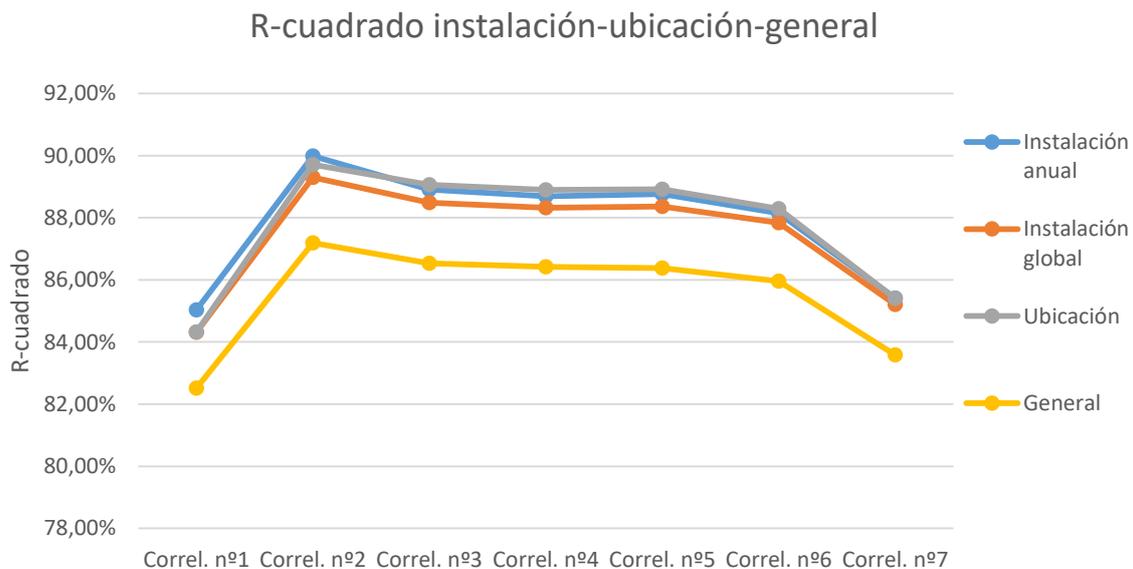


Figura 63: R-cuadrado medio instalación-ubicación-general para cada correlación

Observando la gráfica podemos concluir que tipo de correlación usar para la estimación en función de la localización de la instalación:

- Instalación estudiada: para predecir la producción de cualquiera de las 16 instalaciones estudiadas, lo más adecuado es utilizar las correlaciones específicas de esa instalación, si bien las de la ubicación ofrecen buenos resultados.
- Instalación no estudiada situada en una ubicación estudiada: se utilizarán las correlaciones de la ubicación donde se sitúe la instalación.
- Instalación no estudiada situada en una ubicación no estudiada: se usarán las correlaciones generales para estimar la irradiación equivalente.

4.8 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Las correlaciones desarrolladas permiten estimar la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada para instalaciones policristalinas situadas a 30° de inclinación. Una vez obtenida la irradiación equivalente estimada, se puede calcular la producción estimada y compararla con la real. Las producciones reales y estimadas se obtienen así:

- Producción real: los datos de producción real de las instalaciones estudiadas son facilitados por la empresa SMI HISPANIA.
- Producción estimada: se calcula siguiendo la metodología explicada en el Capítulo 3, que consiste en multiplicar la irradiación equivalente estimada por los rendimientos de panel e inversor y por la superficie útil del panel.

$$E_{p,est} \left[\frac{kWh_{inv}}{día} \right] = \eta_{inv \text{ ref}} \left[\frac{kW_{inv}}{kW_{panel}} \right] \cdot \eta_{panel \text{ ref}} \left[\frac{kW_{cél}}{kW_{rad}} \right] \cdot H_{eq,est} \left[\frac{kWh_{rad}}{m^2_{panel} \cdot día} \right] \cdot S_{panel} [m^2]$$

El **error relativo** entre la producción estimada ($E_{p,est}$) y la producción real ($E_{p,real}$) es el **mismo** que el error relativo entre la irradiación equivalente estimada ($H_{eq,est}$) y la real ($H_{eq,real}$), que se ha ido calculando y analizando en cada capítulo.

$$\text{Error relativo} = \frac{E_{p,est} - E_{p,real}}{E_{p,real}}$$

Sustituyendo las expresiones del cálculo de la producción:

$$\text{Error} = \frac{E_{p,est} - E_{p,real}}{E_{p,real}} = \frac{\eta_{inv} \cdot \eta_{panel} \cdot H_{eq,est} \cdot S_{panel} - \eta_{inv} \cdot \eta_{panel} \cdot H_{eq,real} \cdot S_{panel}}{\eta_{inv} \cdot \eta_{panel} \cdot H_{eq,real} \cdot S_{panel}}$$

Sacando factor común el producto de los rendimientos y la superficie del panel y simplificando:

$$\text{Error} = \frac{(H_{eq,est} - H_{eq,real}) \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{panel} \cdot S_{panel}}{H_{eq,real} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{panel} \cdot S_{panel}} = \frac{H_{eq,est} - H_{eq,real}}{H_{eq,real}}$$

En la siguiente página se muestra gráficamente la producción mensual real y estimada con diferentes correlaciones para la instalación de Abalorno 2, calculada entre los años 2010 y 2016.

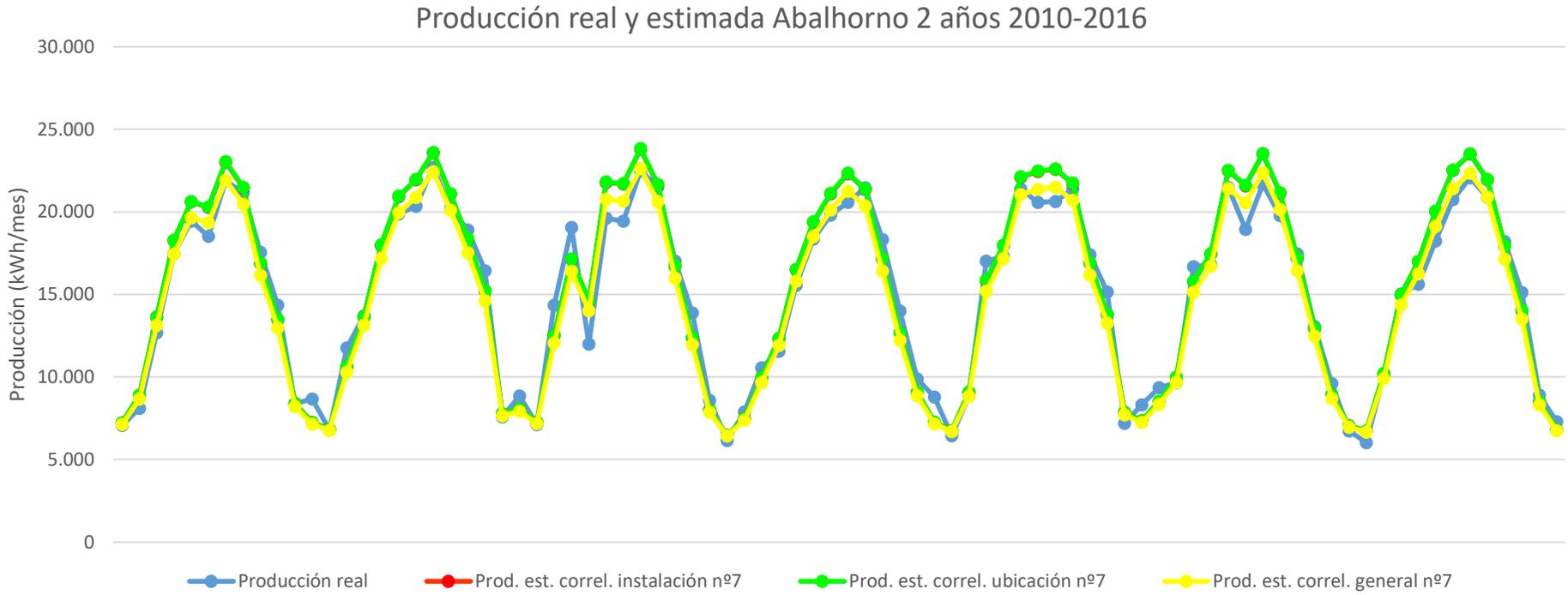


Figura 64: Producción real y estimada Abalhorno 2 años 2010-2016

5 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES MONOCRISTALINAS A 30°

5.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS

Para estimar la producción fotovoltaica de instalaciones con **paneles monocristalinos** se van a estudiar **seis instalaciones**, tres entre los años 2014 y 2016 y otras tres entre 2013 y 2016, ya que no se dispone de datos de más años. Estas seis instalaciones están situadas en Castilla y León, como se aprecia en la siguiente imagen.

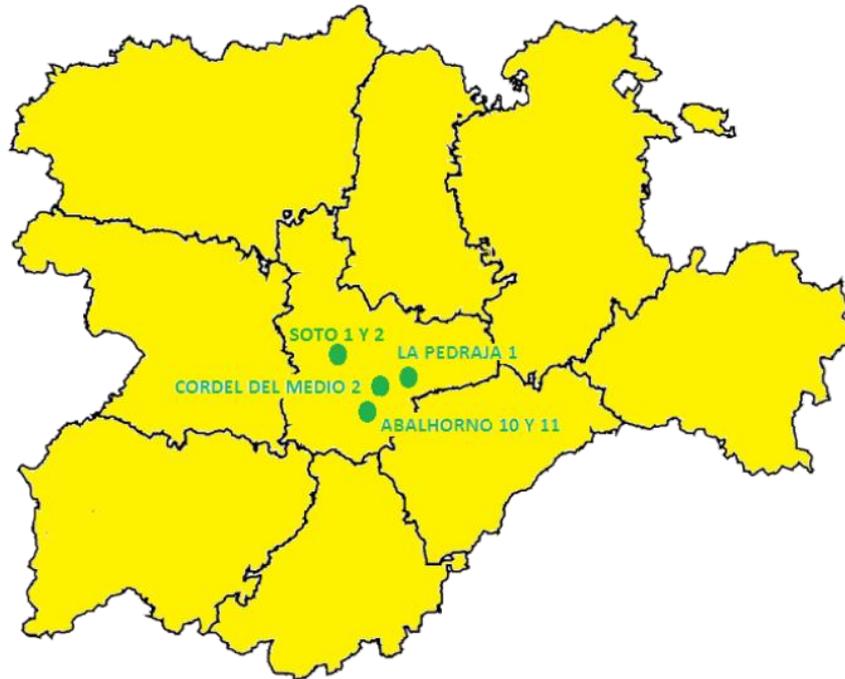


Figura 65: Ubicación de las instalaciones monocristalinas

Estas instalaciones tienen los paneles colocados a 30° de inclinación y una potencia nominal de 100 kW, al igual que las instalaciones policristalinas estudiadas. De esta forma se pretende extrapolar las correlaciones de ubicación y generales policristalinas calculadas en el Capítulo 4, valorando su validez para instalaciones de paneles monocristalinos.

Las características de las instalaciones monocristalinas analizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 40: Instalaciones monocristalinas estudiadas

Instalación		Localidad	Provincia	Tecnología panel	Tipología	Pot. nominal (kW)	Pot. pico (kW)
Instalación 17	Abalhorno 10	Mojados	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	109,2
Instalación 18	Abalhorno 11	Mojados	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	112,32
Instalación 19	Cordel del Medio 2	Mojados	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	99,96
Instalación 20	La Pedraja 1	La Pedraja	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	101,15
Instalación 21	Soto 1	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	99,96
Instalación 22	Soto 2	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	100	99,96

5.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS

Para obtener los valores de las variables meteorológicas utilizados para el cálculo de la irradiación equivalente real, se consultarán las estaciones SIAR que estén en un radio de 30 kilómetros de cada instalación, como se indicó en el apartado 3.2.3.

Las estaciones usadas para cada instalación se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 41: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones monocristalinas

Instalación		Localidad	Estación SIAR	Distancia (km)
Instalación 17	Abalhorno 10	Mojados (VA)	Olmedo	15,98
Instalación 18	Abalhorno 11		Tordesillas	28,75
Instalación 19	Cordel del Medio 2		Finca Zamadueñas	29,92
Instalación 20	La Pedraja 1	La Pedraja (VA)	Finca Zamadueñas	25,81
			Rueda	27,01
			Medina del Campo	28,9
			Tordesillas	29,58
Instalación 21	Soto 1	Torrecilla de la Torre (VA)	Tordesillas	18,57
Instalación 22	Soto 2		Medina de Rioseco	24,25
			Finca Zamadueñas	28,46

La localización de las instalaciones SIAR a consultar para estimar la producción de las instalaciones monocristalinas estudiadas se muestra en la figura 66.

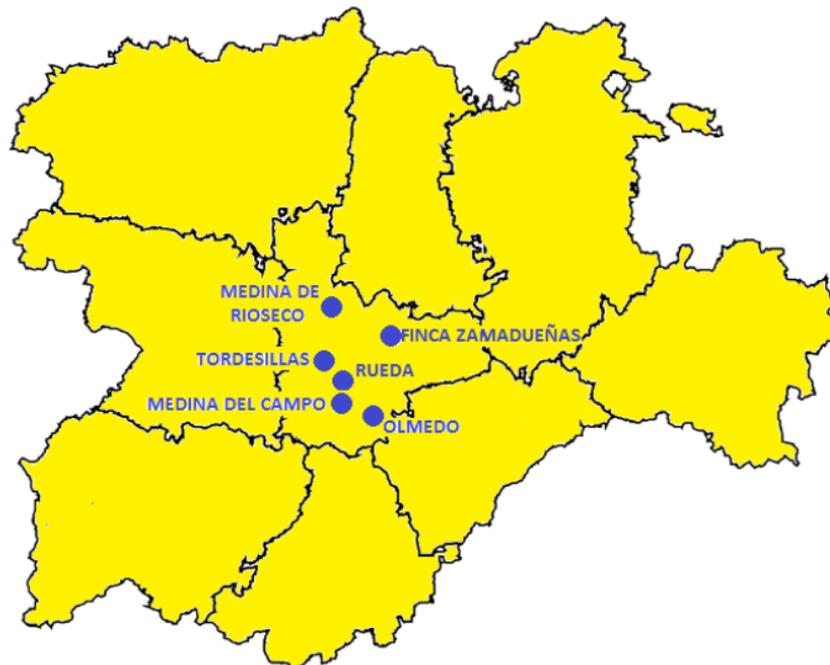


Figura 66: Ubicación estaciones SIAR consultadas para las instalaciones monocristalinas

Para las instalaciones que no cuentan con instalación SIAR en un radio de 10 km, se interpolarán los datos meteorológicos según el método del inverso de la distancia.

5.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS

Para estimar la producción de las instalaciones monocristalinas se extrapolarán las correlaciones generales nº5 y nº7 calculadas en el Capítulo 4. De esta forma, se comprobará si son válidas para instalaciones con la misma inclinación y potencia pero con paneles de distinta tecnología. Así se evitaría el cálculo de correlaciones específicas monocristalinas, simplificando el trabajo, reduciendo el número de correlaciones calculadas y aumentando el ámbito de aplicación de las ya calculadas.

Los coeficientes de las correlaciones calculadas en el Capítulo 4 que ahora se extrapolarán para estimar la irradiación de instalaciones monocristalinas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 42: Correlaciones policristalinas que se extrapolarán a instalaciones monocristalinas

Tipo de correlación	Planta	Ubicación	Correlación nº5				Correlación nº7	
			$H_{eq\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
			cte	A	B	C	cte	A
UBICACIÓN	Mojados-Abalhornos	Mojados (VA)	13,08	-0,06	-0,36	5,09	-1,72	3,19
	Sotos y Sotillos	Torrecilla de la Torre (VA)	15,83	-0,07	-0,41	4,87	-1,16	2,73
GENERAL	Correlación general policristalinos		12,41	-0,06	-0,38	4,92	-1,48	2,98
	Correlación general Calderón (2016)						-1,50	3,00

Por tanto, la **metodología** empleada para calcular la irradiación diaria equivalente estimada (H_{eq}) de las instalaciones monocristalinas consiste en interpolar las variables meteorológicas para cada instalación y sustituir sus valores en las correlaciones nº5 y nº7. Los valores obtenidos de irradiación estimada se compararán con los de la irradiación equivalente real, calculados con los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel, para determinar los errores cometidos y evaluar la validez de la extrapolación de las correlaciones.

5.4 COMPROBACIÓN DE LAS EXTRAPOLACIONES

En este apartado se va a llevar a cabo la comprobación de la extrapolación de las correlaciones policristalinas. Como se demostró en el capítulo anterior, las **comprobaciones mensuales** añaden un error generalmente aceptable en el cálculo, pero son más fáciles de realizar y permiten ver mejor los resultados, por lo que van a emplearse en este apartado.

Al igual que en el caso de las comprobaciones mensuales de las instalaciones policristalinas, se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual y la irradiación equivalente estimada mensual con las correlaciones propuestas, para así calcular los errores relativos entre la irradiación estimada y la real.

Para cada instalación monocristalina, se han calculado las correlaciones generales nº5 y nº7, y las correlaciones nº5 y nº7 de la ubicación en el caso de instalaciones situadas en ubicaciones de las cuales se ha obtenido una correlación policristalina específica. Las correlaciones utilizadas se han recogido en la tabla anterior (Tabla 42). Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 43: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas

Instalación	Correl. 5 ubicación	Correl. 7 ubicación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón
Abalhorno 10	9,69%	8,87%	4,77%	4,36%	4,92%
Abalhorno 11	9,18%	8,37%	4,28%	3,88%	4,44%
Cordel del Medio 2	9,36%	8,55%	4,46%	4,05%	4,61%
La Pedraja 1			24,51%	24,71%	25,38%
Soto 1	6,20%	5,79%	10,53%	10,45%	11,05%
Soto 2	-1,34%	-1,72%	2,69%	2,61%	3,16%
Error medio mensual	6,62%	5,97%	8,54%	8,35%	8,93%

Los errores cometidos usando las correlaciones correspondientes a cada **ubicación** de forma mensual son elevados, cercanos al 10% en 3 de las 5 instalaciones para las que se han calculado. La única instalación que ofrece resultados aceptables es Soto 2, si bien el error de Soto 1 no es excesivamente elevado.

Respecto a las correlaciones **generales**, vemos que funcionan bastante bien en la mayoría de las instalaciones (errores menores del 5%), si bien hay dos instalaciones cuyos errores son considerables.

Analicemos ahora las instalaciones cuyo error es superior al 5% con las correlaciones generales.

- La Pedraja 1

Los errores cometidos en el cálculo de esta instalación son superiores al 20%. Revisando las comprobaciones mensuales, no se aprecia ningún año atípico ni errores en su cálculo.

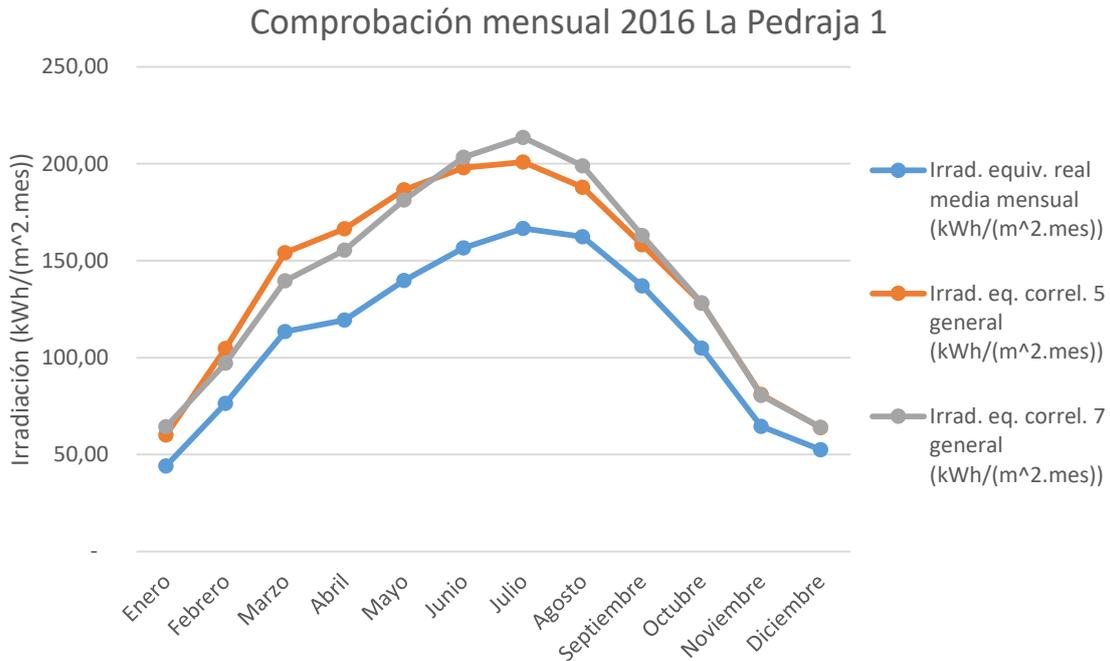


Figura 67: Comprobación mensual año 2016 La Pedraja 1

La irradiación equivalente real sigue la distribución habitual en el resto de instalaciones, pero las correlaciones generales sobrestiman la irradiación.

Para buscar posibles errores en el cálculo de esta instalación, se ha estudiado otra instalación monocristalina situada en la misma ubicación y de iguales características, obteniendo resultados similares (error medio del 24%).

De esta instalación solo se dispone de datos de los últimos tres años, por lo que sería conveniente observar su comportamiento en los próximos años.

Por tanto, se puede afirmar que las correlaciones generales no se pueden extrapolar para esta instalación, pues el error cometido es elevado. Para estimar la producción de esta instalación debería desarrollarse una correlación específica.

- Soto 1

De la instalación denominada Soto 1 se han estudiado los tres últimos años, observándose valores atípicos en los años 2014 y 2015, si bien en el año 2016 la estimación de la correlación 7 da un error muy pequeño (entre el -1 y -2%).

A continuación se muestra el comportamiento del año 2015, en el cual se demuestra la imposibilidad de las correlaciones para reproducir los atípicos valores de la irradiación.

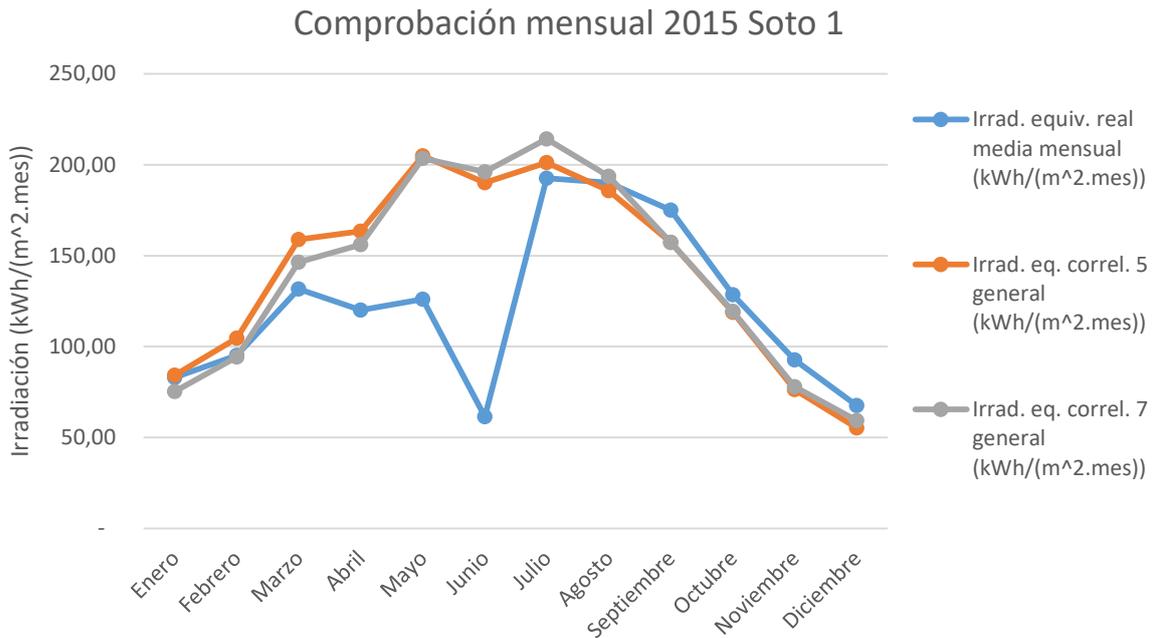


Figura 68: Comprobación mensual año 2015 Soto 1

Estas circunstancias anómalas, ya sea por fallos de producción o por errores en la medición de la misma, ya se observaban en las instalaciones policristalinas de Sotos.

La presencia de un año con bajos errores hace pensar que en circunstancias normales la extrapolación de las correlaciones sería válida, pero para comprobarlo se deben estudiar los próximos años.

El fallo en las estimaciones de La Pedraja 1 y Soto 1 hace que los valores medios de los errores sean elevados. Para poder valorar los errores del resto de instalaciones monocristalinas, se rehace la tabla anterior sin tener en cuenta estas dos instalaciones.

Tabla 44: Resumen de errores relativos mensuales inst. monocristalinas sin La Pedraja 1 ni Soto 1

Instalación	Correl. 5 ubicación	Correl. 7 ubicación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón
Abalhorno 10	9,69%	8,87%	4,77%	4,36%	4,92%
Abalhorno 11	9,18%	8,37%	4,28%	3,88%	4,44%
Cordel del Medio 2	9,36%	8,55%	4,46%	4,05%	4,61%
Soto 2	-1,34%	-1,72%	2,69%	2,61%	3,16%
Error medio mensual sin La Pedraja 1 ni Soto 1	6,72%	6,02%	4,05%	3,73%	4,28%

Analizando así las instalaciones monocristalinas se observa que la extrapolación de las correlaciones de las **ubicaciones** no genera buenos resultados, estado los errores próximos al 10%.

Sin embargo, los errores cometidos por las correlaciones **generales** son en todos los casos inferiores al 5%, por lo que la extrapolación de este tipo de correlaciones funciona relativamente bien.

Para valorar el comportamiento global de las extrapolaciones, se representa gráficamente la media de los errores de las instalaciones para cada correlación.

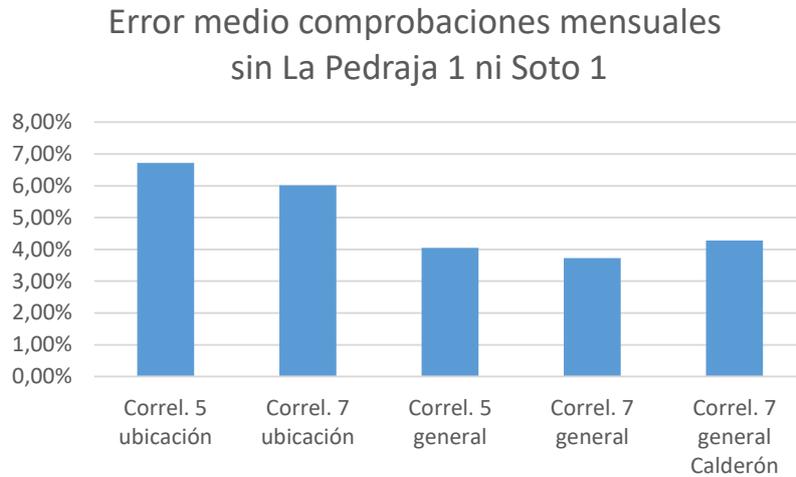


Figura 69: Error medio comprobaciones mensuales sin La Pedraja 1 ni Soto 1

En el gráfico se aprecia que los errores medios de las correlaciones de la ubicación son inferiores al 7%, aunque viendo la tabla se observa que es debido a la compensación de valores positivos (del 10%) y negativos.

Las correlaciones generales presentan errores menores (cercaos al 4%). Al igual que en las instalaciones policristalinas, las correlaciones nº7 tienen un error medio inferior a las nº5.

5.5 CONCLUSIONES

Para evaluar la validez de la extrapolación de las correlaciones policristalinas a instalaciones monocristalinas se han llevado a cabo las comprobaciones de la irradiación equivalente estimada frente a la real, calculando el error relativo cometido.

Respecto a las **correlaciones generales**, se ha demostrado que la extrapolación ofrece buenos resultados en la mayoría de los casos, a excepción de dos instalaciones, una de las cuales precisa el cálculo de correlaciones específicas y la otra presenta años atípicos. Estas dos instalaciones deben estudiarse en los próximos años para establecer un patrón en cuanto a su comportamiento. Las otras instalaciones son correctamente reproducidas por las correlaciones generales, si bien habría que estudiar su comportamiento en el futuro para abarcar más años. También sería conveniente incorporar al estudio más instalaciones monocristalinas de similares características y de diversas localizaciones, a fin de poder generalizar los resultados. Por tanto, como conclusión se puede afirmar que las correlaciones generales policristalinas son aplicables a instalaciones monocristalinas, ofreciendo resultados aceptables si bien debe continuarse con su estudio.

Por otra parte, calculando la **correlación general específica nº7 para las instalaciones monocristalinas** estudiadas, sin La Pedraja 1 ni Soto 1, se obtiene una correlación cuya expresión es $H_{eq} = -1.49 + 2.94 \cdot \sqrt{H}$, que no difiere mucho de la correlación general policristalina nº7 cuya expresión es $H_{eq} = -1.48 + 2.98 \cdot \sqrt{H}$. Realizando las comprobaciones con esta correlación monocristalina se obtienen errores menores, de en torno al 2%. Lógicamente los errores son pequeños porque la correlación se ha calculado con los datos de solo 4 instalaciones, por lo que estima con gran exactitud los valores de la irradiación de esas instalaciones. Esto no parece tener que ver con el hecho de que sean monocristalinas y no policristalinas, ya que existen correlaciones específicas de instalaciones y ubicaciones policristalinas (Tabla 35) que se alejan más de la correlación general policristalina que de lo que lo hace la monocristalina.

Representando la irradiación equivalente estimada por las correlaciones policristalina y monocristalina para valores de irradiación (H) entre 0 y 10 kWh/(m².día), que es el intervalo habitual en el que se mueve la irradiación, se observa que el comportamiento de ambas correlaciones es muy similar.

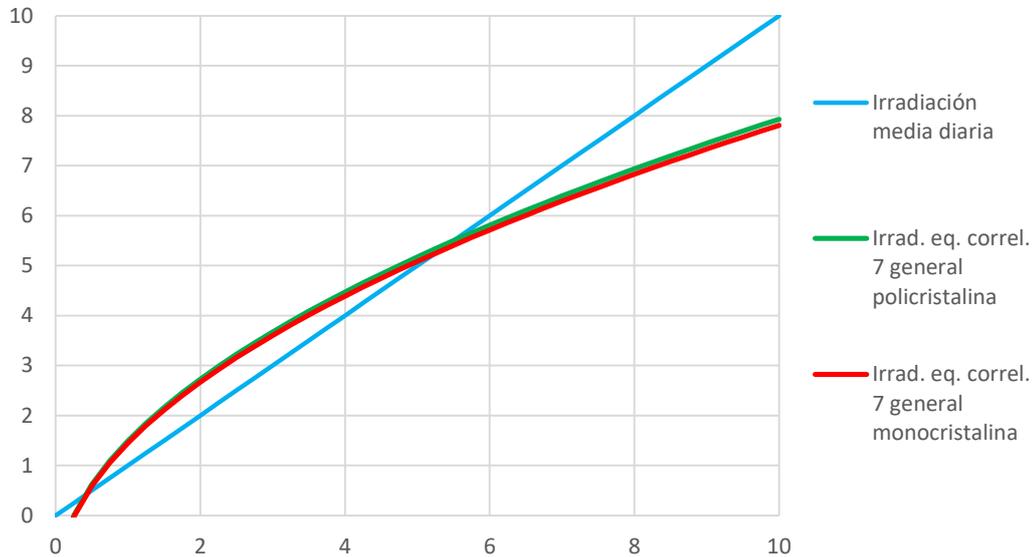


Figura 70: Comparación de la irradiación equivalente estimada

Además, algunas instalaciones policristalinas, con la correlación general policristalina, tienen errores (Tabla 39) similares o superiores a los de las instalaciones monocristalinas con la correlación policristalina, a pesar de que esas instalaciones policristalinas se habían usado para determinar esa correlación general.

Por todo esto se concluye que la **extrapolación de las correlaciones policristalinas** para estimar la irradiación equivalente de las instalaciones monocristalinas es **válida** y ofrece **resultados aceptables**.

En lo que a las **correlaciones de ubicación** se refiere, decir que no generan resultados buenos al extrapolarlas a instalaciones monocristalinas. Al igual que en el caso de las correlaciones generales, es conveniente estudiar el funcionamiento de estas correlaciones a lo largo de más años e instalaciones, con el fin de globalizar los resultados obtenidos.

Por consiguiente, la extrapolación de las correlaciones policristalinas para instalaciones monocristalinas de 30° inclinación es correcta, siendo más preciso utilizar las correlaciones generales que las de ubicación para el cálculo de la producción de instalaciones monocristalinas, obteniéndose de esta forma resultados válidos de forma rápida y sencilla. Por tanto, la correlación calculada para instalaciones policristalinas es más general de lo que se creía, ya que puede aplicarse a instalaciones de placas de tecnología monocristalina y policristalina.

5.6 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

A continuación se muestra la producción real y la producción estimada para la instalación Cordel del Medio 2 en los años 2013 a 2016.

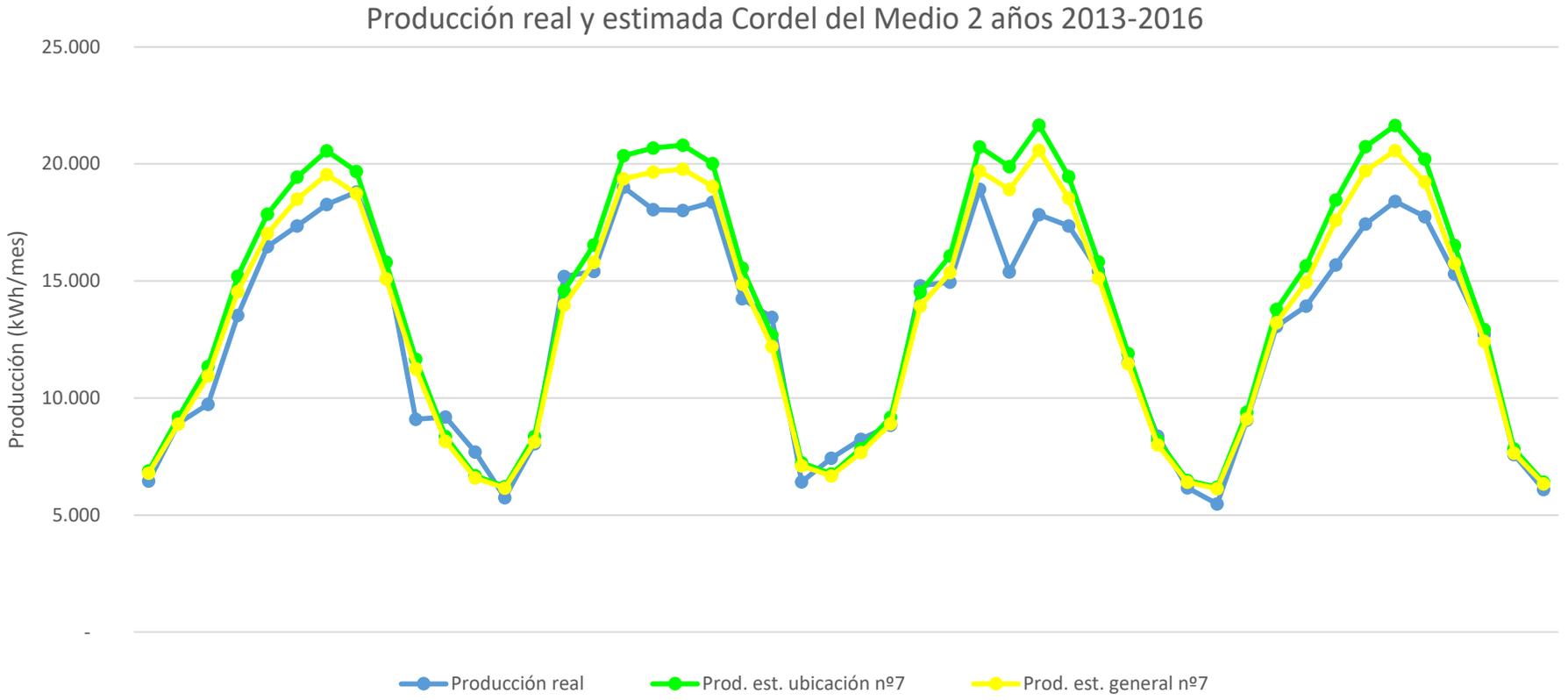


Figura 71: Producción real y estimada Cordel del Medio 2 años 2013-2016

6 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES POLICRISTALINAS DE DISTINTA INCLINACIÓN

6.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS

Para estimar la producción fotovoltaica de instalaciones con **paneles policristalinos situados a diferentes inclinaciones** se van a estudiar **6 instalaciones**, 5 entre los años 2014 y 2016 y una en el año 2016, ya que no se dispone de datos de más años. Estas 6 instalaciones están situadas en Castilla y León. (Figura 72)

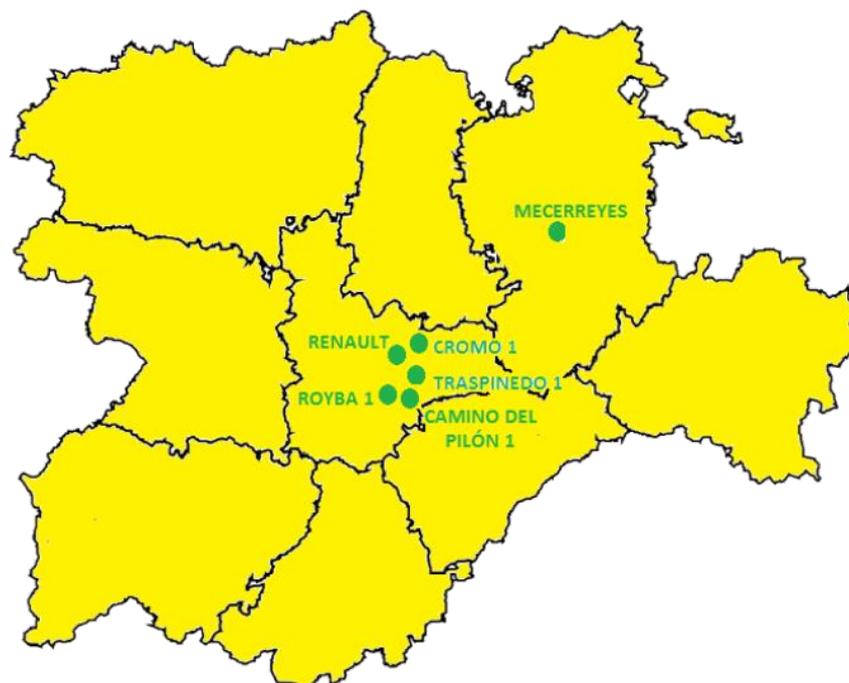


Figura 72: Ubicación de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación

Estas instalaciones tienen los paneles colocados a inclinaciones de 6°, 14°, 15°, 20° y 22° y potencias nominales entre 20 y 2000kW. Además una de estas instalaciones (Renault Motores VA) tiene paneles policristalinos y monocristalinos. Con este conjunto variado de instalaciones se pretende extrapolar las correlaciones generales policristalinas calculadas en el Capítulo 4, evaluando su validez para instalaciones de inclinación diferente a 30°.

Las características de las instalaciones analizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 45: Instalaciones policristalinas de distinta inclinación estudiadas

Instalación		Localidad	Provincia	Tecnología panel	Tipología	Pot. nominal (kW)	Pot. pico (kW)
Instalación 25	Cromo 1	Valladolid	Valladolid	Policristalino	Fija 14°	50	56,4
Instalación 26	Mecerreyes	Mecerreyes	Burgos	Policristalino	Fija 14°	20	22
Instalación 27	Renault Motores VA	Valladolid	Valladolid	Monocristalino y policristalino	Fija 22°	2000	2051,1
Instalación 28	Traspinedo 1	Traspinedo	Valladolid	Policristalino	Fija 20°	50	47,98
Instalación 29	Royba 1	Boecillo	Valladolid	Policristalino	Fija 15°	80	80,25
Instalación 30	Camino del Pílon 1	Portillo	Valladolid	Policristalino	Fija 6°	100	106

6.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS

Para obtener los valores de las variables meteorológicas utilizados para el cálculo de la irradiación equivalente real, se consultarán las estaciones SIAR que estén en un radio de 30 kilómetros de cada instalación, como se indicó en el apartado 3.2.3.

Las estaciones usadas para cada instalación se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 46: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones policristalinas de distinta inclinación

Instalación		Localidad	Estación SIAR	Distancia (km)
Instalación 25	Cromo 1	Valladolid (VA)	Finca Zamadueñas	5,25
Instalación 26	Mecerreyes	Mecerreyes (BU)	Tardajos	9,81
Instalación 27	Renault Motores VA	Valladolid (VA)	Finca Zamadueñas	5,25
Instalación 28	Traspinedo 1	Traspinedo (VA)	Valbuena de Duero	16,11
			Finca Zamadueñas	23,69
Instalación 29	Royba 1	Boecillo (VA)	Finca Zamadueñas	17,46
			Tordesillas	25,23
			Rueda	26,06
			Olmedo	28,53
Instalación 30	Camino del Pílon 1	Portillo (VA)	Olmedo	24,46
			Finca Zamadueñas	26,8
			Valbuena de Duero	29,5
			Gomezserracín	29,76

La localización de las instalaciones SIAR a consultar para estimar la producción de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación estudiadas se muestra en la figura 73.

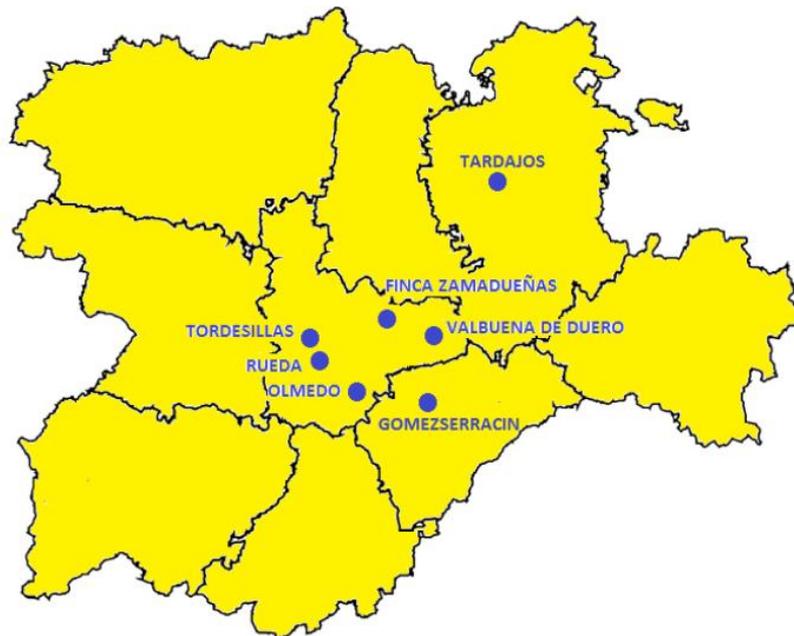


Figura 73: Ubicación estaciones SIAR consultadas para instalaciones a distinta inclinación

Para las instalaciones que no cuentan con instalación SIAR en un radio de 10 km, se interpolarán los datos meteorológicos según el método del inverso de la distancia.

6.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS

Para estimar la producción de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación se seguirá la metodología usada en el capítulo anterior, extrapolando las correlaciones generales policristalinas nº5 y nº7 calculadas en el Capítulo 4. De esta forma, se comprobará si son válidas para instalaciones con la misma tecnología policristalina pero con inclinación diferente de 30° y potencias distintas a 100kW. Así se evitaría el cálculo de correlaciones específicas para cada inclinación, simplificando el trabajo, reduciendo el número de correlaciones calculadas y aumentando el ámbito de aplicación de las correlaciones generales policristalinas.

Los coeficientes de las correlaciones calculadas en el Capítulo 4 que ahora se extrapolarán se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 47: Correlaciones policristalinas que se extrapolarán a instalaciones con distinta inclinación

Tipo de correlación	Planta	Ubicación	Correlación nº5				Correlación nº7	
			$H_{eq\ est} = cte + A \cdot Temp + B \cdot Rad. + C \cdot \sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A \cdot \sqrt{Rad}$	
			cte	A	B	C	cte	A
GENERAL	Correlación general policristalinos		12,41	-0,06	-0,38	4,92	-1,48	2,98

Por tanto, la **metodología** empleada para calcular la irradiación diaria equivalente estimada (H_{eq}) de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación consiste en interpolar las variables meteorológicas para cada instalación y sustituir sus valores en las correlaciones nº5 y nº7. Los valores obtenidos de irradiación estimada se compararán con los de la irradiación equivalente real, calculados con los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel, para determinar los errores cometidos y evaluar la validez de la extrapolación de las correlaciones.

6.3.1 Comprobación de las extrapolaciones

A continuación se resumen las **comprobaciones mensuales** llevadas a cabo para valorar la idoneidad de la extrapolación de las correlaciones.

Se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual y la irradiación equivalente estimada mensual con las correlaciones propuestas, para así calcular los errores relativos entre la irradiación estimada y la real.

Para cada instalación, se han calculado las correlaciones generales nº5 y nº7. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 48: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación

Instalación	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón
Cromo 1	Fija 14°	26,87%	27,15%	27,83%
Mecerreyes 1	Fija 14°	13,77%	12,03%	12,62%
Renault Motores VA	Fija 22°	28,60%	28,90%	29,59%
Traspinedo 1	Fija 20°	22,65%	22,18%	22,83%
Royba 1	Fija 15°	26,23%	26,46%	27,14%
Camino del Pílon 1	Fija 6°	34,27%	33,80%	34,52%
Error medio		25,40%	25,09%	25,76%

Los errores cometidos extrapolando las correlaciones generales son muy elevados, siendo de media superiores al 25%. La instalación con menor error es Mecerreyes 1, cuyo error es superior al 10%.

6.3.2 Conclusiones

Viendo los datos de la tabla anterior se puede concluir, sin necesidad de recurrir a representaciones gráficas, que la **extrapolación** de las correlaciones generales policristalinas **no es válida** para estimar la irradiación equivalente y por consiguiente la producción de instalaciones situadas a una inclinación distinta de 30°. Esto coincide con los resultados obtenidos en el Trabajo de Fin de Máster precedente [Calderón, 2016].

6.4 CORRECCIÓN DE LA EXTRAPOLACIÓN DE LAS CORRELACIONES POLICRISTALINAS

Para corregir la estimación de las correlaciones generales al aplicarlas a instalaciones de distinta inclinación, parece razonable buscar una solución en función de la **inclinación**, ya que es el único parámetro que ha variado con respecto a las instalaciones 1 a 16. Calderón empleó para ello un **factor de corrección** basado en el cociente entre el coseno del ángulo de inclinación de las instalaciones con las que se desarrollaron las correlaciones generales (30°) y el coseno del ángulo de inclinación de la instalación estudiada.

$$F_c = \frac{\cos 30^\circ}{\cos \alpha}$$

En el Trabajo de Fin de Máster precedente se aplicó esta corrección a un año de dos instalaciones, obteniendo resultados dispares, ya que en una de ellas la estimación mejoraba considerablemente y en la otra empeoraba de forma notable.

Para poder generalizar los resultados obtenidos con la corrección, se comprobará ahora la estimación para las 6 instalaciones aquí estudiadas, 5 entre los años 2014-2016 y 1 en el año 2016.

Por tanto, la **metodología** empleada para calcular la irradiación diaria equivalente estimada (H_{eq}) de las instalaciones policristalinas con distinta inclinación mediante la **corrección de la estimación** de las correlaciones generales consiste en interpolar las variables meteorológicas para cada instalación y sustituir sus valores en las correlaciones nº5 y nº7. Los valores obtenidos de irradiación estimada se multiplicarán por el factor de corrección propuesto por Calderón, en función de la inclinación, y se compararán con los de la irradiación equivalente real, calculados con los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel, para determinar los errores cometidos y evaluar la validez de la corrección de la extrapolación de las correlaciones generales.

$$H_{eq,real} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}}$$

$$H_{eq,est} = f(T, H) \cdot F_c$$

6.4.1 Comprobación de la corrección de las extrapolaciones

A continuación se resumen las **comprobaciones mensuales** llevadas a cabo para valorar la validez de la corrección de la extrapolación de las correlaciones.

Se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual, y la irradiación equivalente estimada mensual corregida, para así

calcular los errores relativos entre la irradiación estimada y la real. Además se muestran también los valores de la irradiación equivalente estimada mensual de las correlaciones sin corregir para observar como varía el error.

Para cada instalación, se han calculado las correlaciones generales nº5 y nº7. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 49: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación con la corrección de la extrapolación de las correlaciones

Instalación	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 7 general Calderón	Correl. 5 general*Fc	Correl. 7 general*Fc	Correl. 7 general Calderón*Fc
Cromo 1	Fija 14°	26,87%	27,15%	27,83%	13,23%	13,48%	14,09%
Mecerreyes 1	Fija 14°	13,77%	12,03%	12,62%	1,55%	0,00%	0,52%
Renault Motores VA	Fija 22°	28,60%	28,90%	29,59%	20,11%	20,40%	21,04%
Traspinedo 1	Fija 20°	22,65%	22,18%	22,83%	13,04%	12,60%	13,20%
Royba 1	Fija 15°	26,23%	26,46%	27,14%	12,66%	12,87%	13,48%
Camino del Pílon 1	Fija 6°	34,27%	33,80%	34,52%	19,84%	19,42%	20,06%
Error medio		25,40%	25,09%	25,76%	13,40%	13,13%	13,73%

Utilizando el factor de corrección se obtienen menores errores relativos, pero el error medio de las 6 instalaciones es superior al 10%. Solo una instalación (Mecerreyes 1) tiene un error inferior al 5%, siendo en el resto de instalaciones mayor del 10% y en dos de estas en torno al 20%.

6.4.2 Conclusiones

Comparando los resultados obtenidos con la extrapolación y con la corrección de la extrapolación, se observa que al aplicar el factor de corrección el error disminuye en todas las instalaciones. En el caso de Mecerreyes 1, la corrección de la extrapolación ofrece una estimación muy buena, si bien de esa instalación solo se estudió un año. El resto de instalaciones presentan errores considerables, de entre el 12 y el 21%.

Tras estudiar el comportamiento de estas 6 instalaciones a lo largo de varios años, se puede concluir que la **corrección de la extrapolación** de las correlaciones generales policristalinas **no es válida** para estimar la irradiación equivalente y por consiguiente la producción de instalaciones situadas a una inclinación distinta de 30°.

6.5 CÁLCULO DE LAS SUPERCORRELACIONES

Una vez que se ha comprobado que la extrapolación de las correlaciones generales con y sin corrección no ofrece resultados aceptables, se calcularán las denominadas **supercorrelaciones**, que deben servir para estimar la irradiación diaria equivalente de instalaciones policristalinas de distinta inclinación.

Estas supercorrelaciones se calcularán a partir de los datos de 5 de las 6 instalaciones estudiadas en este capítulo, excluyendo a Mecerreyes 1 ya que solo se disponen de datos de un año, y de una instalación policristalina situada a 30° de inclinación (Mamblas 2). Estas instalaciones tienen los paneles colocados a distinta inclinación y se usarán datos de los años 2014, 2015 y 2016, de tal forma que todas las instalaciones y todas las inclinaciones tengan el mismo peso en el cálculo de las supercorrelaciones. Las instalaciones usadas y sus características se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 50: Instalaciones usadas para el cálculo de las supercorrelaciones

Instalación	Localidad	Provincia	Tecnología	Tipología	Pot. nominal	Pot. pico	
Instalación 11	Mamblas 2	Mamblas	Ávila	Policristalino	Fija 30°	100	100,8
Instalación 25	Cromo 1	Valladolid	Valladolid	Policristalino	Fija 14°	50	56,4
Instalación 27	Renault Motores VA	Valladolid	Valladolid	Monocristalino y policristalino	Fija 22°	2000	2051,1
Instalación 28	Traspinedo 1	Traspinedo	Valladolid	Policristalino	Fija 20°	50	47,98
Instalación 29	Royba 1	Boecillo	Valladolid	Policristalino	Fija 15°	80	80,25
Instalación 30	Camino del Pílon 1	Portillo	Valladolid	Policristalino	Fija 6°	100	106

Partiendo de los modelos de correlaciones elegidos en el Capítulo 4, se calcularán las correlaciones nº5 y nº7 pero añadiendo una variable, **la inclinación**, que se considerará como el coseno del ángulo de inclinación de los paneles. De esta forma se obtienen las supercorrelaciones nº5 y nº7, cuyas expresiones son:

$$\text{Supercorrelación nº5: } H_{eq} = A + B \cdot T + C \cdot H + D \cdot \sqrt{H} + E \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Supercorrelación nº7: } H_{eq} = A + B \cdot \sqrt{H} + C \cdot \cos \alpha$$

Por tanto, la **metodología** consiste en calcular la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}) a partir de los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel.

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv \text{ ref}} \cdot \eta_{panel \text{ ref}} \cdot S_{panel}}$$

Después se relacionan los valores diarios de las variables meteorológicas y el coseno del ángulo de inclinación de forma que se ajusten a los resultados obtenidos de irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada, mediante una regresión múltiple.

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv \text{ ref}} \cdot \eta_{panel \text{ ref}} \cdot S_{panel}} = f(T, H, \cos \alpha)$$

Siguiendo este procedimiento se han obtenido las supercorrelaciones recogidas en el Anexo 5 y cuyos coeficientes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 51: Coeficientes de las supercorrelaciones nº5 y nº7

Tipo de correlación	Supercorrelación nº5					Supercorrelación nº7		
	$H_{eq \text{ est}} = cte + A \cdot T + B \cdot Rad + C \cdot \sqrt{Rad} + D \cdot \cos \alpha$					$H_{eq \text{ est}} = cte + A \cdot \sqrt{Rad} + B \cdot \cos \alpha$		
	cte	A	B	C	D	cte	A	B
SUPERCORRELACIÓN	16,66	-0,04	0,28	2,05	-7,61	5,39	2,82	-7,77

- **Análisis de la validez** de las supercorrelaciones
 - T de Student y F de Snedecor para las supercorrelaciones

Tabla 52: Estadísticos t y F supercorrelación 5

Super correlación nº5	t de Student/significación								F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación ^{1/2}		cos α		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
	-26,51	0,00	15,07	0,00	29,08	0,00	-47,09	0,00	19802,47	0,00

Tabla 53: Estadísticos t y F supercorrelación 7

Supercorrelación nº7	t de Student/significación				F Snedecor/sign.	
	Irradiación ^{^(1/2)}		cos α		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor		
	259,86	0,00	-45,53	0,00	35096,34	0,00

En las tablas de los estadísticos t y F para las supercorrelaciones, podemos ver que todas las variables son individualmente significativas, así como las correlaciones de forma global.

- R-cuadrado, rmse y mbe para las supercorrelaciones

Tabla 54: R-cuadrado, rmse y mbe supercorrelaciones

Estadístico	Supercorrelación nº5	Supercorrelación nº7
R ²	92,34%	91,44%
rmse	14,23	15,04
mbe	-5,24E-03	-4,35E-03

Respecto a los valores del estadístico R-cuadrado, ambas supercorrelaciones presentan valores superiores al 90%, lo que quiere decir que los modelos explican más del 90% de la variabilidad de la H_{eq} . Estos valores de R-cuadrado son superiores a los obtenidos para las correlaciones generales policristalinas, lo que indica el buen ajuste de las supercorrelaciones. Además es destacable mencionar que el valor de R-cuadrado para las supercorrelaciones nº5 y nº7 es muy parecido (difiere menos del 1%), mientras que en el caso de las correlaciones existía más diferencia.

En cuanto al rmse, ambas supercorrelaciones tienen valores aceptables, muy inferiores a 20.

Por último, el mbe tiene en los dos casos valores cercanos a cero, lo que indica que el error cometido al usar las supercorrelaciones es muy pequeño.

6.5.1 Comprobación de las supercorrelaciones

A continuación se resumen las **comprobaciones mensuales** llevadas a cabo para valorar la validez de las supercorrelaciones para la estimación de la irradiación equivalente.

Se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual, y la irradiación equivalente estimada mensual de los años 2014 a 2016, para así calcular los errores relativos entre la irradiación equivalente estimada y la real. Además se muestran también los valores de los errores con la extrapolación de las correlaciones sin corregir y corregidas (dependiendo de las instalaciones analizadas) para observar como varía en el caso de la estimación con las supercorrelaciones.

A pesar de que el título de este capítulo solo hace referencia a instalaciones policristalinas de distinta inclinación, para evaluar la validez de las supercorrelaciones se llevarán a cabo estas comprobaciones en las instalaciones policristalinas de distinta inclinación estudiadas en este Capítulo 6, en las instalaciones policristalinas con 30° de inclinación analizadas en el Capítulo 4, en las instalaciones monocristalinas de 30° de inclinación examinadas en el Capítulo 5 y en instalaciones monocristalinas situadas a distinta inclinación.

6.5.1.1 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones policristalinas de distinta inclinación. Conclusiones.

En este apartado se muestra un resumen de los errores medios de las comprobaciones mensuales con las correlaciones generales, las correlaciones generales corregidas y las supercorrelaciones, para estimar la irradiación equivalente en las 6 instalaciones

policristalinas situadas a distintas inclinaciones. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 55: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas distinta inclinación con los distintos tipos de correlación

Instalación	Tecnología	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Correl. 5 general*Fc	Correl. 7 general*Fc	Super correl. 5	Super correl. 7
Cromo 1	Policristalino	14°	26,87%	27,15%	13,23%	13,48%	-0,59%	0,03%
Mecerreyes 1	Policristalino	14°	13,77%	12,03%	1,55%	0,00%	-12,38%	-13,08%
Renault Motores VA	Poli/Mono	22°	28,60%	28,90%	20,11%	20,40%	10,02%	10,86%
Traspinedo 1	Policristalino	20°	22,65%	22,18%	13,04%	12,60%	2,22%	2,60%
Royba 1	Policristalino	15°	26,23%	26,46%	12,66%	12,87%	-0,08%	0,54%
Camino del Pílon 1	Policristalino	6°	34,27%	33,80%	19,84%	19,42%	-0,26%	-0,05%
Error medio			25,40%	25,09%	13,40%	13,13%	-0,18%	0,15%

Observando los resultados se aprecia que las supercorrelaciones funcionan muy bien para cuatro de las seis instalaciones. En el caso de las otras dos instalaciones los errores están en torno al 10% (en valor absoluto), si bien en una de ellas ha mejorado y en otra ha empeorado respecto de la corrección de las extrapolaciones de las correlaciones generales.

Representando gráficamente los valores del error medio para cada instalación y correlación se puede ver cómo disminuyen usando las supercorrelaciones.

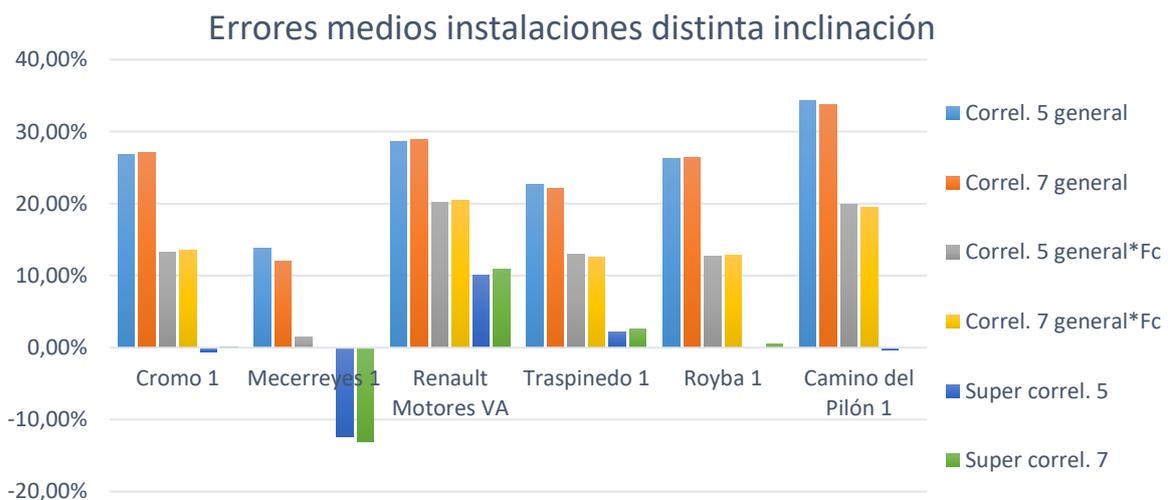


Figura 74: Error medio instalaciones distinta inclinación

Analicemos ahora las instalaciones cuyo error medio con las supercorrelaciones es superior al 5%.

- Mecerreyes 1

Como ya se ha mencionado, de esta instalación solo se dispone de datos del año 2016, que presenta un bajón en la producción en el mes de julio, lo que hace que el error cometido con la estimación sea tan grande, si bien la estimación a lo largo del resto del año es inferior a la irradiación real.

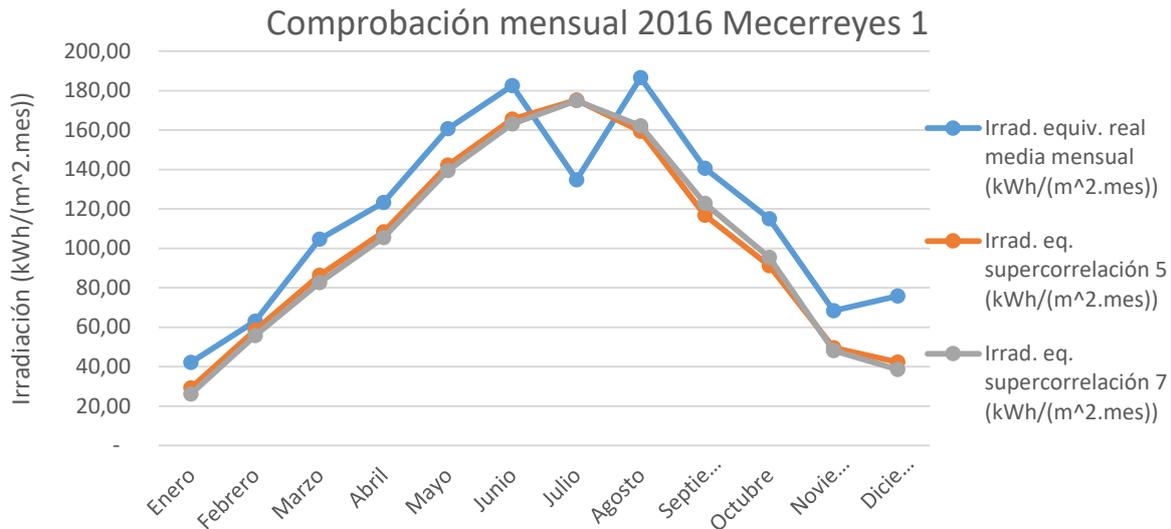


Figura 75: Comprobación mensual año 2016 Mecerreyes 1

Por tanto, se debe observar el comportamiento de la instalación en los próximos años para poder valorar la validez del uso de las supercorrelaciones para estimar la irradiación de esta instalación.

- Renault Motores VA

Esta instalación tiene dos características diferentes al resto de este grupo: está compuesta por paneles monocristalinos y policristalinos y su potencia es de 2000kW. Su comportamiento a lo largo de los tres años estudiados es normal, por lo que se deben estudiar los próximos años para ver cómo funcionan las supercorrelaciones. En caso de mantenerse el error, lo más adecuado sería calcular una correlación específica para la instalación, si bien el error cometido (de en torno al 10%) no es excesivamente elevado.

Como **conclusiones** a las comprobaciones de las **supercorrelaciones** en **instalaciones de distinta inclinación**, se puede afirmar que son **válidas** en la mayoría de los casos, ofreciendo una estimación de media muy cercana a los valores reales. Las dos instalaciones con errores en valor absoluto de aproximadamente el 10% deben estudiarse en los próximos años para valorar el cálculo de correlaciones específicas.

6.5.1.2 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones policristalinas situadas a 30° de inclinación. Conclusiones.

En este apartado se muestra un resumen de los errores medios de las comprobaciones mensuales con las correlaciones generales y las supercorrelaciones en los años 2014 a 2016, usadas para estimar la irradiación equivalente en las 16 instalaciones policristalinas situadas a 30° de inclinación estudiadas en el Capítulo 4. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 56: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones policristalinas a 30°

Instalación	Tecnología	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Super correl. 5	Super correl. 7
Mojados 1	Policristalino	30°	-2,55%	-2,61%	-6,71%	-6,13%
Mojados 2	Policristalino	30°	-2,63%	-2,69%	-6,79%	-6,21%
Mojados 4	Policristalino	30°	3,43%	3,37%	-0,99%	-0,38%
Abalhornos 1	Policristalino	30°	-1,85%	-1,92%	-6,05%	-5,47%
Abalhornos 2	Policristalino	30°	-1,53%	-1,59%	-5,74%	-5,16%
Abalhornos 19	Policristalino	30°	-0,98%	-1,04%	-5,21%	-4,62%
Fresno 1	Policristalino	30°	7,72%	7,26%	2,81%	3,34%
Fresno 2	Policristalino	30°	6,51%	6,05%	1,65%	2,17%
Villacidaler	Policristalino	30°	0,03%	-0,90%	-4,48%	-4,47%
Mamblas 1	Policristalino	30°	1,88%	1,01%	-2,87%	-2,67%
Mamblas 2	Policristalino	30°	2,48%	1,60%	-2,30%	-2,10%
Soto 5	Policristalino	30°	12,10%	12,01%	7,35%	7,98%
Soto 6	Policristalino	30°	4,75%	4,67%	0,31%	0,90%
Soto 4	Policristalino	30°	4,25%	4,17%	-0,16%	0,42%
La Trapa	Policristalino	30°	-5,05%	-6,26%	-9,78%	-9,66%
Alija	Policristalino	30°	21,52%	19,62%	15,60%	15,33%
Error medio			3,13%	2,67%	-1,46%	-1,05%

Se observa que las supercorrelaciones, en general, subestiman la irradiación diaria equivalente, ya que los errores son negativos. Comparando los errores de las correlaciones generales y las supercorrelaciones, se aprecia que en las correlaciones generales hay menos instalaciones con errores superiores al 5%, resultado lógico ya que las correlaciones generales se desarrollaron con los datos de estas 16 instalaciones y las supercorrelaciones solo con los de 1 de estas instalaciones (Mamblas 2). En cuanto a los errores superiores al 5% con las supercorrelaciones, destacar el caso de las instalaciones ubicadas en Mojados (instalaciones Mojados y Abalhornos), cuyos errores son ligeramente superiores al -5%, siendo estimaciones válidas. Estas instalaciones tienen errores mucho menores con las correlaciones generales debido al peso de la ubicación de Mojados en la correlación general (6 de las 16 instalaciones están en Mojados). Las otras 3 instalaciones con errores superiores al 5% con las supercorrelaciones (Soto 5, La Trapa y Alija), presentan también errores elevados con las correlaciones generales.

Representando gráficamente los valores del error medio con las correlaciones n°7 general y supercorrelación para cada instalación, se puede ver cómo, usando las supercorrelaciones, los errores positivos disminuyen y los negativos aumentan (son mayores en valor absoluto). Para 7 de las 16 instalaciones el error es menor usando las supercorrelaciones.

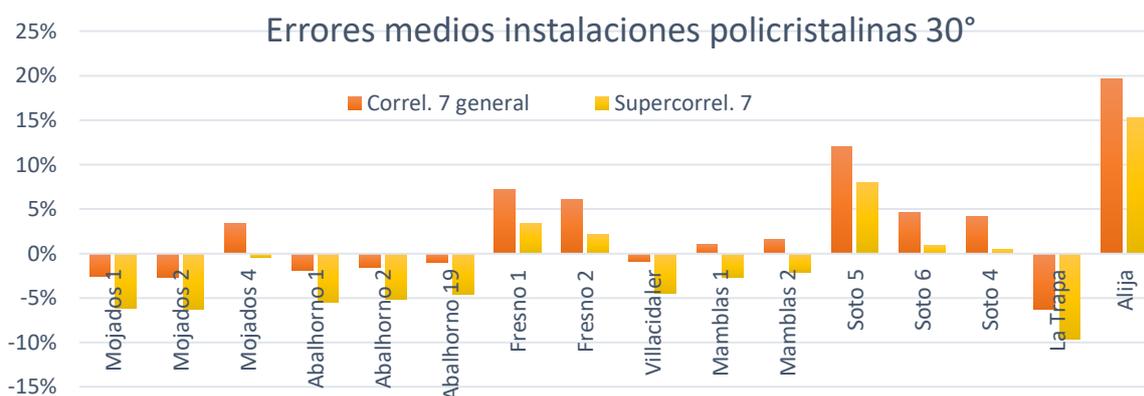


Figura 76: Error medio instalaciones policristalinas

Para comparar el funcionamiento de la correlación nº7 general y la supercorrelación nº7 en instalaciones situadas a 30° de inclinación, se representa la irradiación equivalente estimada por ambas correlaciones para valores de irradiación (H) entre 0 y 10 kWh/(m².día).

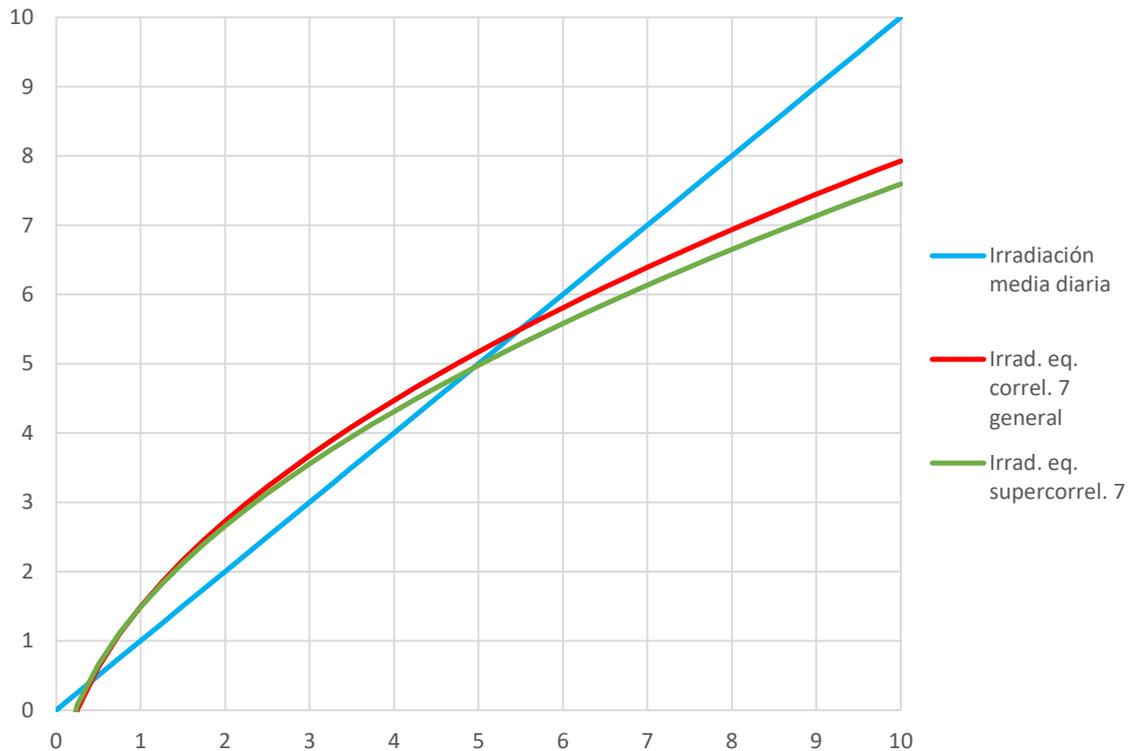


Figura 77: Comparación irradiación equivalente estimada correlación general y supercorrelación

En la gráfica se observa que valores de irradiación inferiores a 4 kWh/(m².día) ambas correlaciones se comportan de forma similar, pero a partir de ese valor la supercorrelación 7 estima valores de irradiación equivalente menores que la correlación general, como se había señalado con los datos de la Tabla 56.

Como **conclusiones** a las comprobaciones de las **supercorrelaciones** en **instalaciones policristalinas situadas a 30°** de inclinación, se puede afirmar que son **válidas** en la mayoría de los casos, ofreciendo incluso mejores resultados que las correlaciones generales en 7 de las 16 instalaciones. En el caso de las 3 instalaciones mencionadas cuyos errores son elevados, se debe estudiar estas instalaciones en los próximos años para ver cómo evoluciona su producción. Para predecir la producción de estas 16 instalaciones estudiadas, lo más adecuado es utilizar las correlaciones específicas de cada una de ellas calculadas en el Capítulo 4, si bien estas comprobaciones sirven para demostrar que el uso de las supercorrelaciones en instalaciones de estas características ofrece, en general, **resultados aceptables**.

6.5.1.3 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones monocristalinas situadas a 30° de inclinación. Conclusiones.

En este apartado se muestra un resumen de los errores medios de las comprobaciones mensuales con las correlaciones generales y las supercorrelaciones, usadas para estimar la irradiación equivalente en las instalaciones monocristalinas situadas a 30° de inclinación estudiadas en el Capítulo 5.

Como ya se explicó, dos de las instalaciones estudiadas en este capítulo (Soto 1 y La Pedraja 1) presentaban un comportamiento diferente a las demás, por lo que sus resultados se

muestran aparte para evitar que afecten a la media de las instalaciones. Se señalan en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 57: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas a 30°

Instalación	Tecnología	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Super correl. 5	Super correl. 7
Abalhorn 10	Monocristalino	30°	5,13%	5,06%	0,62%	1,25%
Abalhorn 11	Monocristalino	30°	4,83%	4,76%	0,34%	0,97%
Cordel del Medio 2	Monocristalino	30°	4,43%	4,36%	-0,05%	0,58%
Soto 2	Monocristalino	30°	2,69%	2,61%	-1,67%	-1,09%
Error medio			4,27%	4,20%	-0,19%	0,43%

En la tabla se observa que los errores cometidos con las supercorrelaciones son menores que con las correlaciones generales. Utilizando las supercorrelaciones, todas las instalaciones presentan errores inferiores al 2%, y la media en valor absoluto es menor del 1%. Esto demuestra que las correlaciones policristalinas pueden extrapolarse a instalaciones monocristalinas, ya que las supercorrelaciones se han calculado con instalaciones policristalinas y presentan muy buenos resultados para instalaciones monocristalinas.

Representando gráficamente los valores del error medio para cada instalación y correlación se observa mejor cómo disminuyen los errores con las supercorrelaciones.

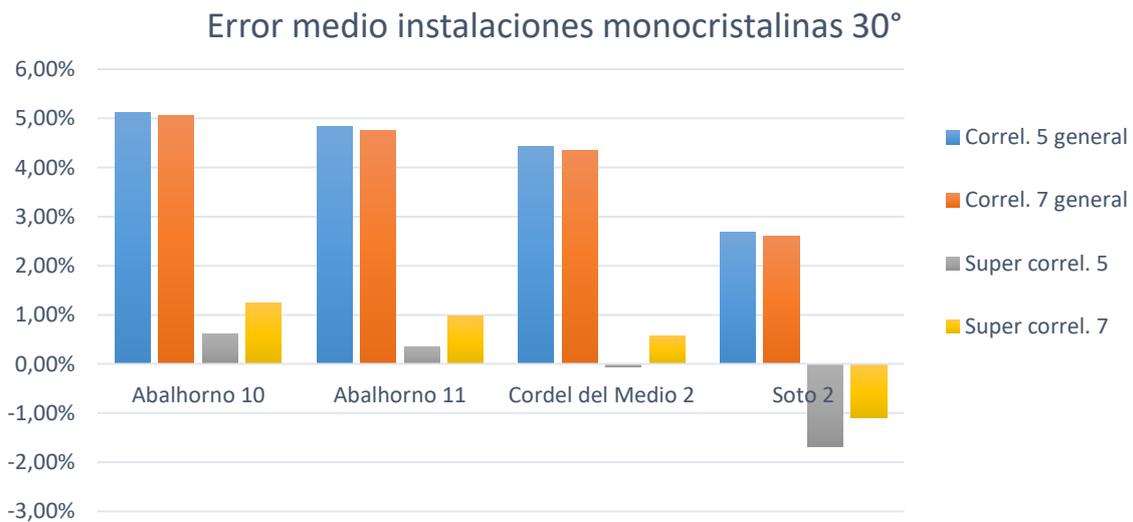


Figura 78: Error medio instalaciones monocristalinas 30° de inclinación

Respecto a las otras dos instalaciones monocristalinas estudiadas, en la siguiente tabla se muestran los errores cometidos usando las correlaciones generales y las supercorrelaciones.

Tabla 58: Resumen de errores relativos mensuales Soto 1 y La Pedraja 1

Instalación	Tecnología	Inclinación	Correl. 5 general	Correl. 7 general	Super correl. 5	Super correl. 7
Soto 1	Monocristalino	30°	10,53%	10,45%	5,85%	6,48%
La Pedraja 1	Monocristalino	30°	24,51%	24,71%	19,21%	22,52%

Los errores disminuyen usando las supercorrelaciones, siendo aceptables en el caso de Soto 1 y elevados en La Pedraja 1.

Como **conclusiones** a las comprobaciones de las **supercorrelaciones** en **instalaciones monocristalinas a 30°** de inclinación, se puede afirmar que son adecuadas ya que ofrecen **buenos resultados** en la estimación de la irradiación equivalente. Los errores son en general menores del 2%, lo que supone una estimación bastante exacta.

6.5.1.4 Comprobación de las supercorrelaciones para instalaciones monocristalinas situadas a distinta inclinación. Conclusiones.

Una vez realizadas las comprobaciones de las supercorrelaciones para instalaciones policristalinas de distinta inclinación, policristalinas a 30° y monocristalinas a 30°, se comprobará en este apartado la validez de las supercorrelaciones para instalaciones monocristalinas de distinta inclinación. Las instalaciones estudiadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 59: Instalaciones monocristalinas de distinta inclinación

Instalación	Localidad	Provincia	Tecnología	Tipología	Pot. nominal (kW)	Pot. pico (kW)
La Ronda	Torrecilla de la Orden	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	10	11,25
Edificio Cenit	Boecillo	Valladolid	Monocristalino	Fija 20°	100	110,25
Las Eras	Mojados	Valladolid	Monocristalino	Fija 10°	74	74,36
Sotillo 10	Torrecilla de la Torre	Valladolid	Monocristalino	Fija 30°	10	10,56
Intras 1	Toro	Zamora	Monocristalino	Fija 15°	22	22

A continuación se muestra un resumen de los errores medios de las comprobaciones mensuales con las correlaciones generales corregidas y las supercorrelaciones, usadas para estimar la irradiación equivalente en las instalaciones monocristalinas situadas a distinta inclinación. Se señalan en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 60: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones monocristalinas de distinta inclinación

Instalación	Tecnología	Inclinación	Correl. 5 general*Fc	Correl. 7 general*Fc	Super correl. 5	Super correl. 7
La Ronda 1	Monocristalino	30°	2,94%	2,50%	-1,74%	-1,25%
Edificio Cenit	Monocristalino	20°	10,98%	11,20%	0,57%	1,28%
Las Eras	Monocristalino	10°	5,27%	5,21%	-8,60%	-8,38%
Sotillo 10	Monocristalino	30°	8,87%	8,78%	4,25%	4,87%
Intras 1	Monocristalino	15°	3,43%	3,77%	-8,42%	-7,95%
Error medio			6,30%	6,29%	-2,79%	-2,28%

En la tabla se observa que los errores cometidos con las supercorrelaciones son, en general, menores que con las correlaciones generales corregidas. Usando las supercorrelaciones, únicamente dos de las instalaciones presentan errores superiores (en valor absoluto) al 5%. Además, el error medio de las cinco instalaciones es mucho menor con las supercorrelaciones que con las correlaciones generales corregidas.

Representando gráficamente los valores del error medio para cada instalación y correlación se observa cómo funcionan mejor las supercorrelaciones que las correlaciones generales corregidas.

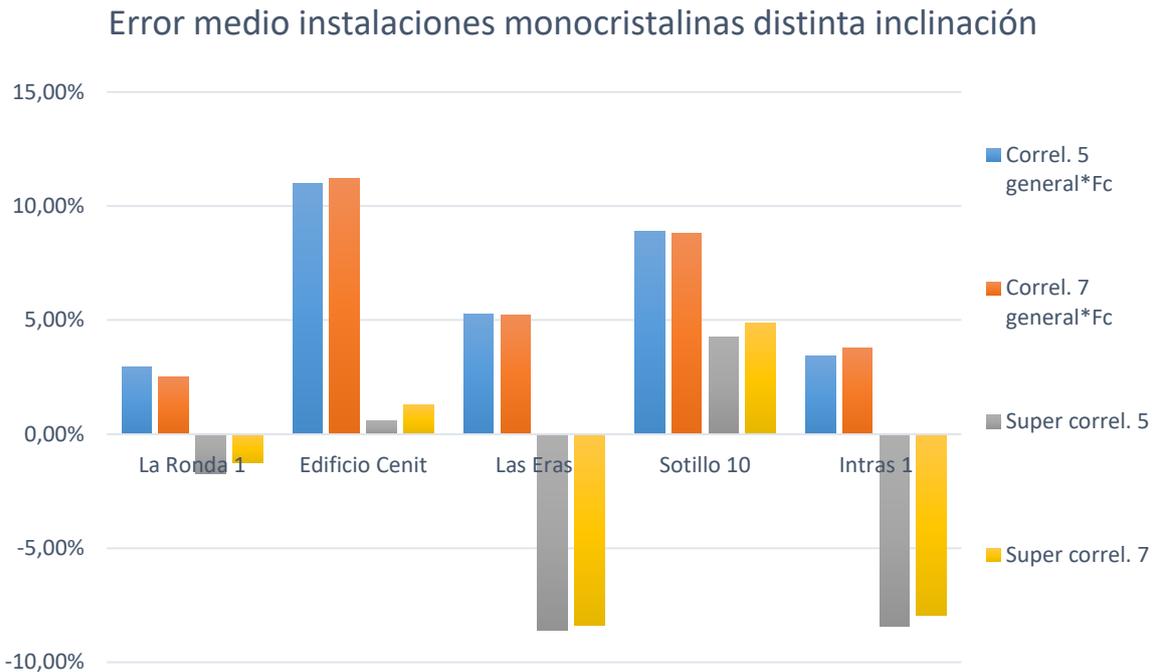


Figura 79: Error medio instalaciones monocristalinas de distinta inclinación

Como **conclusiones** a las comprobaciones de las **super correlaciones** en **instalaciones monocristalinas de distinta inclinación**, se puede afirmar que son adecuadas ya que ofrecen **buenos resultados** en la estimación de la irradiación equivalente en la mayoría de los casos, no ofreciendo errores excesivos en ninguna de las instalaciones estudiadas.

6.6 CONCLUSIONES

Para evaluar la validez de las super correlaciones se han llevado a cabo las comprobaciones de los años 2014 a 2016 en instalaciones de diferente tipología: policristalinas de distinta inclinación, policristalinas a 30°, monocristalinas a 30° y monocristalinas de distinta inclinación. Un resumen de dichas comprobaciones se muestra en la siguiente tabla, junto con los errores cometidos al utilizar las correlaciones generales multiplicadas por el factor de corrección (F_c), que se define como el cociente entre el coseno de 30° y el coseno del ángulo de inclinación de los paneles.

Se debe tener en cuenta que, en el cálculo de las comprobaciones, se cometen principalmente dos errores: por un lado, los parámetros meteorológicos se interpolan con las estaciones SIAR cercanas, por lo que no son exactamente los de la instalación, y por otro lado, las comprobaciones se realizan de forma mensual, cuando las correlaciones y las super correlaciones se han calculado de forma diaria.

Los valores de los errores medios cometidos por instalación se muestran a continuación, señalándose en naranja los errores comprendidos entre el 5 y 10% y en rojo los superiores al 10% (en valor absoluto).

6 Estimación de la producción en instalaciones policristalinas de distinta inclinación

Tabla 61: Resumen de errores relativos mensuales en diferentes instalaciones

Instalación	Tecnología	Inclin.	Correl. 5 general *Fc	Correl. 7 general *Fc	Super correl. 5	Super correl. 7
Cromo 1	Policristalino	14°	13,23%	13,48%	-0,59%	0,03%
Mecerreyes 1	Policristalino	14°	1,55%	0,00%	-12,38%	-13,08%
Renault Motores VA	Poli/Mono	22°	20,11%	20,40%	10,02%	10,86%
Traspinedo 1	Policristalino	20°	13,04%	12,60%	2,22%	2,60%
Royba 1	Policristalino	15°	12,66%	12,87%	-0,08%	0,54%
Camino del Pilón 1	Policristalino	6°	19,84%	19,42%	-0,26%	-0,05%
Mojados 1	Policristalino	30°	-2,55%	-2,61%	-6,71%	-6,13%
Mojados 2	Policristalino	30°	-2,63%	-2,69%	-6,79%	-6,21%
Mojados 4	Policristalino	30°	3,43%	3,37%	-0,99%	-0,38%
Abalhorn 1	Policristalino	30°	-1,85%	-1,92%	-6,05%	-5,47%
Abalhorn 2	Policristalino	30°	-1,53%	-1,59%	-5,74%	-5,16%
Abalhorn 19	Policristalino	30°	-0,98%	-1,04%	-5,21%	-4,62%
Fresno 1	Policristalino	30°	7,72%	7,26%	2,81%	3,34%
Fresno 2	Policristalino	30°	6,51%	6,05%	1,65%	2,17%
Villacidaler	Policristalino	30°	0,03%	-0,90%	-4,48%	-4,47%
Mamblas 1	Policristalino	30°	1,88%	1,01%	-2,87%	-2,67%
Mamblas 2	Policristalino	30°	2,48%	1,60%	-2,30%	-2,10%
Soto 5	Policristalino	30°	12,10%	12,01%	7,35%	7,98%
Soto 6	Policristalino	30°	4,75%	4,67%	0,31%	0,90%
Soto 4	Policristalino	30°	4,25%	4,17%	-0,16%	0,42%
La Trapa	Policristalino	30°	-5,05%	-6,26%	-9,78%	-9,66%
Alija	Policristalino	30°	21,52%	19,62%	15,60%	15,33%
Abalhorn 10	Monocristalino	30°	5,13%	5,06%	0,62%	1,25%
Abalhorn 11	Monocristalino	30°	4,83%	4,76%	0,34%	0,97%
Cordel del Medio 2	Monocristalino	30°	4,43%	4,36%	-0,05%	0,58%
Soto 2	Monocristalino	30°	2,69%	2,61%	-1,67%	-1,09%
Soto 1	Monocristalino	30°	10,53%	10,45%	5,85%	6,48%
La Pedraja 1	Monocristalino	30°	24,51%	24,71%	19,21%	22,52%
La Ronda 1	Monocristalino	30°	2,94%	2,50%	-1,74%	-1,25%
Edificio Cenit	Monocristalino	20°	10,98%	11,20%	0,57%	1,28%
Las Eras	Monocristalino	10°	5,27%	5,21%	-8,60%	-8,38%
Sotillo 10	Monocristalino	30°	8,87%	8,78%	4,25%	4,87%
Intras 1	Monocristalino	15°	3,43%	3,77%	-8,42%	-7,95%
Error medio			6,49%	6,21%	-0,43%	0,10%

En la tabla se observa que en la mayoría de los casos las supercorrelaciones funcionan mejor que las correlaciones generales corregidas, como ya se había visto estudiando individualmente cada tipo de instalación. Los errores medios totales usando las supercorrelaciones son inferiores al 1%, mientras que usando las correlaciones generales corregidas son superiores al 6%.

Además, solo cuatro de 33 instalaciones (el 12,12%) presentan errores superiores al 10% con la supercorrelación n°7 y nueve instalaciones (el 27,27%) tienen errores aceptables comprendidos entre el 5 y el 10%, o lo que es lo mismo, 20 instalaciones (el 60,61%)

presentan errores inferiores al 5% y 29 de estas instalaciones (el 87,88%) tienen errores inferiores al 10%.

Porcentaje de instalaciones según error

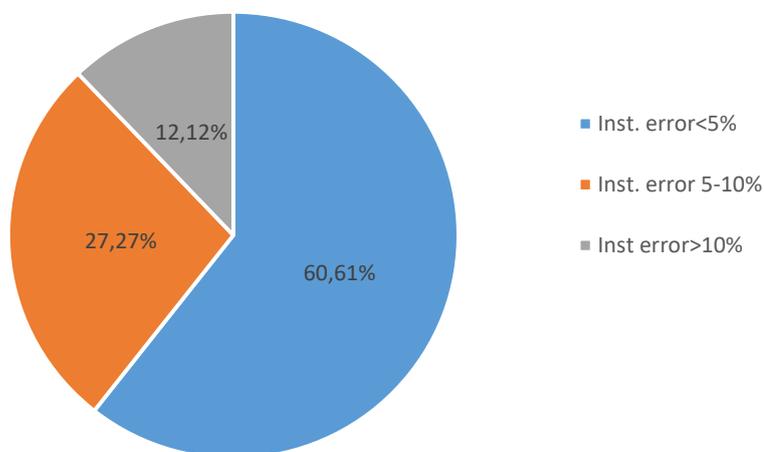


Figura 80: Porcentaje de instalaciones según error con la supercorrelación nº7

Representando el error medio para cada instalación con la correlación general nº7 corregida y con la supercorrelación nº7 se aprecia mejor el comportamiento de ambas.

Errores medios instalaciones estudiadas

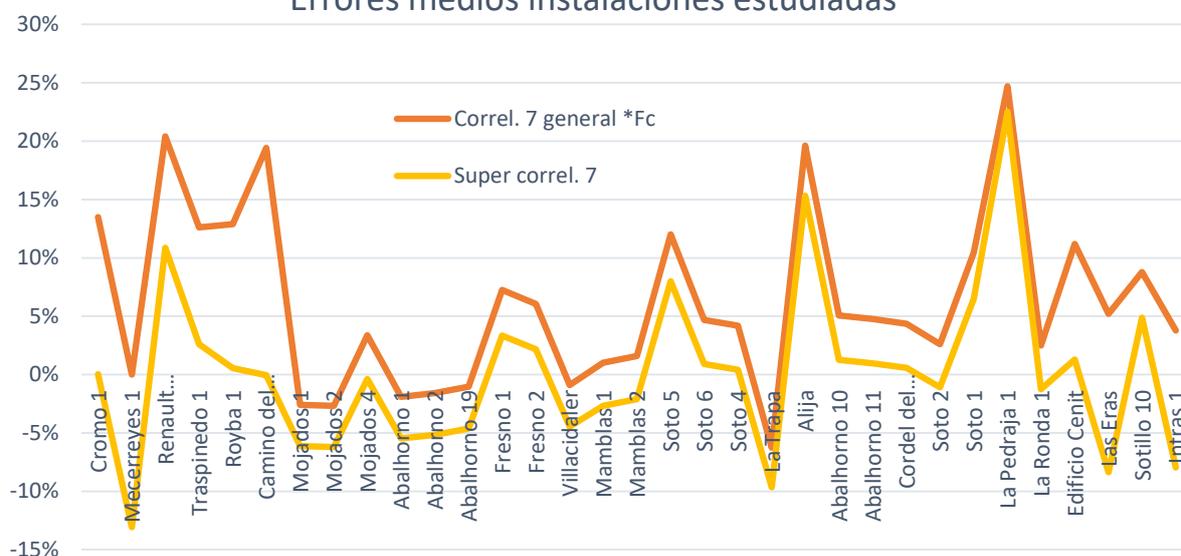


Figura 81: Error medio instalaciones de diferente tipología

Se observa que la supercorrelación ofrece generalmente errores menores, si bien en algunos casos es superior en valor absoluto. Destaca el hecho de que en gran parte de las instalaciones el error con la supercorrelación es negativo, lo que indica que la supercorrelación ha subestimado la irradiación equivalente.

Evaluando todas estas instalaciones individualmente se ha comprobado que las **supercorrelaciones** funcionan mejor que las correlaciones generales corregidas para estimar la irradiación equivalente en instalaciones de distinta inclinación y tipología, ofreciendo valores bastante aproximados en la mayoría de los casos, por lo que se consideran **válidas**

para estimar la irradiación diaria equivalente en instalaciones monocristalinas y policristalinas situadas a diferentes inclinaciones.

Agrupando las instalaciones estudiadas en función de la tecnología e inclinación, se puede comprobar la validez de las supercorrelaciones. Para ello, se muestran los valores medios de los errores para cada tipo de instalación estudiada, calculados como la media de los errores de las instalaciones de cada grupo.

Tabla 62: Resumen de errores relativos mensuales en por tipo de instalación

Instalación		Correl. 5 general*Fc	Correl. 7 general *Fc	Super correl. 5	Super correl. 7
Tecnología	Inclinación				
Policristalino	Varias	13,40%	13,13%	-0,18%	0,15%
Policristalino	30°	3,13%	2,67%	-1,46%	-1,05%
Monocristalino	30°	8,69%	8,66%	4,05%	5,12%
Monocristalino	Varias	6,30%	6,29%	-2,79%	-2,28%
Error medio		7,88%	7,69%	-0,09%	0,48%

En la tabla se observa que solo un grupo de instalaciones (monocristalinas de varias inclinaciones) presentan un error superior al 5% con la supercorrelación n°7, siendo el error del 5,12%, valor aceptable. Sin embargo, usando las correlaciones generales corregidas los errores son superiores al 5% en 3 de los 4 grupos, lo que demuestra que es más correcto el uso de las supercorrelaciones. Los errores medios se muestran gráficamente en la siguiente figura:

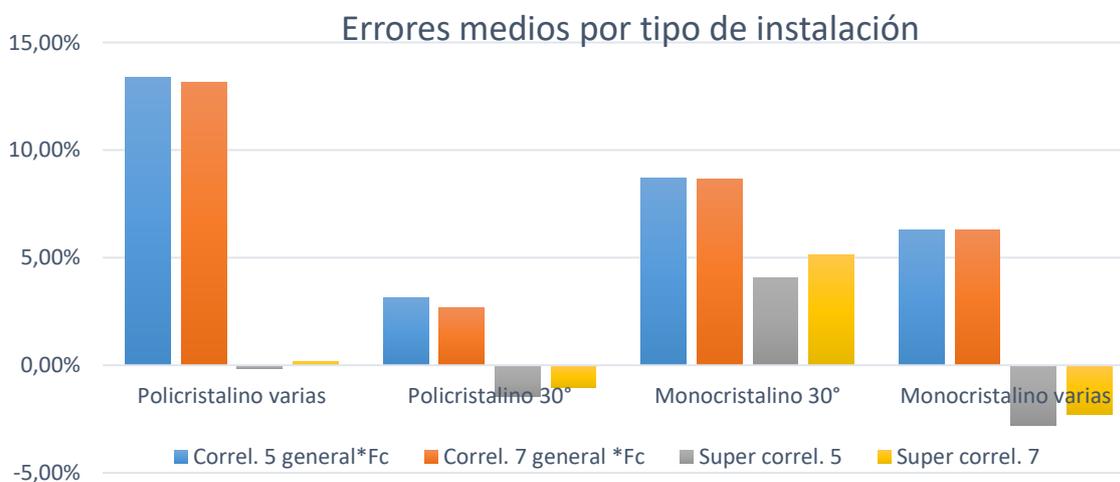


Figura 82: Error medio instalaciones por tipo de instalación

Realizadas todas las comprobaciones y el análisis de las mismas, se puede concluir que las **supercorrelaciones** son adecuadas para estimar la irradiación equivalente y por tanto la producción de distintas instalaciones fotovoltaicas, ya que predicen con gran **exactitud** la irradiación equivalente en la mayoría de los casos estudiados. Para predecir la producción de las instalaciones analizadas, lo más preciso es utilizar las correlaciones específicas de cada instalación, mientras que para instalaciones no estudiadas el uso de las supercorrelaciones supone una correcta estimación.

6.7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

A continuación se muestra la producción real y la producción estimada para la instalación Edificio Cenit en los años 2014 a 2016.

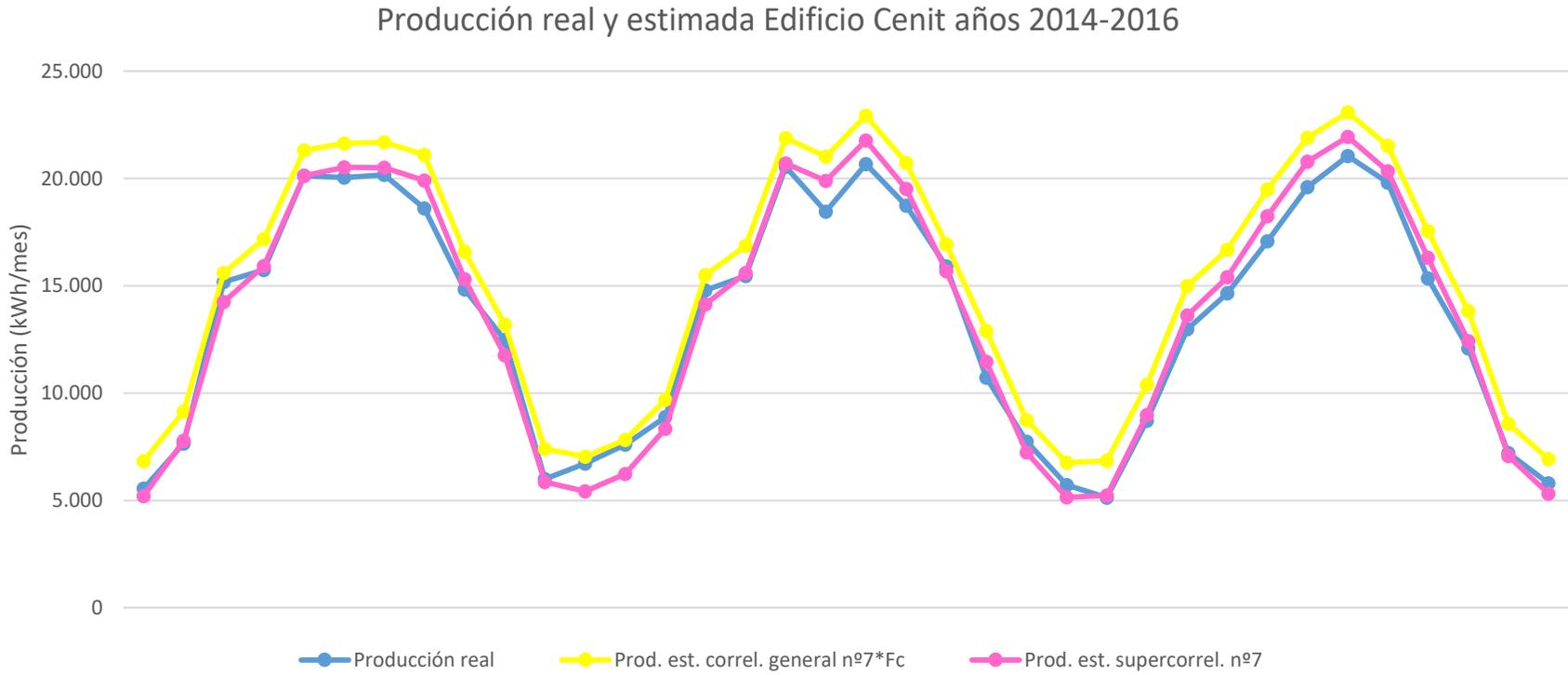


Figura 83: Producción real y estimada Edificio Cenit años 2014-2016

7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN INSTALACIONES AMORFAS

7.1 INSTALACIONES ESTUDIADAS

Para estimar la producción fotovoltaica de instalaciones con **paneles amorfos** se van a estudiar **dos instalaciones** de paneles de telururo de cadmio entre los años 2013 y 2016. Estas instalaciones están situadas en Castilla y León, concretamente en la provincia de Valladolid. (Figura 84)

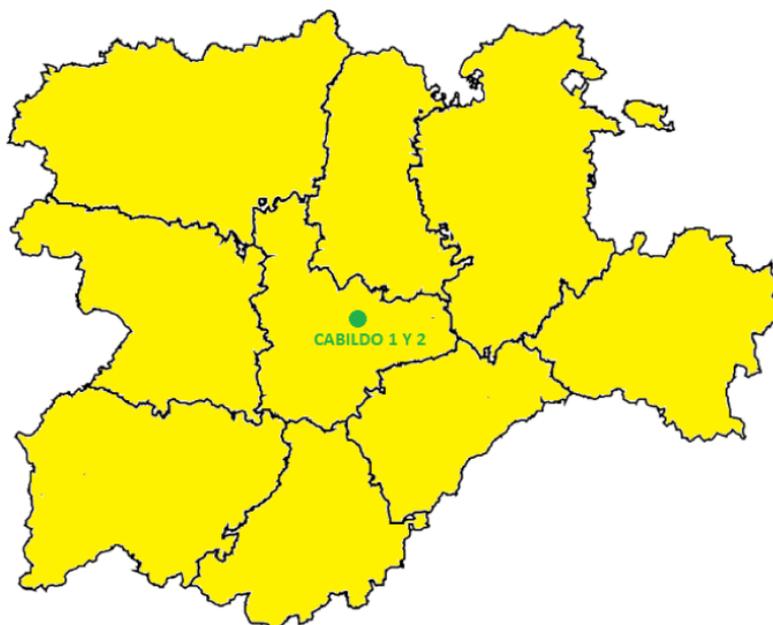


Figura 84: Ubicación de las instalaciones amorfas

Estas instalaciones tienen los paneles colocados a 15° de inclinación y potencias nominales de 2000kW y 1000kW. Únicamente se dispone de datos de estas dos instalaciones amorfas, por lo que el estudio no es muy general pero permite ver el comportamiento de los paneles amorfos. Las características de las instalaciones analizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 63: Instalaciones amorfas estudiadas

Instalación		Localidad	Provincia	Tecnología	Tipología	Pot. nominal (kW)	Pot. pico (kW)
Instalación 23	Cabildo 1	Valladolid	Valladolid	Amorfo Cds/CdTe	Fija 15°	2000	2268
Instalación 24	Cabildo 2	Valladolid	Valladolid	Amorfo Cds/CdTe	Fija 15°	1000	1018,6

7.2 ESTACIONES SIAR CONSULTADAS

Para obtener los valores de las variables meteorológicas utilizados se consultarán las estaciones SIAR que estén en un radio inferior a 10 kilómetros de cada instalación, como se indicó en el apartado 3.2.3. Las estaciones SIAR usadas se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 64: Estaciones SIAR consultadas para las instalaciones amorfas

Instalación		Localidad	Estación SIAR	Distancia (km)
Instalación 23	Cabildo 1	Valladolid (VA)	Finca Zamadueñas	5,25
Instalación 24	Cabildo 2			

La localización de la estación SIAR a consultar para estimar la producción de las instalaciones amorfas estudiadas se muestra en la figura 85.

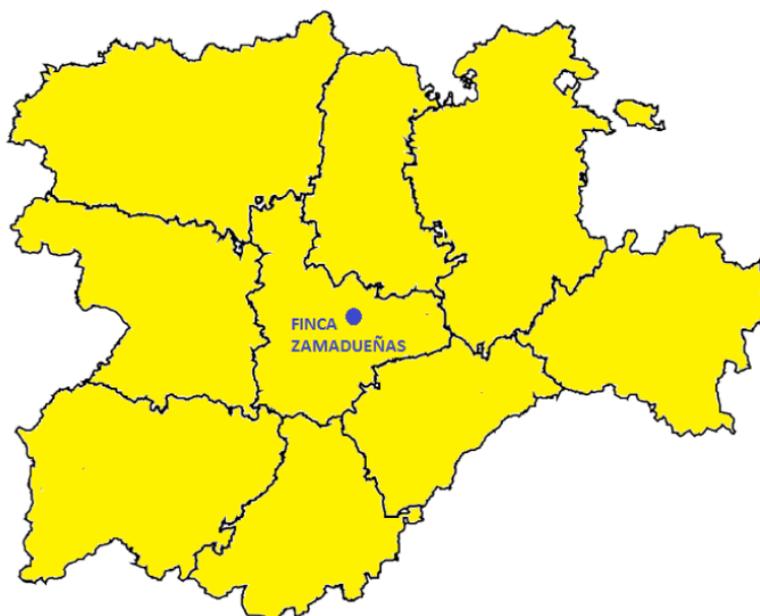


Figura 85: Ubicación de las estaciones SIAR consultadas para las instalaciones amorfas

7.3 EXTRAPOLACIÓN DE LAS SUPERCORRELACIONES

Para estimar la producción de las instalaciones amorfas se extrapolarán las supercorrelaciones nº5 y nº7 calculadas en el Capítulo 6. De esta forma, se comprobará si son válidas para instalaciones con tecnología amorfa.

Los coeficientes de las supercorrelaciones calculadas en el Capítulo 6 que ahora se extrapolarán se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 65: Coeficientes de las supercorrelaciones que se extrapolarán a instalaciones amorfas

Tipo de correlación	Supercorrelación nº5					Supercorrelación nº7		
	$H_{eq\ est} = cte + A \cdot Temp + B \cdot Rad. + C \cdot \sqrt{Rad} + D \cdot \cos \alpha$					$H_{eq\ est} = cte + A \cdot \sqrt{Rad} + B \cdot \cos \alpha$		
	cte	A	B	C	D	cte	A	B
SUPERCORRELACIÓN	16,66	-0,04	0,28	2,05	-7,61	5,39	2,82	-7,77

Por tanto, la **metodología** empleada para calcular la irradiación diaria equivalente estimada (H_{eq}) de las instalaciones amorfas consiste en sustituir los valores de las variables meteorológicas en las supercorrelaciones nº5 y nº7. Los valores obtenidos de irradiación estimada se compararán con los de la irradiación equivalente real, calculados con los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel, para determinar los errores cometidos y evaluar la validez de la extrapolación de las correlaciones.

7.3.1 Comprobación de las extrapolaciones

A continuación se resumen las **comprobaciones mensuales** llevadas a cabo para valorar la idoneidad de la extrapolación de las correlaciones.

Se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual y la irradiación equivalente estimada mensual con las correlaciones propuestas, para así calcular los errores relativos entre la irradiación estimada y la real.

Para cada instalación, se han calculado las supercorrelaciones nº5 y nº7. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 66: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones amorfas con las supercorrelaciones

Instalación	Tecnología	Inclinación	Super correl. 5	Super correl. 7
Cabildo 1	Amorfo	Fija 15º	-3,90%	-3,20%
Cabildo 2	Amorfo	Fija 15º	-10,22%	-9,57%
Error medio			-7,06%	-6,39%

Los **errores** cometidos extrapolando las supercorrelaciones son **elevados** en el caso de Cabildo 2, siendo la media de las dos instalaciones de en torno al -7%.

7.3.2 Conclusiones

El error medio de Cabildo 1 está por debajo del 5% (en valor absoluto), pero este buen resultado es debido a la compensación de errores positivos (menores del 5%) y negativos (de hasta el -14%) en los años estudiados. En el caso de Cabildo 2 también existe **gran variedad en los errores**, desde -16% hasta -2%. Esto se observa mejor viendo los errores de cada año para cada instalación con la supercorrelación nº7.

Tabla 67: Error anual con la supercorrelación 7 en instalaciones amorfas

Año	Supercorrel. 7 Cabildo 1	Supercorrel. 7 Cabildo 2
2013	-14,36%	-16,82%
2014	-6,01%	-12,91%
2015	4,55%	-5,90%
2016	3,00%	-2,64%
Error medio	-3,20%	-9,57%

Viendo los errores año a año se aprecia que en los años 2013 y 2014 la estimación no es tan buena como para otros tipos de instalaciones, pues los errores son grandes. Sin embargo, para los años 2015 y 2016 los errores son aceptables, menores en general del 5%, por lo que las supercorrelaciones funcionan bien estos dos años. Esto se ve mejor representando gráficamente los valores de la tabla anterior.

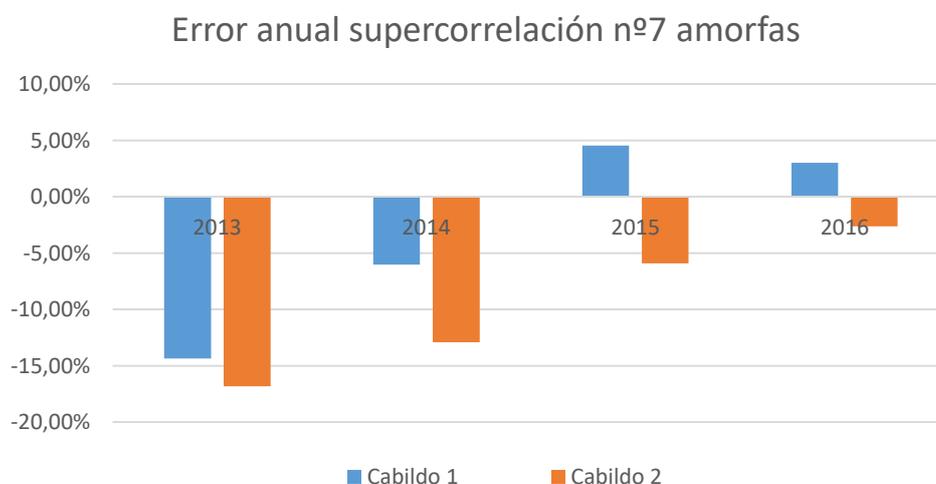


Figura 86: Error anual supercorrelación nº7 instalaciones amorfas

En la figura se ve la tendencia de disminuir el error en los últimos años, siendo los valores de 2015 y 2016 aceptables. No obstante, los resultados de los dos primeros años hacen considerar como **no aceptable** la extrapolación de las supercorrelaciones para el global de los años estudiados, por lo que se calcularán correlaciones específicas para cada instalación amorfa y para el conjunto de las dos. Así mismo, se deben estudiar los próximos años para determinar cómo evoluciona la estimación de las supercorrelaciones.

7.4 CÁLCULO DE LAS CORRELACIONES AMORFAS

Una vez que se ha comprobado que la extrapolación de las supercorrelaciones no ofrece resultados aceptables, se calcularán las **correlaciones específicas amorfas**, por un lado las individuales de cada instalación en el global de los años 2013-2016, y por otro lado las generales amorfas, que en este caso coinciden con las de la ubicación, y que se calculan evaluando conjuntamente los datos de las dos instalaciones en los cuatro años estudiados.



Figura 87: Esquema de las correlaciones calculadas para las instalaciones amorfas

De esta forma, se calcularán las **correlaciones n°5 y n°7** propuestas en el Capítulo 3, siguiendo la **metodología** de los capítulos anteriores, que consiste en calcular la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada (H_{eq}) a partir de los datos de producción, los rendimientos del panel y del inversor y la superficie del panel.

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}}$$

Después se relacionan los valores diarios de las variables meteorológicas de forma que se ajusten a los resultados obtenidos de irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada, mediante una regresión múltiple.

$$H_{eq} = \frac{E_p}{\eta_{inv\ ref} \cdot \eta_{panel\ ref} \cdot S_{panel}} = f(T, H)$$

Siguiendo este procedimiento se han obtenido las correlaciones amorfas recogidas en el Anexo 6: Correlaciones específicas y generales globales n°5 y n°7 para instalaciones amorfas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 15° y cuyos coeficientes se muestran en la siguiente tabla.

7 Estimación de la producción en instalaciones amorfas

Tabla 68: Coeficientes de las correlaciones nº5 y nº7 amorfas

Tipo de correlación	Planta	Ubicación	Correlación nº5				Correlación nº7	
			$H_{eq\ est} = cte + A.Temp + B.Rad. + C.\sqrt{Rad}$				$H_{eq\ est} = cte + A.\sqrt{Rad}$	
			cte	A	B	C	cte	A
INSTALACIÓN	Cabildo 1	Valladolid	4,39	-0,02	0,10	2,64	-1,91	2,84
	Cabildo 2	Valladolid	6,74	-0,03	0,20	2,55	-2,11	3,07
GENERAL=UBICACIÓN	Correl. general amorfos=Correl. ubicación Cabildo		5,81	-0,03	0,13	2,65	-2,00	2,94

- **Análisis de la validez** de las correlaciones amorfas
 - T de Student y F de Snedecor para las correlaciones amorfas

Tabla 69: Estadísticos t y F correlación 5 amorfas

Tipo de correlación	t de Student/significación						F Snedecor/sign.	
	Temperatura		Irradiación		Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor	t	p-valor	t	p-valor		
Cabildo 1	-6,82	0,00	2,42	0,02	17,38	0,00	5257,53	0,00
Cabildo 2	-7,23	0,00	3,80	0,00	12,94	0,00	3682,96	0,00
Amorfos	-9,15	0,00	3,53	0,00	19,01	0,00	6684,01	0,00

Tabla 70: Estadísticos t y F correlación 7 amorfas

Tipo de correlación	t de Student/sign.		F Snedecor/sign.	
	Irradiación^(1/2)		F	p-valor
	t	p-valor		
Cabildo 1	123,51	0,00	15254,27	0,00
Cabildo 2	102,95	0,00	10597,60	0,00
Amorfos	139,34	0,00	19414,48	0,00

En las tablas de los estadísticos t y F para las correlaciones amorfas se puede ver que todas las variables son individualmente significativas, así como las correlaciones de forma global.

- R-cuadrado, rmse y mbe para las correlaciones amorfas

Tabla 71: R-cuadrado, rmse y mbe correlaciones amorfas

Correlación	Instalación	R^2	rmse	mbe
Correlación nº5	Cabildo 1	91,58%	18,28	6,77E-01
	Cabildo 2	88,45%	21,42	9,49E-01
	Amorfos	87,32%	20,38	3,35E-01
Correlación nº7	Cabildo 1	91,31%	18,53	6,84E-01
	Cabildo 2	88,00%	21,74	9,50E-01
	Amorfos	86,95%	20,66	3,39E-01

Los valores de R-cuadrado son superiores al 91% para Cabildo 1, al 88% para Cabildo 2 y al 86% para las dos de forma conjunta, lo que supone que las correlaciones calculadas reproducen gran parte de los datos estudiados. En cuanto a las desviaciones, se observa que son mayores que en el caso de las correlaciones policristalinas y las supercorrelaciones, estando el rmse en torno a 20 y el mbe del orden de décimas, siendo en los otros casos de milésimas.

7.5 COMPROBACIÓN DE LAS CORRELACIONES AMORFAS

A continuación se resumen las **comprobaciones mensuales** llevadas a cabo para valorar la validez de las correlaciones amorfas para la estimación de la irradiación equivalente.

Se determinará la temperatura e irradiación medias diarias de cada mes, la irradiación equivalente real mensual, y la irradiación equivalente estimada mensual de los años 2013 a 2016, para así calcular los errores relativos entre la irradiación estimada y la real con las correlaciones específicas y amorfas, que son iguales a los errores entre la producción estimada y la real. Además se muestran también los valores de los errores con la extrapolación de las supercorrelaciones para observar como varía en el caso de la estimación con las correlaciones amorfas. Se muestran en rojo los valores del error relativo superior al 5%.

Tabla 72: Resumen de errores relativos mensuales instalaciones amorfas

Instalación	Tecnología	Inclinación	Super correl. 5	Super correl. 7	Correl. 5 instalación	Correl. 7 instalación	Correl. 5 amorfos	Correl. 7 amorfos
Cabildo 1	Amorfo	Fija 15º	-3,90%	-3,20%	2,81%	2,95%	5,93%	6,13%
Cabildo 2	Amorfo	Fija 15º	-10,22%	-9,57%	2,75%	3,08%	-1,03%	-0,84%
Erro medio			-7,06%	-6,39%	2,78%	3,02%	2,45%	2,64%

Las correlaciones amorfas específicas de cada instalación son las que más se aproximan a los valores reales, ya que sus errores son los menores. No obstante, los errores anuales con las correlaciones específicas de la instalación son muy diferentes en los años estudiados, existiendo valores del 10% al -8% (Tabla 73). Las correlaciones generales de amorfos también presentan buenos resultados, siendo para Cabildo 1 ligeramente superiores al 5% y para Cabildo 2 en torno al -1%.

Representando gráficamente los valores del error medio para cada instalación y correlación se puede ver cómo disminuyen usando las correlaciones específicas de la instalación. Destaca el caso de Cabildo 1, en el que los mayores errores se producen al utilizar las correlaciones de amorfos.

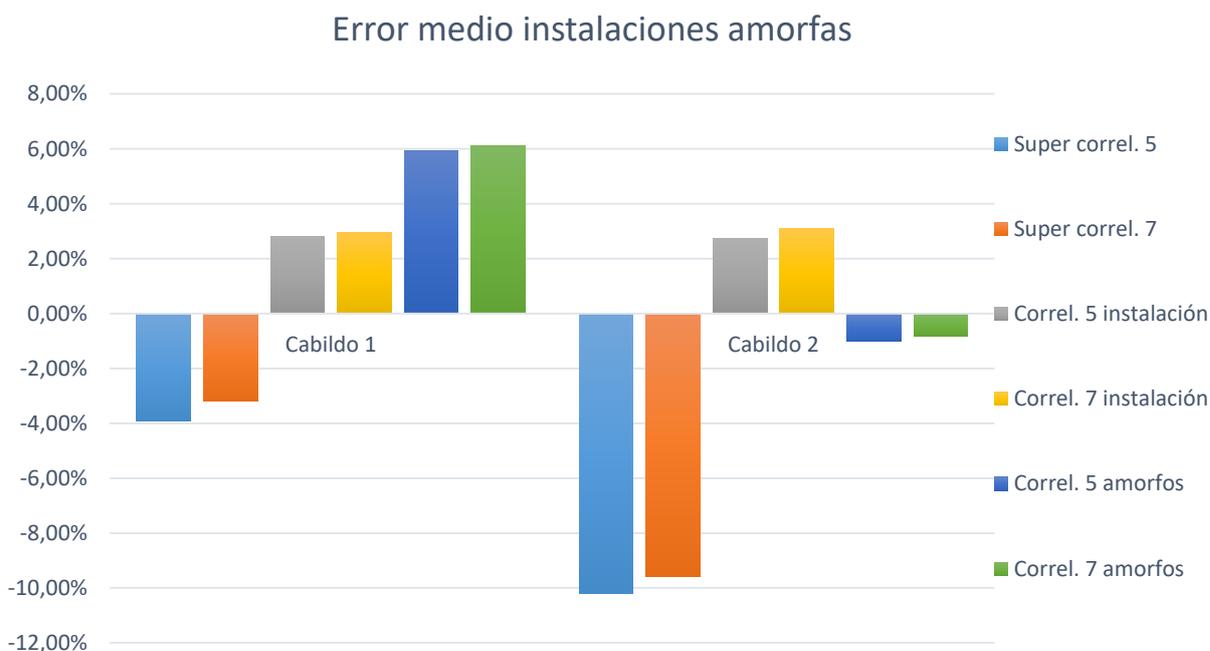


Figura 88: Error medio instalaciones amorfas

7.6 CONCLUSIONES

Como se vio en el caso de las supercorrelaciones, existe gran variedad en los errores, por lo que se evaluarán los errores anuales usando la correlación n°7 amorfa y la correlación n°7 de la instalación para las dos instalaciones amorfas.

Tabla 73: Error anual con la correlación n° 7 amorfos

Año	Correl. 7 amorfos Cabildo 1	Correl. 7 amorfos Cabildo 2	Correl. 7 instalación Cabildo 1	Correl. 7 instalación Cabildo 2
2013	-5,81%	-8,52%	-8,61%	-4,94%
2014	3,07%	-4,49%	-0,01%	-0,72%
2015	14,36%	2,93%	10,93%	7,03%
2016	12,90%	6,71%	9,51%	10,96%
Error medio	6,13%	-0,84%	2,95%	3,08%

Observando los errores anuales se mantiene la tendencia en relación a la **diversidad de los errores** que se había visto con la extrapolación de las supercorrelaciones. Con las correlaciones amorfas, en el caso de Cabildo 2 los errores son aceptables en los cuatro años, pero en la instalación Cabildo 1 existen dos años con errores superiores al 10%, por lo que la estimación para esos años no es aceptable. Esta variedad de errores se ve claramente representando gráficamente los valores de la correlación n°7 de amorfos de la tabla anterior. En cuanto a las correlaciones de las instalaciones, solo en un año son ambos menores del 5%, siendo el resto de años muy variados (desde el -8% al 10%).

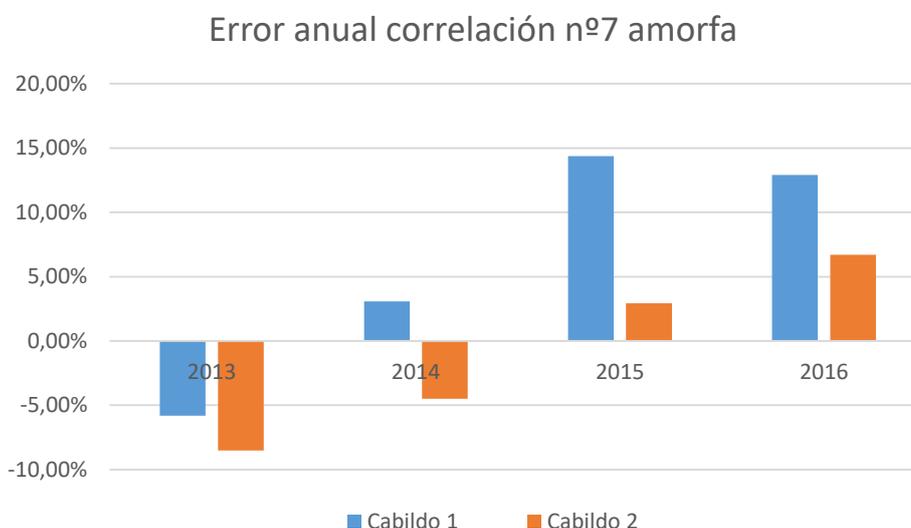


Figura 89: Error anual correlación n°7 amorfa instalaciones amorfas

De nuevo se aprecia esa variación de los errores, tanto en magnitud como en signo, lo que demuestra que las correlaciones desarrolladas no se ajustan con exactitud en los cuatro años estudiados.

Representando gráficamente las correlaciones n°7 de las instalaciones, la general amorfa y la supercorrelación se observa que todas ellas presentan distinto comportamiento. Para ello se

7 Estimación de la producción en instalaciones amorfas
 representan las correlaciones para valores de irradiación (H) comprendidos entre 0 y 10 kWh/(m².día).

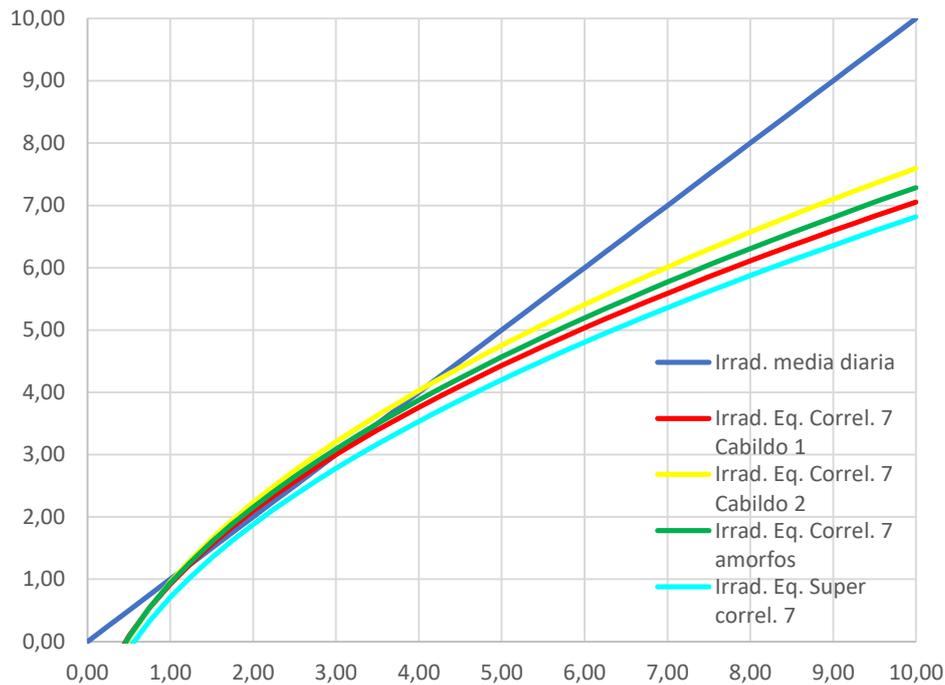


Figura 90: Comparación de la irradiación equivalente estimada por cada correlación

Viendo la representación, se confirma la variación en la irradiación equivalente estimada por cada correlación, destacando la diferencia en la estimación entre las correlaciones específicas de las instalaciones Cabildo 1 y Cabildo 2. Lógicamente, la estimación de la correlación de amorfos está entre las de las dos instalaciones, pero para algunos años no predice bien la irradiación equivalente debido a esa diferencia entre las dos instalaciones. Además, ambas instalaciones presentan en los años 2014 y 2015 un **descenso** en la **producción** en los meses de **verano**, en los que debería aumentar. Aunque en estos años la estimación se ajuste bastante a la realidad (excepto en Cabildo 1 en 2015), la inclusión de estos años en el cálculo de las correlaciones hace que estas no estimen bien la irradiación equivalente en los años normales. La irradiación equivalente real y estimada para el año 2014 en Cabildo 2 y para el año 2015 en Cabildo 1 se muestra en las siguientes figuras.

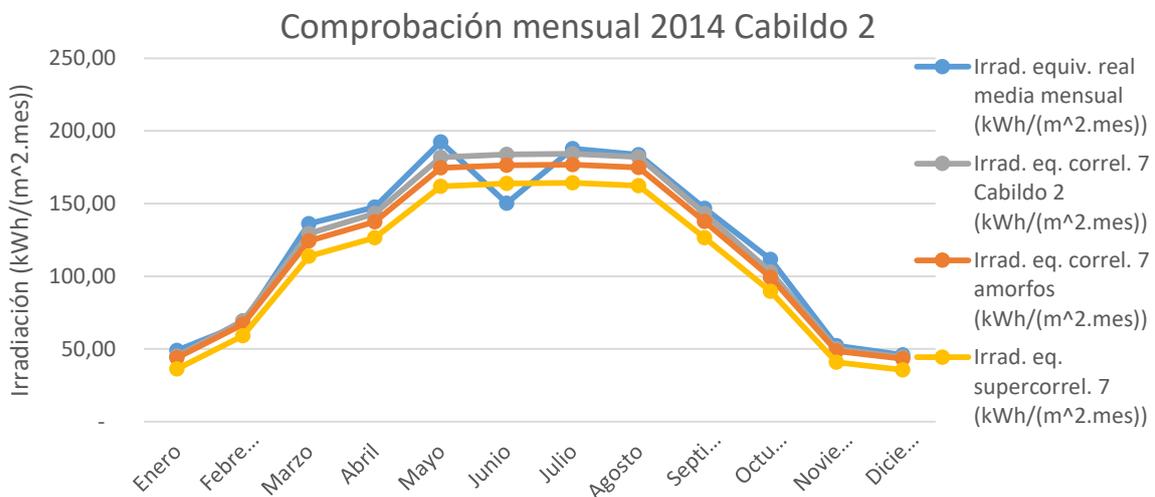


Figura 91: Comprobación mensual año 2014 Cabildo 2

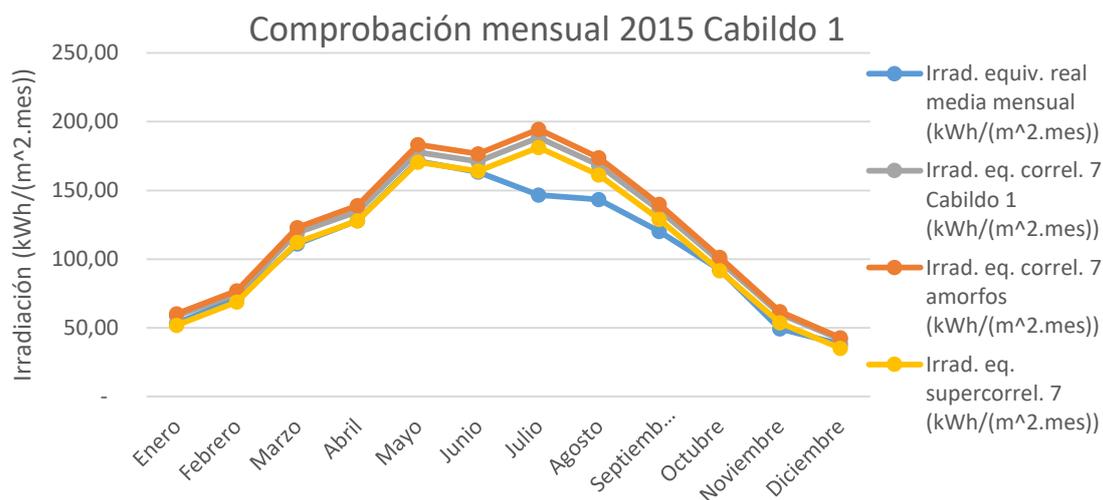


Figura 92: Comprobación mensual año 2015 Cabildo 1

Estas circunstancias, unidas a los pocos datos disponibles (cuatro años de solo dos instalaciones), hacen que **no se puedan obtener resultados concluyentes** en cuanto a la estimación de la irradiación equivalente en instalaciones amorfas. Otros aspectos que pueden influir son la diferencia de 1000kW en la potencia nominal de las instalaciones (Cabildo 1 tiene 2000kW; recordemos que Renault Motores VA tiene esa potencia y la estimación funciona mal, si bien la supercorrelación se calculó con instalaciones de menor potencia y en este caso las dos instalaciones son de 1000kW o más), la tecnología de los paneles (los paneles amorfos no se ven tan afectados por la sombra y la temperatura), la marca y modelo de los paneles y la ubicación de las instalaciones. No obstante, estas circunstancias deberían afectar de igual forma en todos los años estudiados, por lo que no deberían ser la causa de las variaciones de producción.

Por tanto, se debe estudiar el comportamiento de estas instalaciones en los próximos años y, a ser posible, de otras instalaciones amorfas situadas en otra ubicación, para observar la tendencia de la producción de este tipo de instalaciones y establecer las correlaciones adecuadas para la estimación de la irradiación diaria equivalente.

7.7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

A continuación se muestra la producción real y la producción estimada para la instalación Cabildo 2 en los años 2013 a 2016.

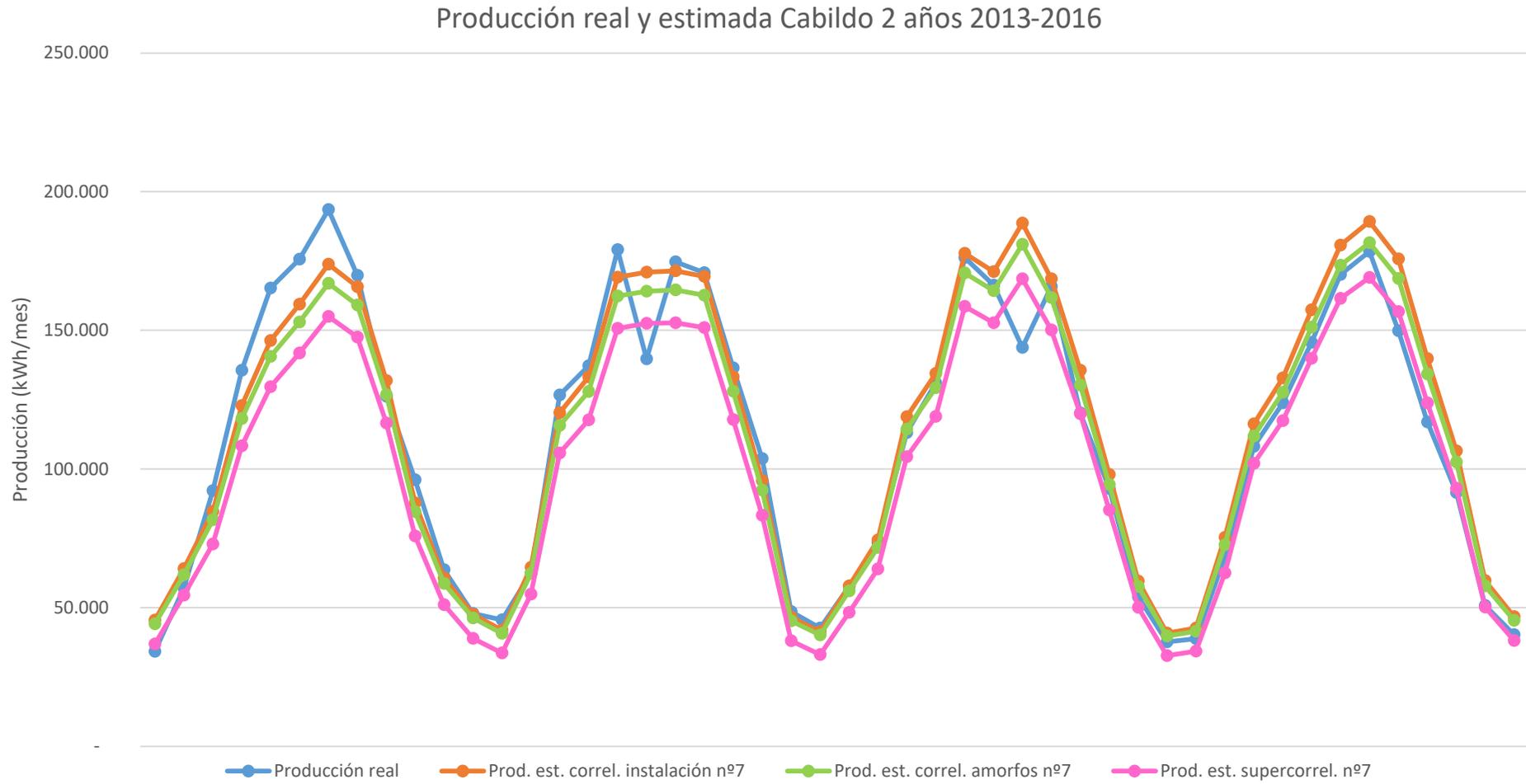


Figura 93: Producción real y estimada Cabildo 2 años 2013-2016

8 CONCLUSIONES

8.1 INTRODUCCIÓN

Para resumir el trabajo realizado y los resultados obtenidos se exponen en este capítulo las conclusiones (generales y específicas), que se valoran haciendo referencia a los objetivos establecidos en el Capítulo 1. Así mismo se enumeran una serie de puntos a desarrollar en estudios futuros basados en este Trabajo de Fin de Máster.

8.2 CONCLUSIONES GENERALES

El principal objetivo de este trabajo ha sido **establecer una relación entre la producción de instalaciones fotovoltaicas y las variables meteorológicas y la irradiación diaria**.

Esto se ha llevado a cabo mediante el cálculo de la **irradiación diaria equivalente** sobre superficie inclinada, a partir de los datos de producción y de las características de la instalación (rendimiento del panel, rendimiento del inversor y superficie del panel). Los valores de irradiación diaria equivalente así obtenidos se han correlacionado con las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento e irradiación) mediante una regresión múltiple, obteniéndose siete tipos de regresiones de distinto grado de complejidad. Para analizar la validez global de las correlaciones y la individual de las variables incluidas en las correlaciones se han calculado varios **estadísticos** (t de Student, F de Snedecor, R-cuadrado, rmse y mbe). De esta forma se han elegido **dos correlaciones** (la nº5 y la nº7) **que son las más idóneas** para estimar la irradiación diaria equivalente y, por consiguiente, la producción fotovoltaica a partir de parámetros meteorológicos.

Las comprobaciones basadas en los valores de producción diarios han demostrado que las correlaciones elegidas son las que menor error cometen en la estimación de la irradiación. Al mismo tiempo, estas correlaciones tienen un **nivel muy aceptable de complejidad y dependencia de valores meteorológicos y de radiación**. De hecho, la correlación nº7 solo depende de la **irradiación diaria sobre superficie horizontal**, mientras que la nº5 depende además del valor **medio diario de la temperatura ambiente**. Es decir, si se dispone de los valores medios diarios de la temperatura ambiente y de la irradiación diaria sobre superficie horizontal (o incluso solo de esta última), es posible estimar la producción de una instalación fotovoltaica en la ubicación correspondiente a los datos.

Además, se han calculado las **correlaciones específicas que son válidas para instalaciones policristalinas y amorfas**, de tal forma que puedan usarse para predecir la producción de esas instalaciones con gran exactitud, además de servir para detectar posibles fallos de producción o medición. Así mismo, se han calculado **correlaciones generales que son válidas para instalaciones policristalinas y monocristalinas con paneles a 30° de inclinación**, que son útiles para estimar la producción de otras instalaciones (existentes o futuras) con la misma inclinación. También se han desarrollado unas **super correlaciones**, que incluyen como variable adicional la **inclinación de los paneles**, para estimar la producción de instalaciones policristalinas o monocristalinas situadas a cualquier inclinación, conociendo únicamente sus principales características (inclinación, rendimientos de panel e inversor y superficie del panel). Así, se puede predecir la producción de instalaciones estudiadas, de instalaciones existentes no estudiadas y de futuras instalaciones.

Para desarrollar las correlaciones se han estudiado **un total de 35 instalaciones situadas en Castilla y León**, cuyos datos de producción y características han sido facilitados por la empresa SMI HISPANIA. Los valores diarios de las variables meteorológicas usadas se han obtenido del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), interpolando los valores de cada ubicación a partir de los valores de las estaciones SIAR disponibles.

Las **principales aportaciones** realizadas en este Trabajo de Fin de Máster respecto a los trabajos anteriores (citados como antecedentes en el Capítulo 1) son: ampliación del número de instalaciones y de años de producción considerados, análisis más exhaustivo de la

extensión de las correlaciones de paneles policristalinos a instalaciones monocristalinas, estudio del efecto de la inclinación sobre las predicciones, con obtención de una correlación que incluye el efecto de la inclinación, y estudio de instalaciones con células amorfas.

Las conclusiones específicas de estas aportaciones se detallan en el siguiente apartado

8.3 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

8.3.1 Estimación de la producción de instalaciones policristalinas a 30°

Para estimar la producción de instalaciones con paneles policristalinos a 30° de inclinación, se han estudiado 16 instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León entre los años 2010 y 2016. Se han calculado las correlaciones específicas de cada instalación y ubicación y las correlaciones generales. Después de desarrollar y comprobar el funcionamiento de siete correlaciones distintas, se han elegido como correlaciones más idóneas las correlaciones nº5 (que depende de la temperatura media diaria y de la irradiación diaria) y nº7 (que depende solo de la irradiación diaria sobre superficie horizontal), ya que son las que mejor predicen la irradiación equivalente, su cálculo es sencillo y los estadísticos estudiados presentan valores aceptables.

Tras comparar la irradiación equivalente real con la estimada se ha determinado que **el error cometido es por lo general menor del 5%**, lo que supone una estimación suficientemente exacta de la producción. Además, los valores de los estadísticos analizados indican que las correlaciones son válidas y significativas, siendo las desviaciones aceptables. Por consiguiente se ha logrado estimar satisfactoriamente la producción de instalaciones policristalinas que tienen 30° de inclinación.

Además se ha demostrado que las comprobaciones basadas en **valores mensuales** suponen un **error pequeño** frente a las comprobaciones basadas en **valores diarios**, por lo que se ha optado por realizar las comprobaciones mensuales para el resto de instalaciones estudiadas.

8.3.2 Estimación de la producción de instalaciones monocristalinas a 30° mediante la extrapolación de las correlaciones policristalinas

Para ampliar el uso de las correlaciones generales policristalinas calculadas, se ha comprobado su validez en **instalaciones monocristalinas con la misma inclinación**. Para ello se han estudiado seis instalaciones, tres de ellas con resultados de producción entre 2013 y 2016 y otras tres entre 2014 y 2016, todas ellas localizadas en Castilla y León. Tras comparar la irradiación equivalente real y estimada se ha determinado que el **error cometido** es por lo general **menor del 5%**, si bien dos instalaciones tienen errores superiores, lo que supone una estimación válida de la producción de las instalaciones monocristalinas. Por tanto, se ha comprobado que las **correlaciones generales policristalinas son extrapolables a instalaciones monocristalinas de igual inclinación**, ya que predicen correctamente la producción.

8.3.3 Estimación de la producción de instalaciones policristalinas y monocristalinas de cualquier inclinación

Debido a que existen instalaciones fotovoltaicas semejante pero con distinta inclinación, se planteó la posibilidad de **extrapolar las correlaciones generales policristalinas** (válidas para instalaciones policristalinas y monocristalinas a 30°) **para estimar la producción de instalaciones situadas a cualquier inclinación**. Se ha comprobado que la extrapolación directa de estas correlaciones **no genera resultados aceptables** en instalaciones de otras inclinaciones, ni siquiera aplicando un coeficiente de corrección en función de la inclinación.

Por tanto, se optó por desarrollar las denominadas ‘**supercorrelaciones**’, que incluyen una variable significativa adicional que es la inclinación de los módulos. Tras analizar los estadísticos correspondientes y realizar las comprobaciones de la irradiación diaria equivalente real y estimada en 33 instalaciones de distinta tecnología e inclinación, se concluye que estas **supercorrelaciones son en general válidas para instalaciones monocristalinas y policristalinas de cualquier inclinación**, ya que estiman de forma bastante exacta la irradiación equivalente y por tanto la producción, siendo el error inferior al 10 % en casi el 90% de los casos analizados.

8.3.4 Estimación de la producción de instalaciones amorfas

Para estudiar el comportamiento de las instalaciones amorfas, solo se ha dispuesto de datos de dos instalaciones situadas en Castilla y León, lo que supone un análisis reducido del comportamiento de este tipo de paneles, por lo que los resultados obtenidos son más bien específicos de las instalaciones estudiadas que generales de los paneles amorfos.

En primer lugar se ha tratado de extrapolar las supercorrelaciones, obteniéndose errores muy variados cercanos en ocasiones al 10%, por lo que se ha optado por calcular correlaciones específicas con los datos de las dos instalaciones amorfas. Al realizar las comprobaciones con las correlaciones amorfas se obtienen errores medios menores del 5%, si bien son resultado de la compensación de errores positivos y negativos que en algunos casos llegan al 10%. Así pues, aunque las correlaciones amorfas predicen mejor la irradiación equivalente que las supercorrelaciones, sus resultados no son globalmente satisfactorios, por lo que **se hace necesario ampliar el estudio de las instalaciones amorfas a más instalaciones y años**, con el fin de obtener unas correlaciones que se adapten mejor a este tipo de tecnología.

8.4 DESARROLLO FUTUROS

A continuación se enumeran una serie de ideas a considerar en trabajos futuros relacionados con la estimación de la producción de instalaciones fotovoltaicas a partir de variables meteorológicas, de forma que supongan una mejor estimación y un análisis más completo del tema que en este trabajo se ha estudiado.

- Ampliar el estudio incluyendo más instalaciones y años, para poder obtener resultados más generales. Esto es especialmente apropiado en el caso de instalaciones con paneles amorfos, ya que en este trabajo solo se ha dispuesto de datos de dos instalaciones de este tipo y durante solo cuatro años. También sería interesante evaluar instalaciones con paneles de diferentes fabricantes e inclinaciones distintas a las estudiadas, para valorar la idoneidad de las correlaciones desarrolladas.
- Extrapolar las correlaciones calculadas a diferentes instalaciones situadas fuera de Castilla y León, ya que todas las instalaciones estudiadas en este trabajo estaban situadas en esta Comunidad. De esta forma se podría ampliar geográficamente el área de aplicación de las correlaciones.
- Utilizar valores de las variables meteorológicas medidos directamente en la instalación fotovoltaica, de forma que se ajusten más a las condiciones meteorológicas reales de la instalación. Además sería útil disponer de los valores de las variables meteorológicas medidas sobre la superficie inclinada de los paneles, para así estimar la irradiación diaria sobre superficie inclinada a partir de ellos.
- Incluir en las correlaciones el efecto de la temperatura del panel, ya que afecta de forma relevante en la producción. Para ello sería necesario disponer de datos de instalaciones que dispongan de sondas para medir esta variable.

- Desarrollar un procedimiento automatizado para la descarga y procesamiento de datos meteorológicos y de producción, de tal forma que se disponga de estos datos sin necesidad de descargarlos ‘manualmente’ de la página web del SIAR y de SMI HISPANIA, ya que esto supone emplear mucho tiempo en una actividad que no aporta valor al estudio.
- Valorar el empleo de correlaciones que involucren la irradiancia en vez de la irradiación, para ver si la estimación de la producción instantánea con estas correlaciones se ajustan bien a los valores reales de producción.

Referencias

- Abete, A., Napoli, R., Spertino, F. *A simulation procedure to predict the monthly energy supplied by grid connected PV systems*, Turín, 2003.
- Balogun, E., Huang, X., DatTran, Lin, Y., Liao, M., Adaramola, M. *Regression Estimation Modelling Techniques on Static Solar Photovoltaic Module*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2015.
- BOCYL, Núm. 35, lunes 20 de febrero de 2012.
- Calderón, A. *Predicción de la producción eléctrica de instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León a partir de datos de radiación y ambientes*. Trabajo Fin de Máster, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, 2016.
- Documento 01: Normas generales sobre la elaboración, contenido y presentación del Trabajo Fin de Máster, en el Máster en Ingeniería Industrial, aprobado por el Comité Académico del Máster en Ingeniería Industrial en su reunión del 10 de abril de 2014.
- Faúndez, D. *Metodología para el análisis de resultados de generación eléctrica de diversas plantas fotovoltaicas en Castilla y León*. Proyecto Fin de Carrera, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, 2013.
- IDAE. Plan de Energías Renovables 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2011
- IEC Standard 61724. *Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis*. 1993
- Lorenzo, E., Martínez, F., Muñoz, J., Narvarte, L. *Predicción y ensayo de la producción de energía fotovoltaica conectada a la red*. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid. 2007.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, H., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Shugar, D., Wenger, H., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., Townsend, T. *Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems*, National Renewable Energy Laboratory, 2005.
- Martín, A. *Análisis de diversos aspectos relacionados con la producción de instalaciones fotovoltaicas situadas en Castilla y León*. Trabajo Fin de Máster, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, 2015.
- Mendenhall, W., Beaver, R., Beaver, B. *Introducción a la probabilidad y estadística*, CENGAGE Learning, 2010.
- Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.
- Red Eléctrica de España. *El Sistema Eléctrico Español 2015*, Madrid, 2016.
- Sancho, J., Riesco, J., Jiménez, C., Sánchez, M., Montero, J., López, M. *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*, 2005.
- Statpoint Technologies, INC. Manual de Usuario STATGRAPHICS Centurion XVII, 2014.

Anexo 1: Correlaciones anuales para cada instalación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°

➤ Instalación 1: Mojados 1

- Año 2010

1. $H_{eq} = 31.3434 - 0.0961 \cdot T - 0.0376 \cdot W - 0.1312 \cdot v + 0.8245 \cdot H$
2. $H_{eq} = -86.0140 + 0.7097 \cdot T - 0.007 \cdot W - 0.5052 \cdot v + 1.3449 \cdot H - 0.0014 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0535 \cdot v^2 - 0.0591 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.4335 - 0.0649 \cdot T + 1.4046 \cdot H - 0.0649 \cdot H^2 + 0.6143 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.0369 - 0.0657 \cdot T + 1.6623 \cdot H - 0.0758 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 14.5966 - 0.0615 \cdot T - 0.022 \cdot H + 3.8625 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.8088 - 0.0620 \cdot T + 3.7822 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7571 + 3.2390 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011

1. $H_{eq} = 26.0468 - 0.0878 \cdot T - 0.0064 \cdot W - 0.0923 \cdot v + 0.9195 \cdot H$
2. $H_{eq} = 217.746 - 1.4459 \cdot T + 0.0020 \cdot W - 0.3408 \cdot v + 1.5534 \cdot H - 0.0024 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0606 \cdot v^2 - 0.0679 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.0956 - 0.0682 \cdot T - 1.6320 \cdot H + 0.0649 \cdot H^2 + 7.6783 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 23.1159 - 0.0834 \cdot T + 1.5421 \cdot H - 0.0647 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 18.1636 - 0.0752 \cdot T - 0.1195 \cdot H + 4.1309 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 19.2827 - 0.0779 \cdot T + 3.6912 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6053 + 3.0337 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012

1. $H_{eq} = 19.5235 - 0.0651 \cdot T - 0.0006 \cdot W - 0.1634 \cdot v + 0.9207 \cdot H$
2. $H_{eq} = 60.8474 - 0.3846 \cdot T + 0.0658 \cdot W - 0.3036 \cdot v + 1.5627 \cdot H - 0.0006 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0020 \cdot v^2 - 0.0793 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.5597 - 0.0550 \cdot T + 0.8418 \cdot H - 0.0533 \cdot H^2 + 2.2201 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.6546 - 0.0575 \cdot T + 1.7491 \cdot H - 0.0897 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 11.0145 - 0.0522 \cdot T - 0.4067 \cdot H + 5.1653 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.8120 - 0.0613 \cdot T + 3.6642 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6024 + 3.1453 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013

1. $H_{eq} = 17.62 - 0.0563 \cdot T - 0.0038 \cdot W - 0.1998 \cdot v + 0.8871 \cdot H$
2. $H_{eq} = 36.4651 - 0.2060 \cdot T - 0.0047 \cdot W - 0.5638 \cdot v + 1.8059 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 - 0.0688 \cdot v^2 - 0.0984 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.4562 - 0.0500 \cdot T + 1.1050 \cdot H - 0.0664 \cdot H^2 + 1.6874 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.0765 - 0.0520 \cdot T + 1.8108 \cdot H - 0.0965 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.4210 - 0.0463 \cdot T - 0.3604 \cdot H + 5.0497 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 12.4068 - 0.0528 \cdot T + 3.7044 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7352 + 3.2528 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 27.4536 - 0.0822 \cdot T - 0.0316 \cdot W - 0.1941 \cdot v + 0.7492 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 47.083 - 0.2425 \cdot T + 0.0203 \cdot W - 0.4475 \cdot v + 1.5557 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0477 \cdot v^2 - 0.0795 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.6399 - 0.0677 \cdot T + 0.8137 \cdot H - 0.0560 \cdot H^2 + 2.5191 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.0804 - 0.0701 \cdot T + 1.8517 \cdot H - 0.0987 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.6463 - 0.0626 \cdot T - 0.4627 \cdot H + 5.4790 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.4535 - 0.0672 \cdot T + 3.7083 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7663 + 3.2182 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 31.7691 - 0.1030 \cdot T - 0.0210 \cdot W - 0.0785 \cdot v + 0.8752 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -43.0985 + 0.3721 \cdot T + 0.0326 \cdot W - 0.6084 \cdot v + 1.8604 \cdot H - 0.0008 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0817 \cdot v^2 - 0.0967 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 20.1500 - 0.0835 \cdot T + 0.5766 \cdot H - 0.0498 \cdot H^2 + 3.5183 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.7296 - 0.0845 \cdot T + 1.9811 \cdot H - 0.1055 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.1671 - 0.0827 \cdot T - 0.6074 \cdot H + 6.3714 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.6630 - 0.0915 \cdot T + 4.0268 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7548 + 3.1968 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 41.9094 - 0.1302 \cdot T - 0.0463 \cdot W - 0.1253 \cdot v + 0.7728 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 111.844 - 0.6800 \cdot T + 0.0129 \cdot W - 0.3618 \cdot v + 1.3642 \cdot H + 0.0010 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0358 \cdot v^2 - 0.0648 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.1611 - 0.0581 \cdot T + 0.6431 \cdot H - 0.0401 \cdot H^2 + 2.6187 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.6134 - 0.0610 \cdot T + 1.7212 \cdot H - 0.0843 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.4368 - 0.0565 \cdot T - 0.2724 \cdot H + 4.7575 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.4161 - 0.0642 \cdot T + 3.7623 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.8007 + 3.2202 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 2: Mojados 2**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 31.9953 - 0.0994 \cdot T - 0.0346 \cdot W - 0.1238 \cdot v + 0.8464 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -94.4304 + 0.7684 \cdot T - 0.0008 \cdot W - 0.5016 \cdot v + 1.3865 \cdot H - 0.0015 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0536 \cdot v^2 - 0.0616 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 18.2374 - 0.0689 \cdot T + 1.2305 \cdot H - 0.0590 \cdot H^2 + 1.1111 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.3274 - 0.0704 \cdot T + 1.6966 \cdot H - 0.0787 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.6602 - 0.0658 \cdot T - 0.0656 \cdot H + 4.0620 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.2913 - 0.0674 \cdot T + 3.8233 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7141 + 3.2328 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 26.0431 - 0.0881 \cdot T - 0.0054 \cdot W - 0.0772 \cdot v + 0.9273 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 245.936 - 1.6452 \cdot T + 0.0050 \cdot W - 0.3167 \cdot v + 1.5904 \cdot H - 0.0027 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0596 \cdot v^2 - 0.0711 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.0280 - 0.0686 \cdot T - 1.7064 \cdot H + 0.0665 \cdot H^2 + 7.9240 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 23.3351 - 0.0843 \cdot T + 1.5692 \cdot H - 0.0673 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.1974 - 0.0757 \cdot T - 0.1564 \cdot H + 4.2885 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.6611 - 0.0792 \cdot T + 3.7126 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5935 + 3.0439 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 16.1123 - 0.0522 \cdot T - 0.0015 \cdot W - 0.1257 \cdot v + 0.8595 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 98.9494 - 0.6702 \cdot T + 0.0448 \cdot W - 0.1043 \cdot v + 1.8776 \cdot H - 0.0011 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 - 0.0271 \cdot v^2 - 0.1178 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.7665 - 0.0401 \cdot T + 2.1502 \cdot H - 0.1287 \cdot H^2 - 0.4034 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 10.3858 - 0.0396 \cdot T + 1.9854 \cdot H - 0.1221 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 4.6163 - 0.0334 \cdot T - 0.8666 \cdot H + 6.7132 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.7072 - 0.0528 \cdot T + 3.5151 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4335 + 3.0681 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 17.9542 - 0.0572 \cdot T - 0.0043 \cdot W - 0.2005 \cdot v + 0.8840 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 41.0131 - 0.2384 \cdot T - 0.0001 \cdot W - 0.5362 \cdot v + 1.8114 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 - 0.0638 \cdot v^2 - 0.0997 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.0685 - 0.0498 \cdot T + 0.9092 \cdot H - 0.0596 \cdot H^2 + 2.2056 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 14.1865 - 0.0524 \cdot T + 1.8317 \cdot H - 0.0989 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.3455 - 0.0464 \cdot T - 0.4055 \cdot H + 5.2222 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.7049 - 0.0538 \cdot T + 3.7085 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6998 + 3.2485 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 27.6660 - 0.0828 \cdot T - 0.0319 \cdot W - 0.1981 \cdot v + 0.7515 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 58.5195 - 0.3223 \cdot T + 0.0232 \cdot W - 0.4633 \cdot v + 1.5451 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0497 \cdot v^2 - 0.0783 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.5636 - 0.0671 \cdot T + 0.7397 \cdot H - 0.0526 \cdot H^2 + 2.6993 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.1786 - 0.0704 \cdot T + 1.8518 \cdot H - 0.0983 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.7527 - 0.0630 \cdot T - 0.4589 \cdot H + 5.4784 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.5364 - 0.0676 \cdot T + 3.7226 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7776 + 3.2299 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 31.6222 - 0.1020 \cdot T - 0.0219 \cdot W - 0.0798 \cdot v + 0.8562 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 16.1933 - 0.0486 \cdot T + 0.0354 \cdot W - 0.5932 \cdot v + 1.9378 \cdot H - 0.0000 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0796 \cdot v^2 - 0.1059 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.8640 - 0.0817 \cdot T + 0.7749 \cdot H - 0.0619 \cdot H^2 + 3.1235 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.1541 - 0.0826 \cdot T + 2.0218 \cdot H - 0.1113 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.4005 - 0.0808 \cdot T - 0.6961 \cdot H + 6.6681 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.5530 - 0.0908 \cdot T + 3.9811 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6841 + 3.1573 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 42.6042 - 0.1324 \cdot T - 0.0474 \cdot W - 0.1279 \cdot v + 0.7743 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 134.962 - 0.8409 \cdot T + 0.0159 \cdot W - 0.3778 \cdot v + 1.3597 \cdot H + 0.0013 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0381 \cdot v^2 - 0.0642 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.4695 - 0.0592 \cdot T + 0.6480 \cdot H - 0.0398 \cdot H^2 + 2.6125 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.9161 - 0.0621 \cdot T + 1.7236 \cdot H - 0.0839 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.7568 - 0.0576 \cdot T - 0.2613 \cdot H + 4.7370 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.6148 - 0.0650 \cdot T + 3.7823 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.8181 + 3.2334 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 3: Mojados 4**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 29.6632 - 0.0920 \cdot T - 0.0327 \cdot W - 0.1134 \cdot v + 0.7929 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -55.7551 + 0.4895 \cdot T - 0.0088 \cdot W - 0.4495 \cdot v + 1.3268 \cdot H - 0.0010 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0488 \cdot v^2 - 0.0598 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.8499 - 0.0635 \cdot T + 1.2008 \cdot H - 0.0568 \cdot H^2 + 0.9126 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.7453 - 0.0647 \cdot T + 1.5836 \cdot H - 0.0730 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.3699 - 0.0605 \cdot T - 0.0464 \cdot H + 3.7522 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.8166 - 0.0616 \cdot T + 3.5833 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6405 + 3.0436 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 24.3596 - 0.0826 \cdot T - 0.0050 \cdot W - 0.0633 \cdot v + 0.8802 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 227.827 - 1.5233 \cdot T + 0.0015 \cdot W - 0.2784 \cdot v + 1.5203 \cdot H + 0.0025 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0548 \cdot v^2 - 0.0683 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.8924 - 0.0655 \cdot T - 1.2884 \cdot H + 0.0495 \cdot H^2 + 6.7163 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 21.7811 - 0.0788 \cdot T + 1.4881 \cdot H - 0.0639 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 16.9980 - 0.0708 \cdot T - 0.1338 \cdot H + 4.0084 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.2502 - 0.0738 \cdot T + 3.5157 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5607 + 2.8925 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = -9.8607 + 0.0408 \cdot T + 0.0087 \cdot W + 0.0709 \cdot v + 0.4468 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 22.582 - 0.2017 \cdot T + 0.0881 \cdot W + 0.0178 \cdot v + 0.4218 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 - 0.0007 \cdot W^2 - 0.0042 \cdot v^2 - 0.0085 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = -6.7330 + 0.0384 \cdot T + 2.0165 \cdot H - 0.0850 \cdot H^2 - 3.2247 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = -9.7820 + 0.0421 \cdot T + 0.6986 \cdot H - 0.320 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = -10.7994 + 0.0429 \cdot T + 0.0255 \cdot H + 1.4722 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = -11.0377 + 0.0434 \cdot T + 1.5662 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = 0.5867 + 1.9343 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 16.5763 - 0.0526 \cdot T - 0.0043 \cdot W - 0.1877 \cdot v + 0.8196 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 68.2349 - 0.4369 \cdot T + 0.0084 \cdot W - 0.4931 \cdot v + 1.6869 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0585 \cdot v^2 - 0.0933 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.7719 - 0.0451 \cdot T + 0.7638 \cdot H - 0.0527 \cdot H^2 + 2.2707 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 12.9523 - 0.0479 \cdot T + 1.7136 \cdot H - 0.0932 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 8.3621 - 0.0422 \cdot T - 0.3997 \cdot H + 4.9403 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 11.6732 - 0.0495 \cdot T + 3.4483 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5684 + 3.0255 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 26.6529 - 0.0796 \cdot T - 0.0315 \cdot W - 0.1833 \cdot v + 0.7057 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 65.5515 - 0.3744 \cdot T + 0.0216 \cdot W - 0.4531 \cdot v + 1.4519 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0502 \cdot v^2 - 0.0737 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.7220 - 0.0638 \cdot T + 0.6761 \cdot H - 0.0488 \cdot H^2 + 2.6118 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.2522 - 0.0670 \cdot T + 1.7523 \cdot H - 0.0930 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.1172 - 0.0599 \cdot T - 0.4345 \cdot H + 5.1872 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.7532 - 0.0643 \cdot T + 3.5245 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6711 + 3.0557 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 30.0520 - 0.0982 \cdot T - 0.0186 \cdot W - 0.0685 \cdot v + 0.8303 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 114.499 - 0.7459 \cdot T + 0.0538 \cdot W - 0.5891 \cdot v + 1.7678 \cdot H + 0.0012 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0821 \cdot v^2 - 0.0921 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.2703 - 0.0807 \cdot T + 0.3314 \cdot H - 0.036 \cdot H^2 + 3.7463 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.0171 - 0.0817 \cdot T + 1.8269 \cdot H - 0.0953 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.8382 - 0.0801 \cdot T - 0.5238 \cdot H + 5.8069 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 21.7150 - 0.0877 \cdot T + 3.7852 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6852 + 2.9899 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 42.0130 - 0.1299 \cdot T - 0.0486 \cdot W - 0.1269 \cdot v + 0.7127 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 97.1402 - 0.5753 \cdot T + 0.0075 \cdot W - 0.3760 \cdot v + 1.3221 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0379 \cdot v^2 - 0.0665 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.5719 - 0.0551 \cdot T + 0.7998 \cdot H - 0.0501 \cdot H^2 + 2.1638 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.5983 - 0.0575 \cdot T + 1.6906 \cdot H - 0.0866 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.4170 - 0.0532 \cdot T - 0.3443 \cdot H + 4.8369 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.1825 - 0.0629 \cdot T + 3.5790 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6868 + 3.0479 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 4: Abalhornó 1**

• Año 2010

1. $H_{eq} = 29.9288 - 0.0919 \cdot T - 0.0337 \cdot W - 0.1639 \cdot v + 0.8218 \cdot H$
2. $H_{eq} = -19.4755 + 0.2302 \cdot T + 0.0007 \cdot W - 0.4458 \cdot v + 1.3964 \cdot H -$
 $-0.0005 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0406 \cdot v^2 - 0.0645 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 16.1853 - 0.0621 \cdot T + 1.0873 \cdot H - 0.0531 \cdot H^2 + 1.3708 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.5301 - 0.0639 \cdot T + 1.6623 \cdot H - 0.0774 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.867 - 0.0593 \cdot T - 0.0785 \cdot H + 4.0251 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.6232 - 0.0612 \cdot T + 3.7392 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7201 + 3.2032 \cdot \sqrt{H}$

• Año 2011

1. $H_{eq} = 23.2907 - 0.0781 \cdot T - 0.0028 \cdot W - 0.2079 \cdot v + 0.9677 \cdot H$
2. $H_{eq} = 36.2688 - 0.1787 \cdot T - 0.0187 \cdot W - 0.5214 \cdot v + 1.9098 \cdot H +$
 $+0.0002 \cdot T^2 + 0.0001 \cdot W^2 + 0.0777 \cdot v^2 - 0.0987 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 19.5946 - 0.0771 \cdot T + 1.0592 \cdot H - 0.0625 \cdot H^2 + 1.9956 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 21.9313 - 0.0810 \cdot T + 1.8838 \cdot H - 0.0961 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.6829 - 0.0742 \cdot T - 0.3971 \cdot H + 5.4121 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 19.3757 - 0.0793 \cdot T + 3.9482 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.8918 + 3.2807 \cdot \sqrt{H}$

• Año 2012

1. $H_{eq} = 19.2229 - 0.0645 \cdot T + 0.0006 \cdot W - 0.1633 \cdot v + 0.9269 \cdot H$
2. $H_{eq} = 84.3317 - 0.5522 \cdot T + 0.0742 \cdot W - 0.3311 \cdot v + 1.5487 \cdot H +$
 $+0.0009 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0063 \cdot v^2 - 0.0779 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.3692 - 0.0546 \cdot T + 0.7920 \cdot H - 0.0513 \cdot H^2 + 2.3481 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.5849 - 0.0573 \cdot T + 1.7517 \cdot H - 0.0899 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.9189 - 0.0520 \cdot T - 0.4100 \cdot H + 5.1835 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.7463 - 0.0612 \cdot T + 3.6707 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6294 + 3.1530 \cdot \sqrt{H}$

• Año 2013

1. $H_{eq} = 18.6530 - 0.0597 \cdot T - 0.0042 \cdot W - 0.2182 \cdot v + 0.8946 \cdot H$
2. $H_{eq} = 10.7377 - 0.0225 \cdot T + 0.0110 \cdot W - 0.5917 \cdot v + 1.6954 \cdot H -$
 $-0.0000 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0684 \cdot v^2 - 0.0872 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.9996 - 0.0518 \cdot T + 0.3710 \cdot H - 0.0309 \cdot H^2 + 3.3403 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.2071 - 0.0558 \cdot T + 1.7681 \cdot H - 0.0904 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.5873 - 0.0500 \cdot T - 0.3109 \cdot H + 4.9048 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 13.1629 - 0.0557 \cdot T + 3.7443 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7436 + 3.2683 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 25.6398 - 0.0761 \cdot T - 0.0299 \cdot W - 0.2071 \cdot v + 0.7451 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 37.1713 - 0.1804 \cdot T + 0.0238 \cdot W - 0.5002 \cdot v + 1.5853 \cdot H + 0.0002 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0544 \cdot v^2 - 0.0829 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.1296 - 0.0623 \cdot T + 0.7564 \cdot H - 0.0565 \cdot H^2 + 2.7213 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.7659 - 0.0656 \cdot T + 1.8776 \cdot H - 0.1026 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.1127 - 0.0578 \cdot T - 0.5300 \cdot H + 5.7041 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.3276 - 0.0631 \cdot T + 3.6763 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7746 + 3.2161 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 31.5727 - 0.1029 \cdot T - 0.0201 \cdot W - 0.0694 \cdot v + 0.8882 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 9.5528 + 0.0034 \cdot T + 0.0311 \cdot W - 0.5031 \cdot v + 1.8286 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0664 \cdot v^2 - 0.0922 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 20.1558 - 0.0841 \cdot T + 0.3878 \cdot H - 0.0375 \cdot H^2 + 3.8374 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.9694 - 0.0852 \cdot T + 1.9197 \cdot H - 0.0982 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.6641 - 0.0835 \cdot T - 0.5030 \cdot H + 5.9838 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.3867 - 0.0907 \cdot T + 4.0424 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.8347 + 3.2192 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 41.1182 - 0.1283 \cdot T - 0.0442 \cdot W - 0.1171 \cdot v + 0.7740 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 98.7794 - 0.5965 \cdot T + 0.0337 \cdot W - 0.3228 \cdot v + 1.2711 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 + 0.0294 \cdot v^2 - 0.0573 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.8017 - 0.0581 \cdot T + 0.3519 \cdot H - 0.0271 \cdot H^2 + 3.258 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.8527 - 0.0618 \cdot T + 1.6932 \cdot H - 0.0821 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.6371 - 0.0571 \cdot T - 0.2664 \cdot H + 4.7025 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.5505 - 0.0646 \cdot T + 3.7293 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7808 + 3.1836 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 5: Abalhorn 2**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 27.3672 - 0.0827 \cdot T - 0.0330 \cdot W - 0.1659 \cdot v + 0.7938 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -33.4455 + 0.3227 \cdot T + 0.0178 \cdot W - 0.6429 \cdot v + 1.1799 \cdot H - 0.0007 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0698 \cdot v^2 - 0.0451 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.3347 - 0.0577 \cdot T + 1.6911 \cdot H - 0.0707 \cdot H^2 - 0.4489 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.8935 - 0.0571 \cdot T + 1.5030 \cdot H - 0.0628 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.2184 - 0.0539 \cdot T - 0.1339 \cdot H + 3.0997 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 11.9394 - 0.0507 \cdot T + 3.5879 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6092 + 3.1384 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 29.8509 - 0.1005 \cdot T - 0.0083 \cdot W - 0.1335 \cdot v + 0.9826 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 163.88 - 1.0564 \cdot T - 0.0023 \cdot W - 0.3406 \cdot v + 1.9156 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0560 \cdot v^2 - 0.10000 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 22.2653 - 0.0891 \cdot T + 0.6560 \cdot H - 0.0465 \cdot H^2 + 3.0668 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 25.8674 - 0.0951 \cdot T + 1.9238 \cdot H - 0.0983 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 19.3476 - 0.0841 \cdot T - 0.4286 \cdot H + 5.6108 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 23.3593 - 0.0937 \cdot T + 4.0324 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7850 + 3.2414 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 19.0530 - 0.0636 \cdot T - 0.0004 \cdot W - 0.1596 \cdot v + 0.9161 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 74.2711 - 0.4817 \cdot T + 0.0683 \cdot W - 0.3166 \cdot v + 1.5742 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0045 \cdot v^2 - 0.0812 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.1385 - 0.0533 \cdot T + 0.9154 \cdot H - 0.0579 \cdot H^2 + 2.0784 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.0997 - 0.0557 \cdot T + 1.7649 \cdot H - 0.0921 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.3705 - 0.0503 \cdot T - 0.4424 \cdot H + 5.2814 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.5004 - 0.0602 \cdot T + 3.6489 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6153 + 3.1395 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 17.7295 - 0.0562 \cdot T - 0.0039 \cdot W - 0.2323 \cdot v + 0.8699 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 6.9691 - 0.0019 \cdot T + 0.0084 \cdot W - 0.6170 \cdot v + 1.6663 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0703 \cdot v^2 - 0.0866 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.5442 - 0.0479 \cdot T + 0.0459 \cdot H - 0.0174 \cdot H^2 + 4.0401 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 14.4236 - 0.0528 \cdot T + 1.7357 \cdot H - 0.0894 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.7466 - 0.0469 \cdot T - 0.3391 \cdot H + 4.9237 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.5562 - 0.0531 \cdot T + 3.6577 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6658 + 3.2036 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 24.3625 - 0.0721 \cdot T - 0.0279 \cdot W - 0.2146 \cdot v + 0.7477 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 72.2903 - 0.4320 \cdot T + 0.0270 \cdot W - 0.5052 \cdot v + 1.5861 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0544 \cdot v^2 - 0.0826 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.3921 - 0.0594 \cdot T + 0.7555 \cdot H - 0.0559 \cdot H^2 + 2.6791 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.9875 - 0.0627 \cdot T + 1.8594 \cdot H - 0.1013 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.4059 - 0.0550 \cdot T - 0.5177 \cdot H + 5.6315 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.5465 - 0.0602 \cdot T + 3.6506 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7753 + 3.2115 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 31.4941 - 0.1026 \cdot T - 0.0200 \cdot W - 0.0777 \cdot v + 0.8827 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 10.1774 - 0.0016 \cdot T + 0.0322 \cdot W - 0.5245 \cdot v + 1.8225 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0687 \cdot v^2 - 0.0922 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 20.1423 - 0.0840 \cdot T + 0.3736 \cdot H - 0.0371 \cdot H^2 + 3.8571 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.9703 - 0.0851 \cdot T + 1.9134 \cdot H - 0.0981 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.6672 - 0.0835 \cdot T - 0.5071 \cdot H + 5.9795 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.4210 - 0.0908 \cdot T + 4.0219 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.8072 + 3.1984 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 41.1768 - 0.1283 \cdot T - 0.0444 \cdot W - 0.1230 \cdot v + 0.7654 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 109.235 - 0.6699 \cdot T + 0.0338 \cdot W - 0.3477 \cdot v + 1.2743 \cdot H + 0.0010 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 + 0.0327 \cdot v^2 - 0.0583 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.6382 - 0.0579 \cdot T + 0.2791 \cdot H - 0.0245 \cdot H^2 + 3.4236 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.8444 - 0.0617 \cdot T + 1.6886 \cdot H - 0.0824 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.5823 - 0.0569 \cdot T - 0.2815 \cdot H + 4.7334 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.6608 - 0.0649 \cdot T + 3.7050 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7482 + 3.1569 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 6: Abalhorn 19**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 30.8377 - 0.0937 \cdot T - 0.0380 \cdot W - 0.1708 \cdot v + 0.7963 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -26.3416 + 0.2841 \cdot T - 0.0028 \cdot W - 0.4846 \cdot v + 1.3488 \cdot H - 0.0006 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0453 \cdot v^2 - 0.0620 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.7775 - 0.0611 \cdot T + 0.9625 \cdot H - 0.0475 \cdot H^2 + 1.6369 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.3834 - 0.0633 \cdot T + 1.6491 \cdot H - 0.0766 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.7031 - 0.0587 \cdot T - 0.0807 \cdot H + 4.0121 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.4799 - 0.0606 \cdot T + 3.7183 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7061 + 3.1875 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 30.3441 - 0.1022 \cdot T - 0.0084 \cdot W - 0.1337 \cdot v + 0.9812 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 166.813 - 1.0753 \cdot T - 0.0026 \cdot W - 0.3401 \cdot v + 1.9234 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0560 \cdot v^2 - 0.1010 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 22.4556 - 0.0901 \cdot T + 0.6194 \cdot H - 0.0456 \cdot H^2 + 3.1766 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 26.1866 - 0.0963 \cdot T + 1.9325 \cdot H - 0.0992 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 19.5939 - 0.0852 \cdot T - 0.4444 \cdot H + 5.6717 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 23.7535 - 0.0952 \cdot T + 4.0352 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7753 + 3.2320 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 19.3746 - 0.0650 \cdot T + 0.0003 \cdot W - 0.1619 \cdot v + 0.9297 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 75.4318 - 0.4888 \cdot T + 0.0700 \cdot W - 0.3057 \cdot v + 1.5687 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0024 \cdot v^2 - 0.0793 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.7408 - 0.0553 \cdot T + 0.9374 \cdot H - 0.0574 \cdot H^2 + 2.0157 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.6428 - 0.0576 \cdot T + 1.7612 \cdot H - 0.0905 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.0007 - 0.0523 \cdot T - 0.4068 \cdot H + 5.1864 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.7963 - 0.0615 \cdot T + 3.6853 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6534 + 3.1652 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 18.4343 - 0.0589 \cdot T - 0.0040 \cdot W - 0.2266 \cdot v + 0.8936 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 4.7894 + 0.0193 \cdot T + 0.0094 \cdot W - 0.6240 \cdot v + 1.6927 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0724 \cdot v^2 - 0.0870 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.9454 - 0.0514 \cdot T + 0.4002 \cdot H - 0.0319 \cdot H^2 + 3.2605 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.0762 - 0.0553 \cdot T + 1.7639 \cdot H - 0.0899 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.4872 - 0.0496 \cdot T - 0.3038 \cdot H + 4.8758 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 13.0043 - 0.0551 \cdot T + 3.7416 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7568 + 3.2703 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 25.0925 - 0.0747 \cdot T - 0.0287 \cdot W - 0.1922 \cdot v + 0.7414 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 162.817 - 1.0665 \cdot T + 0.0419 \cdot W - 0.4618 \cdot v + 1.5045 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 + 0.0512 \cdot v^2 - 0.0755 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.0092 - 0.0598 \cdot T + 0.3197 \cdot H - 0.0349 \cdot H^2 + 3.6033 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.5000 - 0.0643 \cdot T + 1.8044 \cdot H - 0.0959 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.1441 - 0.0571 \cdot T - 0.4756 \cdot H + 5.4474 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.0291 - 0.0618 \cdot T + 3.6277 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7305 + 3.1768 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 33.2671 - 0.1092 \cdot T - 0.0194 \cdot W - 0.0929 \cdot v + 0.8899 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 91.5236 - 0.5686 \cdot T + 0.0488 \cdot W - 0.6089 \cdot v + 1.7402 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0814 \cdot v^2 - 0.0836 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 21.2025 - 0.0915 \cdot T - 0.4139 \cdot H + 0.0004 \cdot H^2 + 5.6140 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 25.3187 - 0.0931 \cdot T + 1.8272 \cdot H - 0.0885 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 21.2165 - 0.0915 \cdot T - 0.4055 \cdot H + 5.5939 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 24.2182 - 0.0973 \cdot T + 4.0285 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7598 + 3.1456 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 42.7009 - 0.1324 \cdot T - 0.0485 \cdot W - 0.1298 \cdot v + 0.7536 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 146.895 - 0.9229 \cdot T + 0.0160 \cdot W - 0.3870 \cdot v + 1.3130 \cdot H + 0.0015 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0394 \cdot v^2 - 0.0615 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.9921 - 0.0580 \cdot T + 0.5112 \cdot H - 0.0334 \cdot H^2 + 2.8586 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.6691 - 0.0611 \cdot T + 1.6881 \cdot H - 0.0817 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.5540 - 0.0566 \cdot T - 0.2523 \cdot H + 4.6424 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.3135 - 0.0638 \cdot T + 3.7206 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7916 + 3.1820 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 7: Fresno 1**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 30.8024 - 0.0997 \cdot T - 0.0237 \cdot W - 0.0006 \cdot v + 0.7900 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -54.0712 + 0.4749 \cdot T - 0.0109 \cdot W - 0.2659 \cdot v + 1.4645 \cdot H - 0.0009 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0370 \cdot v^2 - 0.0707 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 18.1596 - 0.0699 \cdot T + 1.1859 \cdot H - 0.0625 \cdot H^2 + 1.1390 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.2593 - 0.0710 \cdot T + 1.6452 \cdot H - 0.0807 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.0526 - 0.0663 \cdot T - 0.2880 \cdot H + 4.6526 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.7527 - 0.0725 \cdot T + 3.5607 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4947 + 2.8762 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 23.9820 - 0.0746 \cdot T - 0.0221 \cdot W - 0.0651 \cdot v + 0.7166 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 129.628 - 0.8424 \cdot T + 0.0168 \cdot W - 0.1679 \cdot v + 1.4622 \cdot H + 0.0014 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0244 \cdot v^2 - 0.0761 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.8752 - 0.0449 \cdot T + 1.5672 \cdot H - 0.0846 \cdot H^2 + 0.2107 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 12.1142 - 0.0452 \cdot T + 1.6517 \cdot H - 0.0878 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 6.3220 - 0.0361 \cdot T - 0.5131 \cdot H + 5.2293 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 10.7153 - 0.0455 \cdot T + 3.2450 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5116 + 2.8778 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 20.3371 - 0.0679 \cdot T - 0.0039 \cdot W - 0.0581 \cdot v + 0.8335 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 105.214 - 0.6871 \cdot T + 0.0507 \cdot W - 0.0982 \cdot v + 1.5046 \cdot H + 0.0011 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 - 0.0061 \cdot v^2 - 0.0814 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.5701 - 0.0530 \cdot T + 0.8682 \cdot H - 0.0639 \cdot H^2 + 2.3115 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 14.8357 - 0.0558 \cdot T + 1.7964 \cdot H - 0.1002 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.1955 - 0.0491 \cdot T - 0.6722 \cdot H + 6.0155 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.4692 - 0.0637 \cdot T + 3.4824 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5169 + 2.9190 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 21.7564 - 0.0703 \cdot T - 0.0110 \cdot W - 0.0389 \cdot v + 0.7561 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 37.0547 - 0.201 \cdot T + 0.0234 \cdot W - 0.1801 \cdot v + 1.4175 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0216 \cdot v^2 - 0.0715 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.3189 - 0.0469 \cdot T + 0.2115 \cdot H - 0.0263 \cdot H^2 + 3.4647 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.3280 - 0.0494 \cdot T + 1.5738 \cdot H - 0.0786 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.0676 - 0.0460 \cdot T - 0.4335 \cdot H + 5.0457 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 13.0325 - 0.0547 \cdot T + 3.3421 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5345 + 2.8687 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 21.2670 - 0.0671 \cdot T - 0.0145 \cdot W - 0.0636 \cdot v + 0.7510 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 65.5199 - 0.3968 \cdot T + 0.0034 \cdot W - 0.1387 \cdot v + 1.6874 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0113 \cdot v^2 - 0.0916 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.9191 - 0.0564 \cdot T + 1.0094 \cdot H - 0.0658 \cdot H^2 + 1.8310 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.6434 - 0.0584 \cdot T + 1.7484 \cdot H - 0.0954 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.3940 - 0.0519 \cdot T - 0.5414 \cdot H + 5.5213 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 13.9551 - 0.0580 \cdot T + 3.4165 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7028 + 2.9733 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 21.3456 - 0.0725 \cdot T - 0.0029 \cdot W + 0.0180 \cdot v + 0.8456 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 27.151 - 0.1358 \cdot T + 0.0200 \cdot W - 0.2552 \cdot v + 1.7264 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0311 \cdot v^2 - 0.0919 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.4851 - 0.0645 \cdot T + 0.6596 \cdot H - 0.0510 \cdot H^2 + 2.7619 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.5591 - 0.0655 \cdot T + 1.7681 \cdot H - 0.0954 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.4622 - 0.0636 \cdot T - 0.5430 \cdot H + 5.6453 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.6964 - 0.0722 \cdot T + 3.5584 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5323 + 2.8806 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 36.9636 - 0.1165 \cdot T - 0.0373 \cdot W - 0.0381 \cdot v + 0.7192 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 34.0544 - 0.1551 \cdot T + 0.0026 \cdot W - 0.1298 \cdot v + 1.3962 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0136 \cdot v^2 - 0.0742 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.3145 - 0.0414 \cdot T + 1.2008 \cdot H - 0.0716 \cdot H^2 + 1.1073 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 11.2274 - 0.0422 \cdot T + 1.6576 \cdot H - 0.0904 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 7.6973 - 0.0401 \cdot T - 0.4239 \cdot H + 4.8967 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.1436 - 0.0514 \cdot T + 3.3490 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6570 + 2.9236 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 8: Fresno 2**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 31.2014 - 0.1014 \cdot T - 0.0228 \cdot W - 0.0028 \cdot v + 0.8012 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -33.8276 + 0.3310 \cdot T - 0.0015 \cdot W - 0.2703 \cdot v - 1.4592 \cdot H - 0.0007 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0380 \cdot v^2 - 0.0695 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 18.5055 - 0.0717 \cdot T + 1.0238 \cdot H - 0.0554 \cdot H^2 + 1.5465 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.9987 - 0.0735 \cdot T + 1.6473 \cdot H - 0.0802 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.7502 - 0.0687 \cdot T - 0.2833 \cdot H + 4.6623 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.4062 - 0.0749 \cdot T + 3.5882 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4652 + 2.8816 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 25.1850 - 0.0789 \cdot T - 0.0219 \cdot W - 0.0647 \cdot v + 0.7234 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 132.89 - 0.8615 \cdot T + 0.0184 \cdot W - 0.1806 \cdot v + 1.4751 \cdot H + 0.0014 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0261 \cdot v^2 - 0.0769 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.2629 - 0.0497 \cdot T + 1.6123 \cdot H - 0.0867 \cdot H^2 + 0.13937 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.4199 - 0.0499 \cdot T + 1.6678 \cdot H - 0.0888 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 7.5725 - 0.0407 \cdot T - 0.5194 \cdot H + 5.2805 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.0199 - 0.0502 \cdot T + 3.2176 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4710 + 2.8666 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 20.7764 - 0.0694 \cdot T - 0.0038 \cdot W - 0.0606 \cdot v + 0.8343 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 106.133 - 0.6920 \cdot T + 0.0508 \cdot W - 0.0951 \cdot v + 1.5047 \cdot H + 0.0011 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 - 0.0071 \cdot v^2 - 0.0813 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.9109 - 0.0544 \cdot T + 0.8211 \cdot H - 0.0619 \cdot H^2 + 2.4283 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.2909 - 0.0574 \cdot T + 1.7961 \cdot H - 0.1001 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.6391 - 0.0506 \cdot T - 0.6725 \cdot H + 6.0194 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.9151 - 0.0653 \cdot T + 3.4854 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4948 + 2.9079 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 22.3356 - 0.0719 \cdot T - 0.0124 \cdot W - 0.0496 \cdot v + 0.7511 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 34.7596 - 0.1839 \cdot T + 0.0310 \cdot W - 0.1912 \cdot v + 1.4090 \cdot H + 0.0002 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0211 \cdot v^2 - 0.0716 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.0575 - 0.0486 \cdot T + 0.1924 \cdot H - 0.0269 \cdot H^2 + 3.5979 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.1822 - 0.0492 \cdot T + 1.6070 \cdot H - 0.0813 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 8.7767 - 0.0457 \cdot T - 0.4678 \cdot H + 5.2160 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 13.0554 - 0.0550 \cdot T + 3.3777 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6094 + 2.9010 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 22.2447 - 0.0701 \cdot T - 0.0156 \cdot W - 0.0671 \cdot v + 0.7543 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 77.3204 - 0.4767 \cdot T + 0.0071 \cdot W - 0.1412 \cdot v + 1.6866 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0110 \cdot v^2 - 0.0913 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.0147 - 0.0578 \cdot T + 0.8458 \cdot H - 0.0596 \cdot H^2 + 2.2812 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.1629 - 0.0602 \cdot T + 1.7666 \cdot H - 0.0964 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.8254 - 0.0537 \cdot T - 0.5572 \cdot H + 5.6199 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.4907 - 0.0599 \cdot T + 3.4535 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7059 + 2.9951 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 22.1690 - 0.0754 \cdot T - 0.0029 \cdot W + 0.0164 \cdot v + 0.8579 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 28.3198 - 0.1412 \cdot T + 0.0220 \cdot W - 0.2616 \cdot v + 1.7308 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0317 \cdot v^2 - 0.0914 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.1015 - 0.0673 \cdot T + 0.5670 \cdot H - 0.0470 \cdot H^2 + 3.0273 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.3748 - 0.0684 \cdot T + 1.7820 \cdot H - 0.0956 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.2406 - 0.0665 \cdot T - 0.5392 \cdot H + 5.6796 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.4457 - 0.0750 \cdot T + 3.6071 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5282 + 2.9031 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 37.9394 - 0.1195 \cdot T - 0.0383 \cdot W - 0.0424 \cdot v + 0.7177 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 25.1331 - 0.0912 \cdot T + 0.0061 \cdot W - 0.1337 \cdot v + 1.3859 \cdot H - 0.0000 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0135 \cdot v^2 - 0.0732 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.3264 - 0.0418 \cdot T + 1.1522 \cdot H - 0.0700 \cdot H^2 + 1.2652 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 11.3719 - 0.0427 \cdot T + 1.6729 \cdot H - 0.0914 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 7.7388 - 0.0405 \cdot T - 0.4470 \cdot H + 5.0049 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.5162 - 0.0527 \cdot T + 3.3673 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6190 + 2.9261 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 9: Villacidaler**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 28.6225 - 0.0874 \cdot T - 0.0373 \cdot W - 0.0906 \cdot v + 0.7691 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 44.4334 - 0.2431 \cdot T + 0.0503 \cdot W - 0.1620 \cdot v + 1.1330 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0106 \cdot v^2 - 0.0428 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.1573 - 0.0459 \cdot T - 0.2480 \cdot H + 0.0088 \cdot H^2 + 4.0527 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.9401 - 0.0506 \cdot T + 1.4642 \cdot H - 0.0641 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.5067 - 0.0462 \cdot T - 0.0567 \cdot H + 3.6218 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 11.0659 - 0.0476 \cdot T + 3.4147 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6558 + 3.0239 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 44.1925 - 0.1369 \cdot T - 0.0523 \cdot W - 0.1523 \cdot v + 0.7806 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 42.7806 - 0.1689 \cdot T - 0.0196 \cdot W - 0.1673 \cdot v + 1.7557 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0217 \cdot v^2 - 0.0963 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 25.1124 - 0.0963 \cdot T + 1.2130 \cdot H - 0.0795 \cdot H^2 + 1.8375 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 27.7092 - 0.1017 \cdot T + 1.9981 \cdot H - 0.1124 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 19.4087 - 0.0839 \cdot T - 0.5724 \cdot H + 5.84985 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 25.0684 - 0.0981 \cdot T + 3.7779 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3615 + 3.0268 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 31.6614 - 0.0947 \cdot T - 0.0429 \cdot W - 0.0959 \cdot v + 0.6808 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 104.906 - 0.6637 \cdot T + 0.0105 \cdot W - 0.3488 \cdot v + 1.5643 \cdot H + 0.0010 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0368 \cdot v^2 - 0.0887 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.0323 - 0.0510 \cdot T + 0.5391 \cdot H - 0.0517 \cdot H^2 + 3.0329 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.3946 - 0.0565 \cdot T + 1.8092 \cdot H - 0.1040 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.4623 - 0.0471 \cdot T - 0.6177 \cdot H + 5.6511 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.1708 - 0.0645 \cdot T + 3.3989 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1101 + 2.8823 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 28.1632 - 0.0905 \cdot T - 0.0177 \cdot W - 0.0804 \cdot v + 0.8479 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 169.59 - 1.1431 \cdot T + 0.0706 \cdot W - 0.2962 \cdot v + 1.5925 \cdot H + 0.0019 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0561 \cdot v^2 - 0.0859 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.6081 - 0.0603 \cdot T - 0.2347 \cdot H - 0.0106 \cdot H^2 + 4.7965 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.1462 - 0.0661 \cdot T + 1.7948 \cdot H - 0.0980 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.1956 - 0.0599 \cdot T - 0.4628 \cdot H + 5.3096 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.8826 - 0.0716 \cdot T + 3.6094 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3430 + 3.0588 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 26.9096 - 0.0795 \cdot T - 0.0368 \cdot W - 0.1268 \cdot v + 0.7256 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 48.196 - 0.2645 \cdot T + 0.0470 \cdot W - 0.3440 \cdot v + 1.4472 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0005 \cdot W^2 + 0.0561 \cdot v^2 - 0.0744 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.1248 - 0.0603 \cdot T + 0.0511 \cdot H - 0.0220 \cdot H^2 + 3.9975 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.1981 - 0.0664 \cdot T + 1.7655 \cdot H - 0.0963 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.0318 - 0.0584 \cdot T - 0.4231 \cdot H + 5.0509 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.2004 - 0.0653 \cdot T + 3.4994 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4998 + 3.0504 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 36.8359 - 0.1159 \cdot T - 0.0376 \cdot W - 0.0041 \cdot v + 0.7701 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 13.1721 - 0.0084 \cdot T + 0.0113 \cdot W - 0.2784 \cdot v + 1.7201 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0444 \cdot v^2 - 0.0921 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.3334 - 0.0792 \cdot T + 0.3452 \cdot H - 0.0382 \cdot H^2 + 3.6253 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.5373 - 0.0827 \cdot T + 1.8573 \cdot H - 0.1008 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.8002 - 0.0778 \cdot T - 0.5204 \cdot H + 5.6167 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 23.3947 - 0.0923 \cdot T + 3.7239 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4407 + 3.0073 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 45.3707 - 0.1417 \cdot T - 0.0518 \cdot W - 0.0509 \cdot v + 0.7700 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 81.5736 - 0.4694 \cdot T + 0.0117 \cdot W - 0.2437 \cdot v + 1.4808 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0426 \cdot v^2 - 0.0773 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.8782 - 0.0578 \cdot T + 0.4149 \cdot H - 0.0381 \cdot H^2 + 3.1629 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.8652 - 0.0619 \cdot T + 1.7705 \cdot H - 0.0964 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.5185 - 0.0566 \cdot T - 0.4041 \cdot H + 4.9832 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.5368 - 0.0705 \cdot T + 3.5552 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4290 + 3.0132 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 10: Mamblas 1**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 28.9593 - 0.0922 \cdot T - 0.0228 \cdot W - 0.0700 \cdot v + 0.7925 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -5.2010 + 0.1317 \cdot T - 0.0109 \cdot W - 0.4462 \cdot v + 1.5599 \cdot H - 0.0004 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0551 \cdot v^2 - 0.0832 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.7839 - 0.0621 \cdot T + 0.3306 \cdot H - 0.0333 \cdot H^2 + 3.3574 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.88 - 0.0656 \cdot T + 1.7075 \cdot H - 0.0902 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.2706 - 0.0605 \cdot T - 0.4232 \cdot H + 5.1179 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.6468 - 0.0677 \cdot T + 3.5217 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3455 + 2.9035 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 31.3187 - 0.1002 \cdot T - 0.0237 \cdot W - 0.0627 \cdot v + 0.7921 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 68.3611 - 0.3693 \cdot T - 0.0753 \cdot W - 0.3816 \cdot v + 1.8578 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 + 0.0005 \cdot W^2 + 0.0605 \cdot v^2 - 0.1030 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.5927 - 0.0718 \cdot T + 0.0751 \cdot H - 0.0302 \cdot H^2 + 4.3665 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 21.4867 - 0.0791 \cdot T + 1.8166 \cdot H - 0.0981 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.5831 - 0.0687 \cdot T - 0.6645 \cdot H + 6.1685 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.7518 - 0.0791 \cdot T + 3.6063 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3720 + 2.9137 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 23.1777 - 0.0741 \cdot T - 0.0113 \cdot W - 0.1281 \cdot v + 0.7821 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 46.7742 - 0.2719 \cdot T - 0.0061 \cdot W - 0.4805 \cdot v + 1.7109 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0535 \cdot v^2 - 0.0960 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.3270 - 0.0507 \cdot T + 0.1908 \cdot H - 0.0356 \cdot H^2 + 3.8128 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.1277 - 0.0556 \cdot T + 1.7211 \cdot H - 0.0957 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.4583 - 0.0486 \cdot T - 0.6625 \cdot H + 5.8627 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.7707 - 0.0635 \cdot T + 3.3701 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1533 + 2.8127 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 25.2089 - 0.0799 \cdot T - 0.0146 \cdot W - 0.1376 \cdot v + 0.7644 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -8.8166 + 0.1352 \cdot T + 0.0075 \cdot W - 0.5046 \cdot v + 1.5445 \cdot H - 0.0004 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0698 \cdot v^2 - 0.0798 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.2774 - 0.0510 \cdot T - 0.0089 \cdot H - 0.0200 \cdot H^2 + 4.1167 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.2063 - 0.0555 \cdot T + 1.6405 \cdot H - 0.0858 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.2736 - 0.0500 \cdot T - 0.4801 \cdot H + 5.2459 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.3142 - 0.0585 \cdot T + 3.3853 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2532 + 2.8755 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 23.3591 - 0.0716 \cdot T - 0.0205 \cdot W - 0.1257 \cdot v + 0.7463 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 128.907 - 0.8376 \cdot T + 0.0434 \cdot W - 0.2417 \cdot v + 1.5706 \cdot H + 0.0013 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0231 \cdot v^2 - 0.0834 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.6998 - 0.0570 \cdot T + 0.0409 \cdot H - 0.0274 \cdot H^2 + 4.2677 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.8221 - 0.0619 \cdot T + 1.7657 \cdot H - 0.0969 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.1933 - 0.0550 \cdot T - 0.6004 \cdot H + 5.7926 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.9359 - 0.0611 \cdot T + 3.4631 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5409 + 3.0010 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 30.5508 - 0.0997 \cdot T - 0.0138 \cdot W - 0.1102 \cdot v + 0.8056 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 32.3698 - 0.1488 \cdot T + 0.0173 \cdot W - 0.5816 \cdot v + 1.7573 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0747 \cdot v^2 - 0.0916 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.3471 - 0.0812 \cdot T - 1.0368 \cdot H + 0.0157 \cdot H^2 + 7.1879 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 23.3456 - 0.0852 \cdot T + 1.7539 \cdot H - 0.0908 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.1272 - 0.0818 \cdot T - 0.6471 \cdot H + 6.2183 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.7147 - 0.0897 \cdot T + 3.6457 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1563 + 2.8190 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 25.4832 - 0.0812 \cdot T - 0.0164 \cdot W - 0.0944 \cdot v + 0.7896 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 68.443 - 0.4145 \cdot T + 0.0146 \cdot W - 0.4283 \cdot v + 1.5704 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0524 \cdot v^2 - 0.0878 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 9.6450 - 0.0422 \cdot T + 0.2057 \cdot H - 0.0268 \cdot H^2 + 3.3313 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 12.3595 - 0.0444 \cdot T + 1.5753 \cdot H - 0.0833 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 8.6859 - 0.0418 \cdot T - 0.4018 \cdot H + 4.7482 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.8428 - 0.0522 \cdot T + 3.2696 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1653 + 2.8396 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 11: Mamblas 2**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 28.7135 - 0.0912 \cdot T - 0.0234 \cdot W - 0.0653 \cdot v + 0.8018 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -6.5775 + 0.1408 \cdot T - 0.0182 \cdot W - 0.4067 \cdot v + 1.6322 \cdot H - 0.0004 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0502 \cdot v^2 - 0.0895 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.8361 - 0.0611 \cdot T + 0.6701 \cdot H - 0.0500 \cdot H^2 + 2.6676 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.2962 - 0.0638 \cdot T + 1.7642 \cdot H - 0.0952 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.5627 - 0.0586 \cdot T - 0.4619 \cdot H + 5.3113 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.2381 - 0.0664 \cdot T + 3.5696 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4273 + 2.9640 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 31.0237 - 0.0993 \cdot T - 0.0235 \cdot W - 0.0606 \cdot v + 0.7918 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 59.3648 - 0.3069 \cdot T - 0.0754 \cdot W - 0.3843 \cdot v + 1.8531 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 + 0.0005 \cdot W^2 + 0.0611 \cdot v^2 - 0.1026 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.5008 - 0.0712 \cdot T + 0.1183 \cdot H - 0.0318 \cdot H^2 + 4.2487 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 21.2628 - 0.0783 \cdot T + 1.8128 \cdot H - 0.0978 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.3870 - 0.0679 \cdot T - 0.6597 \cdot H + 6.1442 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.5184 - 0.0783 \cdot T + 3.6005 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3927 + 2.9149 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 22.6883 - 0.0729 \cdot T - 0.0098 \cdot W - 0.1365 \cdot v + 0.7942 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 26.8985 - 0.1348 \cdot T + 0.0005 \cdot W - 0.5034 \cdot v + 1.6950 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0554 \cdot v^2 - 0.0936 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.5115 - 0.0511 \cdot T + 0.2343 \cdot H - 0.0361 \cdot H^2 + 3.6833 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.1830 - 0.0558 \cdot T + 1.7126 \cdot H - 0.0942 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.6148 - 0.0489 \cdot T - 0.6319 \cdot H + 5.7639 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.6348 - 0.0632 \cdot T + 3.3867 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2002 + 2.8322 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 24.4283 - 0.0774 \cdot T - 0.0134 \cdot W - 0.1397 \cdot v + 0.7661 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -30.635 + 0.2863 \cdot T + 0.0092 \cdot W - 0.4909 \cdot v + 1.5517 \cdot H - 0.0006 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0669 \cdot v^2 - 0.0809 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.7469 - 0.0497 \cdot T - 0.0739 \cdot H - 0.0186 \cdot H^2 + 4.3191 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 14.7657 - 0.0539 \cdot T + 1.6559 \cdot H - 0.0877 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.8426 - 0.0488 \cdot T - 0.5108 \cdot H + 5.3661 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.0871 - 0.0576 \cdot T + 3.3829 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2674 + 2.8879 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 23.7063 - 0.0729 \cdot T - 0.0202 \cdot W - 0.1279 \cdot v + 0.7459 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 123.64 - 0.7991 \cdot T + 0.0421 \cdot W - 0.2514 \cdot v + 1.5711 \cdot H + 0.0013 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0243 \cdot v^2 - 0.0834 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.1218 - 0.0586 \cdot T + 0.0372 \cdot H - 0.0272 \cdot H^2 + 4.2696 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 17.2459 - 0.0635 \cdot T + 1.7627 \cdot H - 0.0967 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.6246 - 0.0566 \cdot T - 0.6002 \cdot H + 5.7851 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 15.3657 - 0.0626 \cdot T + 3.4565 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5292 + 2.9827 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 30.4706 - 0.0996 \cdot T - 0.0136 \cdot W - 0.1087 \cdot v + 0.8036 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 27.3815 - 0.1139 \cdot T + 0.0171 \cdot W - 0.5821 \cdot v + 1.7508 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0750 \cdot v^2 - 0.0911 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.4766 - 0.0814 \cdot T - 0.9789 \cdot H + 0.0136 \cdot H^2 + 7.0243 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 23.3386 - 0.0852 \cdot T + 1.7483 \cdot H - 0.0905 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.1513 - 0.0818 \cdot T - 0.6419 \cdot H + 6.1857 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.7018 - 0.0897 \cdot T + 3.6339 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1633 + 2.8074 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 25.4174 - 0.0812 \cdot T - 0.0159 \cdot W - 0.0935 \cdot v + 0.7915 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 59.2664 - 0.3500 \cdot T + 0.0145 \cdot W - 0.4253 \cdot v + 1.5598 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0520 \cdot v^2 - 0.0864 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 9.9271 - 0.0431 \cdot T + 0.2111 \cdot H - 0.0264 \cdot H^2 + 3.2957 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 12.6126 - 0.0454 \cdot T + 1.5661 \cdot H - 0.0822 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 8.9854 - 0.0427 \cdot T - 0.3854 \cdot H + 4.6870 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 12.9724 - 0.0528 \cdot T + 3.2688 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1791 + 2.8344 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 12: Soto 5**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 31.777 - 0.102 \cdot T - 0.0252 \cdot W - 0.1044 \cdot v + 0.7315 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -59.5873 + 0.5179 \cdot T - 0.0212 \cdot W - 0.1950 \cdot v + 1.4076 \cdot H - 0.0011 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0189 \cdot v^2 - 0.0717 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.1844 - 0.0750 \cdot T + 0.6226 \cdot H - 0.0413 \cdot H^2 + 2.2388 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 21.311 - 0.0776 \cdot T + 1.5485 \cdot H - 0.0795 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.3806 - 0.0731 \cdot T - 0.3100 \cdot H + 4.3988 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 20.5052 - 0.0809 \cdot T + 3.2557 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1084 + 2.5665 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 30.5647 - 0.0997 \cdot T - 0.0175 \cdot W - 0.1639 \cdot v + 0.7770 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 150.163 - 0.9625 \cdot T - 0.192 \cdot W - 0.2965 \cdot v + 1.6069 \cdot H + 0.0015 \cdot T^2 + 0.0001 \cdot W^2 + 0.0564 \cdot v^2 - 0.872 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.7076 - 0.0779 \cdot T + 0.5085 \cdot H - 0.0406 \cdot H^2 + 2.6786 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.9563 - 0.0836 \cdot T + 1.6281 \cdot H - 0.0870 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.1796 - 0.0733 \cdot T - 0.4210 \cdot H + 4.8229 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 21.2234 - 0.0832 \cdot T + 3.2813 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1644 + 2.6202 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 24.3362 - 0.0785 \cdot T - 0.0141 \cdot W - 0.0914 \cdot v + 0.7339 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 29.9515 - 0.1469 \cdot T - 0.0079 \cdot W - 0.1715 \cdot v + 1.5500 \cdot H + 0.0002 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 - 0.0010 \cdot v^2 - 0.0889 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.1267 - 0.0561 \cdot T - 0.0283 \cdot H - 0.0202 \cdot H^2 + 3.8004 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.8182 - 0.0609 \cdot T + 1.5516 \cdot H - 0.0857 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.2087 - 0.0550 \cdot T - 0.4856 \cdot H + 4.8582 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.0073 - 0.0671 \cdot T + 3.0997 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.9474 + 2.5381 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 28.6251 - 0.0905 \cdot T - 0.0226 \cdot W - 0.1586 \cdot v + 0.7371 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 95.895 - 0.5925 \cdot T - 0.0077 \cdot W - 0.2280 \cdot v + 1.5507 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0292 \cdot v^2 - 0.0879 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.8328 - 0.0675 \cdot T + 0.4888 \cdot H - 0.0400 \cdot H^2 + 2.7171 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.3315 - 0.0704 \cdot T + 1.6291 \cdot H - 0.0889 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.1646 - 0.0657 \cdot T - 0.3853 \cdot H + 4.7158 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.6267 - 0.0738 \cdot T + 3.2937 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1448 + 2.6726 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 25.0920 - 0.0747 \cdot T - 0.0301 \cdot W - 0.2159 \cdot v + 0.6313 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 86.9712 - 0.5301 \cdot T + 0.0117 \cdot W - 0.2809 \cdot v + 1.4581 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0262 \cdot v^2 - 0.0817 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.0940 - 0.0653 \cdot T + 0.4154 \cdot H - 0.0406 \cdot H^2 + 2.8970 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.8631 - 0.0688 \cdot T + 1.6297 \cdot H - 0.0917 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.0552 - 0.0622 \cdot T - 0.4877 \cdot H + 4.9570 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.2328 - 0.0681 \cdot T + 3.1226 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2495 + 2.6378 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 31.0070 - 0.1022 \cdot T - 0.0147 \cdot W - 0.0513 \cdot v + 0.7385 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 15.47 - 0.0154 \cdot T - 0.0458 \cdot W - 0.3059 \cdot v + 1.8100 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 + 0.0004 \cdot W^2 + 0.0563 \cdot v^2 - 0.1033 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 22.3193 - 0.0891 \cdot T + 0.2589 \cdot H - 0.0343 \cdot H^2 + 3.4273 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 24.7154 - 0.0900 \cdot T + 1.6613 \cdot H - 0.0915 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 21.1264 - 0.0888 \cdot T - 0.5294 \cdot H + 5.2767 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 25.4891 - 0.0984 \cdot T + 3.2884 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.8595 + 2.4391 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 40.4973 - 0.1257 \cdot T - 0.0455 \cdot W - 0.1637 \cdot v + 0.6791 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 170.07 - 1.0836 \cdot T + 0.0060 \cdot W - 0.3880 \cdot v + 1.2191 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0485 \cdot v^2 - 0.0579 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 15.3229 - 0.0626 \cdot T + 0.0534 \cdot H - 0.0112 \cdot H^2 + 3.3493 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 18.3333 - 0.0660 \cdot T + 1.4536 \cdot H - 0.0700 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.9035 - 0.0623 \cdot T - 0.1950 \cdot H + 3.9211 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.2552 - 0.0687 \cdot T + 3.2260 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2029 + 2.6600 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 13: Soto 6**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 27.792 - 0.0894 \cdot T - 0.0217 \cdot W - 0.0353 \cdot v + 0.7749 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 65.1107 - 0.3703 \cdot T - 0.0185 \cdot W - 0.1310 \cdot v + 1.2184 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 + 0.0000 \cdot W^2 + 0.0227 \cdot v^2 - 0.0460 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.4488 - 0.0681 \cdot T + 0.1838 \cdot H - 0.0026 \cdot H^2 + 2.6856 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.9998 - 0.0712 \cdot T + 1.2944 \cdot H - 0.0485 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.3351 - 0.0680 \cdot T + 0.1248 \cdot H + 2.8223 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.069 - 0.0648 \cdot T + 3.2825 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2661 + 2.7329 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 33.3355 - 0.1088 \cdot T - 0.0188 \cdot W - 0.1800 \cdot v + 0.8431 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 164.876 - 1.0576 \cdot T - 0.0202 \cdot W - 0.3194 \cdot v + 1.7451 \cdot H + 0.0017 \cdot T^2 + 0.0001 \cdot W^2 + 0.0603 \cdot v^2 - 0.0948 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 21.5624 - 0.0851 \cdot T + 0.5387 \cdot H - 0.0437 \cdot H^2 + 2.9412 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 25.1295 - 0.0915 \cdot T + 1.7680 \cdot H - 0.0946 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.8420 - 0.0802 \cdot T - 0.4610 \cdot H + 5.2487 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 23.2751 - 0.0911 \cdot T + 3.5586 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2380 + 2.8348 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 27.5314 - 0.0888 \cdot T - 0.0164 \cdot W - 0.1028 \cdot v + 0.7924 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 55.3545 - 0.3187 \cdot T - 0.0014 \cdot W - 0.2146 \cdot v + 1.6709 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0038 \cdot v^2 - 0.0958 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 14.8973 - 0.0634 \cdot T - 0.0824 \cdot H - 0.0200 \cdot H^2 + 4.2577 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.0281 - 0.0689 \cdot T + 1.6875 \cdot H - 0.0933 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 13.9936 - 0.0624 \cdot T - 0.5344 \cdot H + 5.3034 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.2920 - 0.0757 \cdot T + 3.3687 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.9761 + 2.7340 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 31.1387 - 0.0983 \cdot T - 0.0246 \cdot W - 0.1768 \cdot v + 0.7944 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 110.151 - 0.6861 \cdot T - 0.0071 \cdot W - 0.2546 \cdot v + 1.6773 \cdot H + 0.0011 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0323 \cdot v^2 - 0.0953 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 18.3156 - 0.0733 \cdot T + 0.5239 \cdot H - 0.0433 \cdot H^2 + 2.9522 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 21.0304 - 0.0765 \cdot T + 1.7629 \cdot H - 0.0965 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 16.5082 - 0.0714 \cdot T - 0.4230 \cdot H + 5.1175 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 20.3095 - 0.0803 \cdot T + 3.5562 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2061 + 2.8803 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 26.8362 - 0.0798 \cdot T - 0.0321 \cdot W - 0.2405 \cdot v + 0.6879 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 80.1893 - 0.4763 \cdot T + 0.0102 \cdot W - 0.3029 \cdot v + 1.5701 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0263 \cdot v^2 - 0.0872 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.2016 - 0.0696 \cdot T + 0.4679 \cdot H - 0.0438 \cdot H^2 + 3.0672 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 20.1335 - 0.0734 \cdot T + 1.7535 \cdot H - 0.0979 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.0024 - 0.0664 \cdot T - 0.5064 \cdot H + 5.2895 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.3013 - 0.0725 \cdot T + 3.3850 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3628 + 2.8692 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 33.3579 - 0.1110 \cdot T - 0.0133 \cdot W - 0.0494 \cdot v + 0.8327 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 5.8023 + 0.0593 \cdot T - 0.0416 \cdot W - 0.3319 \cdot v + 1.9161 \cdot H - 0.0003 \cdot T^2 + 0.0003 \cdot W^2 + 0.0615 \cdot v^2 - 0.1045 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 24.4531 - 0.0983 \cdot T + 0.0594 \cdot H - 0.0236 \cdot H^2 + 4.1679 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 27.3669 - 0.0994 \cdot T + 1.7648 \cdot H - 0.0932 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 23.6327 - 0.0981 \cdot T - 0.4827 \cdot H + 5.4398 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 27.6105 - 0.1069 \cdot T + 3.6269 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.0097 + 2.7044 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 44.0944 - 0.1338 \cdot T - 0.0595 \cdot W - 0.1193 \cdot v + 0.6200 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 197.806 - 1.2648 \cdot T - 0.0093 \cdot W - 0.2221 \cdot v + 1.1996 \cdot H + 0.0020 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0241 \cdot v^2 - 0.0629 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.5337 - 0.0547 \cdot T - 0.3085 \cdot H - 0.0014 \cdot H^2 + 4.3556 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.4486 - 0.0592 \cdot T + 1.5124 \cdot H - 0.0780 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 12.4802 - 0.0547 \cdot T - 0.3402 \cdot H + 4.4286 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.5816 - 0.0658 \cdot T + 3.2162 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.1053 + 2.6739 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 14: Soto 4**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 32.5142 - 0.1025 \cdot T - 0.0311 \cdot W - 0.1463 \cdot v + 0.7665 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -58.2077 + 0.5160 \cdot T - 0.0221 \cdot W - 0.2443 \cdot v + 1.4358 \cdot H - 0.0011 \cdot T^2 + 0.0000 \cdot W^2 + 0.0199 \cdot v^2 - 0.0712 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 18.511 - 0.0724 \cdot T + 0.7545 \cdot H - 0.0454 \cdot H^2 + 2.1022 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 20.5078 - 0.0749 \cdot T + 1.6239 \cdot H - 0.0813 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 16.5261 - 0.0704 \cdot T - 0.2717 \cdot H + 4.4790 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.2643 - 0.0772 \cdot T + 3.4773 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3627 + 2.8195 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 32.4559 - 0.1056 \cdot T - 0.0193 \cdot W - 0.1937 \cdot v + 0.8407 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 158.913 - 1.0184 \cdot T - 0.0210 \cdot W - 0.3544 \cdot v + 1.7346 \cdot H + 0.0016 \cdot T^2 + 0.0001 \cdot W^2 + 0.0649 \cdot v^2 - 0.0939 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 20.8261 - 0.0820 \cdot T + 0.6569 \cdot H - 0.0485 \cdot H^2 + 2.6494 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 24.0393 - 0.0878 \cdot T + 1.7643 \cdot H - 0.0943 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 17.8109 - 0.0766 \cdot T - 0.4511 \cdot H + 5.2070 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 22.1486 - 0.0872 \cdot T + 3.5533 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.3246 + 2.8601 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 22.7510 - 0.0703 \cdot T - 0.0194 \cdot W - 0.0680 \cdot v + 0.7189 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 96.1266 - 0.6298 \cdot T + 0.0230 \cdot W - 0.3456 \cdot v + 1.5942 \cdot H + 0.0010 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0038 \cdot v^2 - 0.0958 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 6.4316 - 0.0383 \cdot T - 1.1408 \cdot H + 0.0180 \cdot H^2 + 6.7727 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.0258 - 0.0470 \cdot T + 1.6723 \cdot H - 0.0984 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 7.2477 - 0.0392 \cdot T - 0.7325 \cdot H + 5.8279 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.5632 - 0.0577 \cdot T + 3.1712 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.8713 + 2.6899 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 30.8130 - 0.0964 \cdot T - 0.0272 \cdot W - 0.1876 \cdot v + 0.7826 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 136.549 - 0.8725 \cdot T - 0.0123 \cdot W - 0.2771 \cdot v + 1.6781 \cdot H + 0.0014 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0361 \cdot v^2 - 0.0960 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.3371 - 0.0701 \cdot T + 0.4784 \cdot H - 0.0408 \cdot H^2 + 3.0394 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 20.1322 - 0.0734 \cdot T + 1.7540 \cdot H - 0.0956 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 15.6348 - 0.0683 \cdot T - 0.4135 \cdot H + 5.0790 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 19.3511 - 0.0770 \cdot T + 3.5525 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2791 + 2.9044 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 27.1403 - 0.0805 \cdot T - 0.0334 \cdot W - 0.2492 \cdot v + 0.6852 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 112.596 - 0.7040 \cdot T + 0.0161 \cdot W - 0.3267 \cdot v + 1.5646 \cdot H + 0.0011 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0299 \cdot v^2 - 0.0868 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 17.2492 - 0.0698 \cdot T + 0.5092 \cdot H - 0.0458 \cdot H^2 + 2.9917 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 20.1089 - 0.0735 \cdot T + 1.7632 \cdot H - 0.0986 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.9491 - 0.0664 \cdot T - 0.5097 \cdot H + 5.3158 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 18.2699 - 0.0725 \cdot T + 3.3987 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.4088 + 2.8826 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 32.9642 - 0.1096 \cdot T - 0.0135 \cdot W - 0.0643 \cdot v + 0.8358 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 16.1915 - 0.0149 \cdot T - 0.0427 \cdot W - 0.3619 \cdot v + 1.9239 \cdot H - 0.0001 \cdot T^2 + 0.0003 \cdot W^2 + 0.0654 \cdot v^2 - 0.1049 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 24.1198 - 0.0970 \cdot T + 0.1063 \cdot H - 0.0250 \cdot H^2 + 4.0505 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 26.9516 - 0.0980 \cdot T + 1.7637 \cdot H - 0.0926 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 23.2498 - 0.0968 \cdot T - 0.4686 \cdot H + 5.3993 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 27.1115 - 0.1053 \cdot T + 3.6394 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.0802 + 2.7307 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 45.0826 - 0.1419 \cdot T - 0.0464 \cdot W - 0.1616 \cdot v + 0.7455 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 193.813 - 1.2353 \cdot T - 0.0043 \cdot W - 0.4130 \cdot v + 1.3898 \cdot H + 0.0020 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0553 \cdot v^2 - 0.06807 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 19.3282 - 0.0765 \cdot T + 0.3319 \cdot H - 0.0243 \cdot H^2 + 2.9892 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 22.0148 - 0.0795 \cdot T + 1.5815 \cdot H - 0.0768 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 18.4152 - 0.0758 \cdot T - 0.2089 \cdot H + 4.2338 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 20.9341 - 0.0827 \cdot T + 3.4892 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.2810 + 2.8080 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 15: La Trapa**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 23.5706 - 0.0733 \cdot T - 0.0213 \cdot W - 0.1005 \cdot v + 0.8679 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -65.0042 + 0.5313 \cdot T - 0.0038 \cdot W - 0.4366 \cdot v + 1.6397 \cdot H - 0.0010 \cdot T^2 - 0.0001 \cdot W^2 + 0.0417 \cdot v^2 - 0.0842 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 10.7893 - 0.0456 \cdot T + 0.9338 \cdot H - 0.0559 \cdot H^2 + 2.1362 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 12.6259 - 0.0473 \cdot T + 1.8102 \cdot H - 0.0920 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 8.5025 - 0.0436 \cdot T - 0.3245 \cdot H + 5.0586 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 11.0527 - 0.0490 \cdot T + 3.8279 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -2.0019 + 3.4059 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 29.8946 - 0.0921 \cdot T - 0.0294 \cdot W - 0.1627 \cdot v + 0.8282 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 48.9467 - 0.2425 \cdot T + 0.0049 \cdot W - 0.4280 \cdot v + 1.5843 \cdot H + 0.0003 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0449 \cdot v^2 - 0.0771 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 22.5280 - 0.0768 \cdot T + 2.7873 \cdot H - 0.1282 \cdot H^2 - 2.3863 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.9657 - 0.0732 \cdot T + 1.8335 \cdot H - 0.0909 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.4590 - 0.0649 \cdot T - 0.3329 \cdot H + 5.1742 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.0132 - 0.0699 \cdot T + 3.8843 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6679 + 3.279 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 30.9931 - 0.0955 \cdot T - 0.0305 \cdot W - 0.1640 \cdot v + 0.8022 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 123.842 - 0.8188 \cdot T + 0.0658 \cdot W - 0.4008 \cdot v + 1.6192 \cdot H + 0.0013 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0278 \cdot v^2 - 0.0863 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.3309 - 0.0540 \cdot T + 0.5006 \cdot H - 0.0467 \cdot H^2 + 3.4489 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 15.7760 - 0.0585 \cdot T + 1.8852 \cdot H - 0.1007 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.9419 - 0.0513 \cdot T - 0.6193 \cdot H + 6.1274 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 16.1635 - 0.0664 \cdot T + 3.7883 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5216 + 3.2215 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 33.4414 - 0.1056 \cdot T - 0.0279 \cdot W - 0.1229 \cdot v + 0.8512 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 84.2546 - 0.4954 \cdot T + 0.0174 \cdot W - 0.2610 \cdot v + 1.6149 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0290 \cdot v^2 - 0.0821 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 16.3000 - 0.0665 \cdot T + 0.5270 \cdot H - 0.0352 \cdot H^2 + 3.0631 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 19.0217 - 0.0692 \cdot T + 1.7721 \cdot H - 0.0862 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 14.7933 - 0.0652 \cdot T - 0.2726 \cdot H + 4.9404 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.0808 - 0.0701 \cdot T + 3.8927 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6174 + 3.3077 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 25.9554 - 0.0767 \cdot T - 0.0318 \cdot W - 0.1471 \cdot v + 0.7743 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 74.1052 - 0.4397 \cdot T + 0.0328 \cdot W - 0.2618 \cdot v + 1.7029 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0174 \cdot v^2 - 0.0945 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 13.0436 - 0.0583 \cdot T + 0.1836 \cdot H - 0.0355 \cdot H^2 + 4.2913 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.9774 - 0.0626 \cdot T + 1.9333 \cdot H - 0.1068 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 11.2150 - 0.0559 \cdot T - 0.6378 \cdot H + 6.2242 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.8938 - 0.0613 \cdot T + 3.7485 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6947 + 3.3103 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 28.9192 - 0.0885 \cdot T - 0.0250 \cdot W - 0.1780 \cdot v + 0.7328 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -91.7219 + 0.7157 \cdot T + 0.0181 \cdot W - 0.6073 \cdot v + 1.7873 \cdot H - 0.0014 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0717 \cdot v^2 - 0.1049 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 11.0722 - 0.0571 \cdot T - 0.5502 \cdot H - 0.0186 \cdot H^2 + 6.3954 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 16.5059 - 0.0611 \cdot T + 1.9558 \cdot H - 0.1161 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.1684 - 0.0565 \cdot T - 1.0036 \cdot H + 7.5124 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 17.4616 - 0.0696 \cdot T + 3.5451 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.0705 + 2.9193 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 19.8160 - 0.0591 \cdot T - 0.0181 \cdot W - 0.1508 \cdot v + 0.7860 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 270.5 - 1.8551 \cdot T + 0.0517 \cdot W - 0.4438 \cdot v + 1.5663 \cdot H + 0.0032 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0392 \cdot v^2 - 0.0937 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = -0.1948 - 0.0131 \cdot T - 0.3711 \cdot H - 0.0169 \cdot H^2 + 5.3929 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 4.5033 - 0.0176 \cdot T + 1.8240 \cdot H - 0.1065 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = -0.8787 - 0.0126 \cdot T - 0.7581 \cdot H + 6.3068 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 6.7115 - 0.0311 \cdot T + 3.4680 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6085 + 3.2105 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 16: Alija**

- Año 2010
 1. $H_{eq} = 15.5777 - 0.0322 \cdot T - 0.0567 \cdot W - 0.1531 \cdot v + 0.4952 \cdot H$
 2. $H_{eq} = -239.748 + 1.7383 \cdot T + 0.0863 \cdot W - 0.4500 \cdot v + 0.5857 \cdot H - 0.0031 \cdot T^2 - 0.0010 \cdot W^2 + 0.0465 \cdot v^2 - 0.0120 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 7.8230 - 0.0213 \cdot T + 1.9205 \cdot H - 0.0763 \cdot H^2 - 2.0622 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 6.0226 - 0.0192 \cdot T + 1.0395 \cdot H - 0.0384 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 5.1143 - 0.0190 \cdot T + 0.2698 \cdot H + 1.6185 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 2.3085 - 0.0118 \cdot T + 2.6065 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.8655 + 2.5197 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2011
 1. $H_{eq} = 34.2708 - 0.1051 \cdot T - 0.0428 \cdot W - 0.2356 \cdot v + 0.7638 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 72.6339 - 0.4181 \cdot T + 0.0261 \cdot W - 0.3230 \cdot v + 1.4084 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0372 \cdot v^2 - 0.0652 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 25.9829 - 0.0940 \cdot T + 1.7391 \cdot H - 0.0828 \cdot H^2 - 0.3154 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 25.5419 - 0.0931 \cdot T + 1.6035 \cdot H - 0.0770 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 20.8160 - 0.0834 \cdot T - 0.0700 \cdot H + 3.7054 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 21.7188 - 0.0860 \cdot T + 3.4585 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5107 + 2.8594 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2012
 1. $H_{eq} = 25.1683 - 0.0711 \cdot T - 0.0425 \cdot W - 0.2461 \cdot v + 0.6037 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 86.4172 - 0.5692 \cdot T + 0.1480 \cdot W - 0.3077 \cdot v + 1.1908 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0012 \cdot W^2 - 0.0022 \cdot v^2 - 0.0602 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.6061 - 0.0483 \cdot T + 0.9788 \cdot H - 0.0620 \cdot H^2 + 1.3099 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 13.9562 - 0.0504 \cdot T + 1.5326 \cdot H - 0.0852 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.0792 - 0.0454 \cdot T - 0.3865 \cdot H + 4.3758 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 14.9375 - 0.0588 \cdot T + 2.9896 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -0.8787 + 2.5648 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2013
 1. $H_{eq} = 22.8626 - 0.0774 \cdot T - 0.0008 \cdot W - 0.2611 \cdot v + 0.8530 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 86.5963 - 0.5533 \cdot T + 0.0716 \cdot W - 0.6431 \cdot v + 1.3233 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0007 \cdot W^2 + 0.0701 \cdot v^2 - 0.0648 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 12.8265 - 0.0516 \cdot T + 0.7861 \cdot H - 0.0472 \cdot H^2 + 1.8370 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 14.5542 - 0.0537 \cdot T + 1.5537 \cdot H - 0.0799 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 10.9375 - 0.0496 \cdot T - 0.2372 \cdot H + 4.1609 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 13.2129 - 0.0551 \cdot T + 3.2834 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5837 + 2.8874 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2014
 1. $H_{eq} = 15.3959 - 0.0481 \cdot T - 0.0097 \cdot W - 0.2248 \cdot v + 0.7360 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 216.998 - 1.4817 \cdot T + 0.0836 \cdot W - 0.6898 \cdot v + 1.0088 \cdot H + 0.0025 \cdot T^2 - 0.0009 \cdot W^2 + 0.0806 \cdot v^2 - 0.0458 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 5.9532 - 0.0299 \cdot T - 0.2650 \cdot H + 0.0054 \cdot H^2 + 3.7373 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 10.0236 - 0.0366 \cdot T + 1.3406 \cdot H - 0.0643 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 6.2265 - 0.0304 \cdot T - 0.1489 \cdot H + 3.4806 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 7.6050 - 0.0337 \cdot T + 2.9410 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.5393 + 2.7161 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2015
 1. $H_{eq} = 17.7602 - 0.0580 \cdot T - 0.0099 \cdot W - 0.1015 \cdot v + 0.7653 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 136.254 - 0.9157 \cdot T + 0.0556 \cdot W - 0.4533 \cdot v + 1.0901 \cdot H + 0.0015 \cdot T^2 - 0.0006 \cdot W^2 + 0.0544 \cdot v^2 - 0.0490 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 9.4759 - 0.0414 \cdot T + 0.0617 \cdot H - 0.0064 \cdot H^2 + 2.9930 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 11.9104 - 0.0437 \cdot T + 1.3312 \cdot H - 0.0603 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 9.2669 - 0.0413 \cdot T - 0.0790 \cdot H + 3.3101 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 10.1509 - 0.0436 \cdot T + 3.0269 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.6453 + 2.7257 \cdot \sqrt{H}$

- Año 2016
 1. $H_{eq} = 21.2261 - 0.0595 \cdot T - 0.0415 \cdot W - 0.1835 \cdot v + 0.6510 \cdot H$
 2. $H_{eq} = 388.681 - 2.6802 \cdot T + 0.0201 \cdot W - 0.4763 \cdot v + 1.1757 \cdot H + 0.0046 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0643 \cdot v^2 - 0.0529 \cdot H^2$
 3. $H_{eq} = 7.8526 - 0.0330 \cdot T + 0.4520 \cdot H - 0.0177 \cdot H^2 + 1.8590 \cdot \sqrt{H}$
 4. $H_{eq} = 9.5630 - 0.0353 \cdot T + 1.2547 \cdot H - 0.0527 \cdot H^2$
 5. $H_{eq} = 7.2844 - 0.0326 \cdot T + 0.0774 \cdot H + 2.6835 \cdot \sqrt{H}$
 6. $H_{eq} = 6.2604 - 0.0300 \cdot T + 2.9530 \cdot \sqrt{H}$
 7. $H_{eq} = -1.7497 + 2.7453 \cdot \sqrt{H}$

Anexo 2: Correlaciones globales para cada instalación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°

➤ Instalación 1: Mojados 1

1. $H_{eq} = 24.4002 - 0.0790 \cdot T - 0.0124 \cdot W - 0.1330 \cdot v + 0.8824 \cdot H$
2. $H_{eq} = 62.0488 - 0.3708 \cdot T + 0.0355 \cdot W - 0.4130 \cdot v + 1.5733 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0443 \cdot v^2 - 0.0770 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.6122 - 0.0633 \cdot T + 0.6684 \cdot H - 0.0431 \cdot H^2 + 2.6320 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.1201 - 0.0664 \cdot T + 1.7508 \cdot H - 0.0875 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.5565 - 0.0609 \cdot T - 0.3190 \cdot H + 4.9381 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.3743 - 0.0674 \cdot T + 3.7500 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7075 + 3.1811 \cdot \sqrt{H}$

➤ Instalación 2: Mojados 2

1. $H_{eq} = 24.0886 - 0.0777 \cdot T - 0.0123 \cdot W - 0.1285 \cdot v + 0.8748 \cdot H$
2. $H_{eq} = 90.8407 - 0.5764 \cdot T + 0.0354 \cdot W - 0.3785 \cdot v + 1.6490 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0398 \cdot v^2 - 0.0856 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.411 - 0.0620 \cdot T + 0.8805 \cdot H - 0.0567 \cdot H^2 + 2.2607 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.5651 - 0.0647 \cdot T + 1.8102 \cdot H - 0.0949 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.7059 - 0.0589 \cdot T - 0.4188 \cdot H + 5.2953 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.4054 - 0.0674 \cdot T + 3.7353 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6623 + 3.1669 \cdot \sqrt{H}$

➤ Instalación 3: Mojados 4

1. $H_{eq} = 25.7041 - 0.0822 \cdot T - 0.0175 \cdot W - 0.1213 \cdot v + 0.8137 \cdot H$
2. $H_{eq} = 88.3169 - 0.5514 \cdot T + 0.0234 \cdot W - 0.4041 \cdot v + 1.5190 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0486 \cdot v^2 - 0.0757 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.1813 - 0.0620 \cdot T + 0.5489 \cdot H - 0.0377 \cdot H^2 + 2.7147 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.7832 - 0.0652 \cdot T + 1.6669 \cdot H - 0.0837 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.3787 - 0.0598 \cdot T - 0.3096 \cdot H + 4.7159 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.0912 - 0.0661 \cdot T + 3.5610 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6258 + 3.0040 \cdot \sqrt{H}$

➤ Instalación 4: Abalhorno 1

1. $H_{eq} = 23.6777 - 0.0768 \cdot T - 0.0108 \cdot W - 0.1523 \cdot v + 0.8923 \cdot H$
2. $H_{eq} = 48.9711 - 0.2827 \cdot T + 0.0390 \cdot W - 0.4247 \cdot v + 1.6086 \cdot H + 0.0004 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0426 \cdot v^2 - 0.0800 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.4819 - 0.0627 \cdot T + 0.7834 \cdot H - 0.0499 \cdot H^2 + 2.4479 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.8129 - 0.0656 \cdot T + 1.7900 \cdot H - 0.0911 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.1065 - 0.0599 \cdot T - 0.3581 \cdot H + 5.1140 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.2669 - 0.0672 \cdot T + 3.7799 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7584 + 3.2130 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 5: Abalhorn 2**

1. $H_{eq} = 23.838 - 0.0769 \cdot T - 0.0119 \cdot W - 0.1527 \cdot v + 0.8792 \cdot H$
2. $H_{eq} = 63.0314 - 0.3810 \cdot T + 0.0424 \cdot W - 0.4473 \cdot v + 1.5695 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0463 \cdot v^2 - 0.0775 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.4979 - 0.0624 \cdot T + 0.8106 \cdot H - 0.0503 \cdot H^2 + 2.3245 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.7119 - 0.0651 \cdot T + 1.7663 \cdot H - 0.0895 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.0981 - 0.0595 \cdot T - 0.3417 \cdot H + 5.0164 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.1113 - 0.0665 \cdot T + 3.7431 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7098 + 3.1817 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 6: Abalhorn 19**

1. $H_{eq} = 25.0235 - 0.0810 \cdot T - 0.0127 \cdot W - 0.1520 \cdot v + 0.8853 \cdot H$
2. $H_{eq} = 94.912 - 0.6014 \cdot T + 0.0416 \cdot W - 0.4353 \cdot v + 1.5844 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0449 \cdot v^2 - 0.0782 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.9154 - 0.0651 \cdot T + 0.5919 \cdot H - 0.0408 \cdot H^2 + 2.8703 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 18.6504 - 0.0685 \cdot T + 1.7723 \cdot H - 0.0892 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.9719 - 0.0629 \cdot T - 0.3416 \cdot H + 5.0505 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.9894 - 0.0698 \cdot T + 3.7780 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7295 + 3.1891 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 7: Fresno 1**

1. $H_{eq} = 23.2592 - 0.0754 \cdot T - 0.0132 \cdot W - 0.0274 \cdot v + 0.7796 \cdot H$
2. $H_{eq} = 61.6664 - 0.3715 \cdot T + 0.0264 \cdot W - 0.1837 \cdot v + 1.5017 \cdot H + 0.0005 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0213 \cdot v^2 - 0.0781 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.2256 - 0.0534 \cdot T + 1.0198 \cdot H - 0.0633 \cdot H^2 + 1.6703 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 14.7865 - 0.0551 \cdot T + 1.6907 \cdot H - 0.0898 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.0649 - 0.0500 \cdot T - 0.4911 \cdot H + 5.2887 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.4101 - 0.0597 \cdot T + 3.4130 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5581 + 2.8986 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 8: Fresno 2**

1. $H_{eq} = 23.7967 - 0.0772 \cdot T - 0.0134 \cdot W - 0.0304 \cdot v + 0.7852 \cdot H$
2. $H_{eq} = 65.7327 - 0.3984 \cdot T + 0.0300 \cdot W - 0.1919 \cdot v + 1.4977 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0219 \cdot v^2 - 0.0777 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.5261 - 0.0548 \cdot T + 0.9657 \cdot H - 0.0613 \cdot H^2 + 1.8357 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.2216 - 0.0567 \cdot T + 1.7030 \cdot H - 0.0904 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.4452 - 0.0515 \cdot T - 0.4975 \cdot H + 5.3399 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.8474 - 0.0613 \cdot T + 3.4395 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5555 + 2.9112 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 9: Villacidaler**

1. $H_{eq} = 32.756 - 0.1009 \cdot T - 0.0372 \cdot W - 0.0942 \cdot v + 0.7613 \cdot H$
2. $H_{eq} = 44.6648 - 0.2330 \cdot T + 0.0215 \cdot W - 0.2461 \cdot v + 1.5200 \cdot H +$
 $+0.0003 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0321 \cdot v^2 - 0.0801 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.4377 - 0.0606 \cdot T + 0.3144 \cdot H - 0.0347 \cdot H^2 + 3.4559 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.9847 - 0.0659 \cdot T + 1.7762 \cdot H - 0.0964 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.8502 - 0.0584 \cdot T - 0.4484 \cdot H + 5.1753 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 17.4805 - 0.0702 \cdot T + 3.5472 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4017 + 3.0066 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 10: Mamblas 1**

1. $H_{eq} = 26.5203 - 0.0844 \cdot T - 0.0170 \cdot W - 0.1083 \cdot v + 0.7816 \cdot H$
2. $H_{eq} = 24.3436 - 0.0906 \cdot T - 0.0093 \cdot W - 0.4387 \cdot v + 1.6423 \cdot H +$
 $+0.0003 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0547 \cdot v^2 - 0.0891 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.5212 - 0.0588 \cdot T + 0.1212 \cdot H - 0.0279 \cdot H^2 + 3.9335 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.248 - 0.0631 \cdot T + 1.7042 \cdot H - 0.0911 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.1187 - 0.0573 \cdot T - 0.5355 \cdot H + 5.5031 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.5845 - 0.0669 \cdot T + 3.4575 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2815 + 2.8814 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 11: Mamblas 2**

1. $H_{eq} = 26.2599 - 0.0837 \cdot T - 0.0165 \cdot W - 0.1082 \cdot v + 0.7841 \cdot H$
2. $H_{eq} = 16.6286 - 0.0371 \cdot T - 0.0098 \cdot W - 0.4375 \cdot v + 1.6507 \cdot H -$
 $-0.0006 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0545 \cdot v^2 - 0.0897 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.5689 - 0.0588 \cdot T + 0.1772 \cdot H - 0.0304 \cdot H^2 + 3.8106 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.1655 - 0.0629 \cdot T + 1.7107 \cdot H - 0.0917 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.0443 - 0.0571 \cdot T - 0.5396 \cdot H + 5.5239 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.535 - 0.0668 \cdot T + 3.4621 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3030 + 2.8880 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 12: Soto 5**

1. $H_{eq} = 28.8921 - 0.0924 \cdot T - 0.0207 \cdot W - 0.1395 \cdot v + 0.7280 \cdot H$
2. $H_{eq} = 66.6832 - 0.3855 \cdot T - 0.0091 \cdot W - 0.2850 \cdot v + 1.5209 \cdot H +$
 $+0.0005 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0360 \cdot v^2 - 0.0831 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.3078 - 0.0694 \cdot T + 0.4010 \cdot H - 0.0360 \cdot H^2 + 2.8516 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 19.9898 - 0.0727 \cdot T + 1.5863 \cdot H - 0.0854 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.6931 - 0.0676 \cdot T - 0.4111 \cdot H + 4.7270 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 19.5766 - 0.0770 \cdot T + 3.2153 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.0889 + 2.5863 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 13: Soto 6**

1. $H_{eq} = 30.5379 - 0.0972 \cdot T - 0.0234 \cdot W - 0.1314 \cdot v + 0.7714 \cdot H$
2. $H_{eq} = 87.8108 - 0.5286 \cdot T - 0.0088 \cdot W - 0.2607 \cdot v + 1.5635 \cdot H + 0.0008 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0329 \cdot v^2 - 0.0831 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.7173 - 0.0718 \cdot T + 0.2268 \cdot H - 0.0268 \cdot H^2 + 3.4086 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 20.9214 - 0.0757 \cdot T + 1.6436 \cdot H - 0.0857 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 16.5201 - 0.0705 \cdot T - 0.3763 \cdot H + 4.8014 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 20.0808 - 0.0791 \cdot T + 3.4178 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.1591 + 2.7718 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 14: Soto 4**

1. $H_{eq} = 30.464 - 0.0968 \cdot T - 0.0236 \cdot W - 0.1558 \cdot v + 0.7773 \cdot H$
2. $H_{eq} = 81.5828 - 0.4870 \cdot T - 0.0064 \cdot W - 0.3225 \cdot v + 1.6144 \cdot H + 0.0007 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0408 \cdot v^2 - 0.0877 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.34 - 0.0707 \cdot T + 0.2988 \cdot H - 0.0328 \cdot H^2 + 3.3674 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 20.5089 - 0.0746 \cdot T + 1.6984 \cdot H - 0.0910 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.8739 - 0.0691 \cdot T - 0.4391 \cdot H + 5.0719 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 20.0324 - 0.0791 \cdot T + 3.4569 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.2238 + 2.8103 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 15: La Trapa**

1. $H_{eq} = 27.682 - 0.0852 \cdot T - 0.0257 \cdot W - 0.1483 \cdot v + 0.8092 \cdot H$
2. $H_{eq} = 32.0283 - 0.1478 \cdot T + 0.0148 \cdot W - 0.3143 \cdot v + 1.6433 \cdot H + 0.0001 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0272 \cdot v^2 - 0.0882 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 12.1266 - 0.0524 \cdot T + 0.5768 \cdot H - 0.0479 \cdot H^2 + 3.1603 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.0319 - 0.0555 \cdot T + 1.8513 \cdot H - 0.0990 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 9.8397 - 0.0501 \cdot T - 0.5450 \cdot H + 5.8292 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.3597 - 0.0597 \cdot T + 3.7397 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.6079 + 3.2411 \cdot \sqrt{H}$

➤ **Instalación 16: Alija**

1. $H_{eq} = 21.5209 - 0.0652 \cdot T - 0.0244 \cdot W - 0.2078 \cdot v + 0.7117 \cdot H$
2. $H_{eq} = 86.0316 - 0.5537 \cdot T + 0.0797 \cdot W - 0.4617 \cdot v + 1.0717 \cdot H + 0.0009 \cdot T^2 - 0.0008 \cdot W^2 + 0.0434 \cdot v^2 - 0.0478 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 11.9362 - 0.0464 \cdot T + 0.7752 \cdot H - 0.0399 \cdot H^2 + 1.4371 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 13.368 - 0.0485 \cdot T + 1.3874 \cdot H - 0.0661 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.3044 - 0.0444 \cdot T - 0.0878 \cdot H + 3.3638 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 11.2991 - 0.0471 \cdot T + 3.0484 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3971 + 2.7167 \cdot \sqrt{H}$

Anexo 3: Correlaciones globales para cada ubicación policristalina, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°

➤ Ubicación 1: Mojados

1. $H_{eq} = 24.0007 - 0.0776 \cdot T - 0.0120 \cdot W - 0.1426 \cdot v + 0.8819 \cdot H$
2. $H_{eq} = 65.0905 - 0.3947 \cdot T + 0.0376 \cdot W - 0.4172 \cdot v + 1.6010 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0004 \cdot W^2 + 0.0433 \cdot v^2 - 0.0801 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 15.4988 - 0.0625 \cdot T + 0.8037 \cdot H - 0.0508 \cdot H^2 + 2.3738 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.7606 - 0.0653 \cdot T + 1.7799 \cdot H - 0.0908 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 13.0756 - 0.0597 \cdot T - 0.3584 \cdot H + 5.0875 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.2486 - 0.0670 \cdot T + 3.7523 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.7161 + 3.1874 \cdot \sqrt{H}$

➤ Ubicación 2: Sotos y Sotillos

1. $H_{eq} = 29.6152 - 0.0944 \cdot T - 0.0220 \cdot W - 0.1418 \cdot v + 0.7603 \cdot H$
2. $H_{eq} = 70.8099 - 0.4123 \cdot T - 0.0094 \cdot W - 0.2941 \cdot v + 1.5698 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0375 \cdot v^2 - 0.08481 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 17.2584 - 0.0700 \cdot T + 0.3070 \cdot H - 0.0318 \cdot H^2 + 3.2124 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 20.2786 - 0.0737 \cdot T + 1.6423 \cdot H - 0.0874 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 15.8339 - 0.0683 \cdot T - 0.4101 \cdot H + 4.8684 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 19.7101 - 0.0777 \cdot T + 3.3607 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.1641 + 2.7252 \cdot \sqrt{H}$

➤ Ubicación 3: Fresno

1. $H_{eq} = 23.5280 - 0.0763 \cdot T - 0.0133 \cdot W - 0.0289 \cdot v + 0.7824 \cdot H$
2. $H_{eq} = 63.6996 - 0.3850 \cdot T + 0.0282 \cdot W - 0.1878 \cdot v + 1.4997 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0003 \cdot W^2 + 0.0216 \cdot v^2 - 0.0779 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.3658 - 0.0541 \cdot T + 0.9927 \cdot H - 0.0623 \cdot H^2 + 1.7530 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 15.0040 - 0.0559 \cdot T + 1.6968 \cdot H - 0.0901 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 10.2551 - 0.0508 \cdot T - 0.4943 \cdot H + 5.3143 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 14.6288 - 0.0605 \cdot T + 3.4262 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.5568 + 2.9049 \cdot \sqrt{H}$

➤ Ubicación 4: Mamblas

1. $H_{eq} = 26.6903 - 0.0851 \cdot T - 0.0171 \cdot W - 0.1058 \cdot v + 0.7843 \cdot H$
2. $H_{eq} = 25.0825 - 0.0954 \cdot T - 0.0090 \cdot W - 0.4308 \cdot v + 1.6455 \cdot H + 0.0000 \cdot T^2 - 0.0000 \cdot W^2 + 0.0539 \cdot v^2 - 0.0892 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 13.9110 - 0.0598 \cdot T + 0.2224 \cdot H - 0.0319 \cdot H^2 + 3.6926 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 17.3966 - 0.0637 \cdot T + 1.7084 \cdot H - 0.0912 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.3147 - 0.0580 \cdot T - 0.5281 \cdot H + 5.4865 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 16.7109 - 0.0674 \cdot T + 3.4686 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.3065 + 2.8886 \cdot \sqrt{H}$

Anexo 4: Correlaciones generales globales para instalaciones policristalinas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 30°

1. $H_{eq} = 26.1655 - 0.0833 \cdot T - 0.0189 \cdot W - 0.0985 \cdot v + 0.8037 \cdot H$
2. $H_{eq} = 72.6839 - 0.4392 \cdot T + 0.0166 \cdot W - 0.2379 \cdot v + 1.5443 \cdot H + 0.0006 \cdot T^2 - 0.0002 \cdot W^2 + 0.0235 \cdot v^2 - 0.0803 \cdot H^2$
3. $H_{eq} = 14.6828 - 0.0593 \cdot T + 0.7272 \cdot H - 0.0485 \cdot H^2 + 2.3499 \cdot \sqrt{H}$
4. $H_{eq} = 16.9314 - 0.0620 \cdot T + 1.6945 \cdot H - 0.0881 \cdot H^2$
5. $H_{eq} = 12.414 - 0.0566 \cdot T - 0.3787 \cdot H + 4.9226 \cdot \sqrt{H}$
6. $H_{eq} = 15.8779 - 0.0647 \cdot T + 3.5114 \cdot \sqrt{H}$
7. $H_{eq} = -1.4823 + 2.9759 \cdot \sqrt{H}$

Anexo 5: Supercorrelaciones generales globales nº5 y nº7, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada

$$5. H_{eq} = 16.6591 - 0.0390 \cdot T + 0.2799 \cdot H + 2.0536 \cdot \sqrt{H} - 7.6050 \cdot \cos \alpha$$

$$7. H_{eq} = 5.3887 + 2.8238 \cdot \sqrt{H} - 7.7662 \cdot \cos \alpha$$

Anexo 6: Correlaciones específicas y generales globales nº5 y nº7 para instalaciones amorfas, para la estimación de la irradiación diaria equivalente sobre superficie inclinada a 15°

Correlaciones específicas nº5 y nº7 instalaciones amorfas

➤ **Instalación 23: Cabildo 1**

$$5. H_{eq} = 4.3862 - 0.0222 \cdot T + 0.0984 \cdot H + 2.6389 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.9145 + 2.8367 \cdot \sqrt{H}$$

➤ **Instalación 24: Cabildo 2**

$$5. H_{eq} = 6.7385 - 0.0304 \cdot T + 0.0984 \cdot H + 2.5492 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -2.1128 + 3.0705 \cdot \sqrt{H}$$

Correlaciones generales nº5 y nº7 instalaciones amorfas

$$5. H_{eq} = 5.8067 - 0.0274 \cdot T + 0.1318 \cdot H + 2.6517 \cdot \sqrt{H}$$

$$7. H_{eq} = -1.9959 + 2.9354 \cdot \sqrt{H}$$